

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal
Zone Management

Volume 19(4): December 2019

ISSN 1646-8872



Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal
Zone Management



Volume 19, Issue 4
December 2019

Editorial Board

Francisco Taveira Pinto
Editor-in-Chief
<fpinto@fe.up.pt>

Paulo Rosa-Santos
Associate Editor
<pjrsantos@fe.up.pt>

Marcus Pollete
Section Editor
<mpollette13@gmail.com>

Marinez Scherer
Section Editor
<marinezscherer@gmail.com>

André Fortunato
Section Editor
<afortunato@lnec.pt>

Carlos Coelho
Section Editor
<ccoelho@ua.pt>

José Pinho
Section Editor
<jpinho@civil.uminho.pt>

Tiago Ferradosa
Section Editor
<tferradosa@fe.up.pt>

Guillermo Jorge Villalobos Zapata
Section Editor
<gvillal@uacam.mx>

RGCI/JICZM (ISSN: 1646-8972) is published quarterly
by an editorial pool composed by APRH, FEUP, CIMA, UNIVALI, UFRN, UPORTO and IUC
Correspondence: aprh@aprh.pt

Publishers

Editorial consortium comprising:

- APRH - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.
e-mail: aprh@aprh.pt. web page: <http://www.aprh.pt>
- CIMA - Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Edifício 7, Campus Universitário de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.
e-mail: cima@ualg.pt. web page: <http://www.cima.ualg.pt>
- UNIVALI - Universidade do Vale do Itajai, Rua Uruguai, 458 - Centro, Itajai, SC, 88302-901, Brazil
web page: <http://www.univali.br>
- UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1524, Natal, RN, 59078-970 Brazil
web page: <https://www.sistemas.ufm.br>
- FEUP/UPORTO - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto Portugal. web page: https://sigarra.up.pt/feup/pt/web_page.inicial
- IUC - Imprensa da Universidade de Coimbra, Rua da Ilha, n° 1, 3000-214 Coimbra
e-mail: imprensauc@ci.uc.pt. web page: http://www.uc.pt/imprensa_uc

Secretariat

Ana Estêvão (APRH), André Cardoso (APRH)

Copy editing

Francisco Taveira Pinto, Paulo Rosa Santos, Tiago Ferradosa

Formatting and pagination

André Cardoso (APRH)

Web page

André Cardoso (APRH)

SciELO DTD markup

André Cardoso (APRH)

Cover design

Flatland Design

ISSN: 1646-8872

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal
Zone Management

19(4) – December 2019

Table of Contents

Articles

Adrielson Furtado Almeida, Mário Augusto Gonçalves Jardim

Uso de indicadores de desenvolvimento socioeconômico, urbano-ambiental e turístico para análise dos efeitos dos investimentos públicos na Amazônia Atlântica, Pará, Brasil..... 191-207

Antonio Mubango Hogueane, Tor Gammelsrød, Kai H. Christensen, Noca Bernardo Furaca, Bilardo António da Silva Nharreluga, Manuel Victor Poio

Nearshore currents and safety to swimmers in Xai-Xai Beach..... 209-220

Elisabete Weber Reckziegel, Jair Weschenfelder, Thiago Bazzan

Avaliação do risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul/Brasil.. 221-243

Ronaldo da Cruz Braga, Márcia Aparecida da Silva Pimentel, Carlos Coelho, Claudio Fabian Szlafsztein, Marcelo Rollnic

Vulnerabilidade diante da ação energética do mar: Estudo de caso no Município de Salinópolis, Zona Costeira Amazônica, Brasil..... 245-264

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

Uso de indicadores de desenvolvimento socioeconômico, urbano-ambiental e turístico para análise dos efeitos dos investimentos públicos na Amazônia Atlântica, Pará, Brasil

Use of socioeconomic, urban-environment and turistic development indicators for the analysis of the effects of public investments in Atlantic Amazon, Pará, Brasil

Adrielson Furtado Almeida^{@1}, Mário Augusto Gonçalves Jardim²

[@] Corresponding author: adrielsonfurtado@gmail.com

¹ Universidade Federal do Pará . Email: adrielsonfurtado@gmail.com

² Universidade Federal do Pará. Museu Paraense Emilio Goeldi, E-Mail: jardim@museu-goeldi.br

ABSTRACT: The socioeconomic development of the main coastal cities in Brazil occurred in the 1960s. During this period, the Amazon region entered the development model of the Brazilian government, with public investments in the transportation, housing and tourism sectors. This study aims to evaluate the effects of investments in public policies, starting in 1960, on the socioeconomic, urban and tourist development of the beaches of Crispim (Marapanim), Atalaia (Salinópolis) and Ajuruteua (Bragança) in the Atlantic Amazon, Brazil. In order to assess whether public investments contributed to socioeconomic, urban and touristic development, the indicators of the Municipal Human Development Index (MHID), the GEO Cities Method - the PEIR Matrix (UNDP) and the Tourism Competitiveness Index - TCI (MTUR) were used. The results showed that the three study areas presented medium MHDI: Salinópolis (0,647), Bragança (0,600), Marapanim (0,609). The main threats and impacts that affect the state of the environment and require responses from the public policies identified by the PEIR Matrix were: excessive use and contamination of the water bodies, absence of public services and soil pollution, occupation of PPAs and coastal erosion. As for the development of tourism, the municipality and the beach of Atalaia presented the highest Tourism Competitiveness Index (TCI) (VM: 26; VPA: 9; VNA: 13), followed by the beaches de Ajuruteua (VM: 20; VPA: 16; VNA: 12) and Crispim (VM: 13; VPA: 12; VNA: 23). In general, the dimensions Tourism Services and Equipment, Environmental Aspects and Access had the greatest number of variables not met, which hinders the development of competitive advantages over competitors. It is concluded that the public investments made in the previous years did not contribute

positively to the socioeconomic, urban and touristic development of these beaches in the NE coast of the State of Pará. Negative effects overlap with significant environmental damages that compromise the environment, quality life and human health, socioeconomic activities, potential and tourism competitiveness. Therefore, mitigation measures are required by the public agencies, to mitigate the pressures and the impacts generated by this model of socioeconomic development of the Brazilian government for the Atlantic Amazon.

Keywords: Human development, socioeconomic development, touristic development.

RESUMO: O desenvolvimento socioeconômico das principais cidades litorâneas brasileiras ocorreu a partir da década de 1960. Neste período, ocorreu a inserção da Amazônia no modelo de desenvolvimento do governo Brasileiro, com investimentos públicos no setor de transporte, habitação e turismo. Este estudo tem por objetivo avaliar os efeitos dos investimentos das políticas públicas, a partir de 1960, no desenvolvimento socioeconômico, urbano e turístico das praias do Crispim (Marapanim), Atalaia (Salinópolis) e Ajuruteua (Bragança) na Amazônia Atlântica, Estado do Pará, Brasil. Para avaliar se os investimentos públicos contribuíram para o desenvolvimento socioeconômico, urbano e turístico, utilizaram-se os indicadores do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM (PNUMA), Método GEO Cidades – Matriz PEIR (PNUD) e o Índice de Competitividade do Turismo – ICT (MTUR). Os resultados mostraram que as três áreas em estudo apresentaram IDHM médio: Salinópolis (0,647), Bragança (0,600), Marapanim (0,609). As principais ameaças e impactos, que afetam o estado do meio ambiente e exigem respostas por parte das políticas públicas, identificados pela Matriz PEIR foram: uso excessivo e contaminação do lençol freático, ausência de serviços públicos e poluição do solo, ocupação das APP e erosão costeira. Quanto ao desenvolvimento da atividade turística, o município e a praia do Atalaia apresentaram o maior Índice de Competitividade Turística (ICT) (VA: 26; VPA: 9; VNA: 13), seguido da Praia de Ajuruteua (VA: 20; VPA: 16; VNA: 12) e Crispim (VA: 13; VPA: 12; VNA: 23). De modo geral, as dimensões Serviços e equipamento turístico, Aspectos ambientais e Acesso tiveram o maior número de variáveis não atendidas, o que dificulta o desenvolvimento de vantagens competitivas em relação aos concorrentes. Conclui-se que os investimentos públicos realizados nos anos anteriores não contribuíram positivamente para o desenvolvimento socioeconômico, urbano e turístico destas praias no litoral do NE do Estado Pará. Os efeitos negativos adicionam-se a prejuízos ambientais significativos, que comprometem o meio ambiente, a qualidade de vida e saúde humana, as atividades socioeconômicas, o potencial e a competitividade turística. Exige-se, por isso, na atualidade, medidas mitigadoras, por parte do poder público, para atenuar as pressões e os impactos gerados por este modelo de desenvolvimento socioeconômico do governo Brasileiro para a Amazônia Atlântica.

Palavras-chave: Desenvolvimento humano, desenvolvimento socioeconômico, desenvolvimento turístico.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de desenvolver indicadores de sustentabilidade se consolidou a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano em 1992, visando fornecer parâmetros para embasar a tomada de decisão (Cetrulo *et al.*, 2013). Tornou-se fundamental nas pesquisas, discussões e experiências sobre a construção e o uso de indicadores sustentáveis; nesse contexto, destaca-se o papel das Nações Unidas (ONU) na elaboração de sistemas de indicadores, embasados em relatórios técnicos, sobre desenvolvimento sustentável (Amarante *et al.*, 2010; Sartori & Siloto, 2013).

Desde 1990, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) vem publicando relatórios anuais sobre as diversas dimensões do desenvolvimento humano, procurando avaliar a evolução das condições de vida, através do cálculo do Índice de Desenvolvimento

Humano (IDH), que permite comparar, através do tempo, a situação relativa dos países segundo as dimensões renda, longevidade e educação (Alijanzadeh *et al.*, 2016; Majerová, 2012; Mihci & Taner, 2014). Em 1996, foi criado o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), calculado a partir do Censo Demográfico, que passou a ser considerado o mais adequado para avaliar o desenvolvimento dos municípios Brasileiros (PNUD, 2013a).

Diversos municípios utilizam os indicadores sociodemográficos no seu planejamento público, para subsidiar a elaboração de planos diretores de desenvolvimento urbano e planos plurianuais de investimentos, avaliar os impactos ambientais decorrentes da implantação de grandes projetos e, justificar o repasse de verbas federais para a implementação de programas sociais (PNUD, 2014; UNDP, 2014). Abreu *et al.* (2011), ao analisarem os dados do IDHM na cidade de Viçosa (MG), concluem que o mesmo é importante para obtenção

de recursos federais para implantação de políticas públicas municipais, contribuindo para a gestão municipal.

Para Constantino *et al.* (2016), o IDH constitui um elemento chave para explicação da dinâmica territorial, aferindo o avanço de uma população através das dimensões econômica, social, cultural e política que influenciam a qualidade da vida humana. No entanto, o IDH passa a ter alcance limitado pelo fato de não considerar as questões ambientais na sua elaboração, sendo considerado como insuficiente para medir o desenvolvimento de determinada localidade em sua versão econômica, social e ambiental (Araújo *et al.*, 2012).

Em 1995, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2008) desenvolveu a metodologia GEO Cidades (Global Environment Outlook) para informar o estado do meio ambiente em nível global, regional, sub-regional, nacional e local, através da análise da interação entre o desenvolvimento urbano e o meio ambiente, avaliando o impacto da urbanização sobre os recursos naturais e os ecossistemas locais (Giatti *et al.*, 2013; Sartori & Siloto, 2013).

Em 2008, o Ministério do Turismo - (MTUR) passou a avaliar o desenvolvimento turístico por meio do Índice de Competitividade do Turismo Nacional – ICTN (MTUR, 2008), para mensurar a capacidade crescente de um destino de gerar negócios nas atividades relacionadas com o setor turístico, de forma sustentável, proporcionando ao turista uma experiência positiva (Vieira & Hoffmann, 2013; Ruiz *et al.*, 2015; Silva & Santos, 2015;).

Na Amazônia Atlântica, até a segunda metade do século XX, as cidades litorâneas caracterizavam-se como pequenos povoados de pescadores artesanais. A partir da implantação do modelo desenvolvimentista iniciado no governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961) e tendo continuação durante o período Militar de governo (1964-1985), os investimentos públicos nas áreas de transporte, habitação, e turismo contribuíram para promover alterações no uso e ocupação dos territórios litorâneos no Estado do Pará (Almeida, 2018).

As praias oceânicas na zona costeira do NE paraense que receberam investimentos para a expansão rodoviária, urbanização e o desenvolvimento do turismo balnear, enfrentam na atualidade problemas socioeconômicos e ambientais (Almeida, 2015: 2017; Almeida & Jardim, 2018). Para verificar se tais investimentos públicos contribuíram para o desenvolvimento socioeconômico, mantendo os padrões de qualidade ambiental e a competitividade turística nesta região, esta pesquisa tem por objetivo avaliar os efeitos dos investimentos das políticas públicas, a partir de 1960, para o desenvolvimento socioeconômico, urbano e turístico das praias do Crispim (Marapanim), Atalaia (Salinópolis) e

Ajuruteua (Bragança) na Amazônia Atlântica, Estado do Pará, Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Amazônia Atlântica intitulada nesta comunicação corresponde à Zona Costeira Amazônica Brasileira (ZCAB), localizada no litoral Norte do Brasil, com uma área de 2.250 km de extensão. Na sua divisão geomorfológica tem-se a Costa de Reentrâncias do Pará e Maranhão, onde se localiza a zona costeira do NE do Estado do Pará, com 598 km de extensão. Nesta zona situam-se as praias do Crispim (município de Marapanim), Atalaia (município de Salinópolis) e Ajuruteua (município de Bragança), ambas consideradas como praias arenosas com grande afluência turística no Estado do Pará (Almeida, 2018) (Figura 1).

2.2 Coleta e análise dos dados

Para a análise dos efeitos das políticas públicas desenvolvimentistas, utilizou-se o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM (PNUD, 2013b) para mensurar o desenvolvimento socioeconômico, disponibilizado pela web site do PNUD (<http://www.atlasbrasil.org.br/2013>). Assim como IDH, o IDHM é composto por três dimensões: educação (indicadores “taxa de alfabetização de adultos” e “taxa bruta de frequência escolar”), longevidade (indicador “esperança de vida ao nascer”) e renda (indicador renda municipal per capita).

O cálculo do IDHM é obtido através da média geométrica da raiz cúbica da multiplicação das 3 dimensões: $IDHM = \sqrt[3]{(IDHM \text{ Educação} \times IDHM \text{ Longevidade} \times IDHM \text{ Renda})}$. O índice de desenvolvimento é um número que varia entre 0 e 1, quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano do município. A partir dos resultados, os municípios são apresentados num ranking, que os classifica em diferentes grupos, segundo as cinco faixas de desenvolvimento humano: muito baixo (0 a 0,499), baixo (0,500 a 0,599), médio (0,600 a 0,699), alto (0,700 a 0,799) e muito alto (0,800 a 1) (PNUD, 2013a).

Para efeito de comparabilidade intertemporal, foram utilizadas as séries históricas do IDHM, baseadas nas informações dos três últimos Censos Demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE de 1991, 2000 e 2010 (PNUD, 2013b).

Para a análise dos impactos do desenvolvimento urbano sobre os ambientes, foram utilizados os princípios do GEO Cidades através da Matriz PEIR (*Pressão-Estado-*

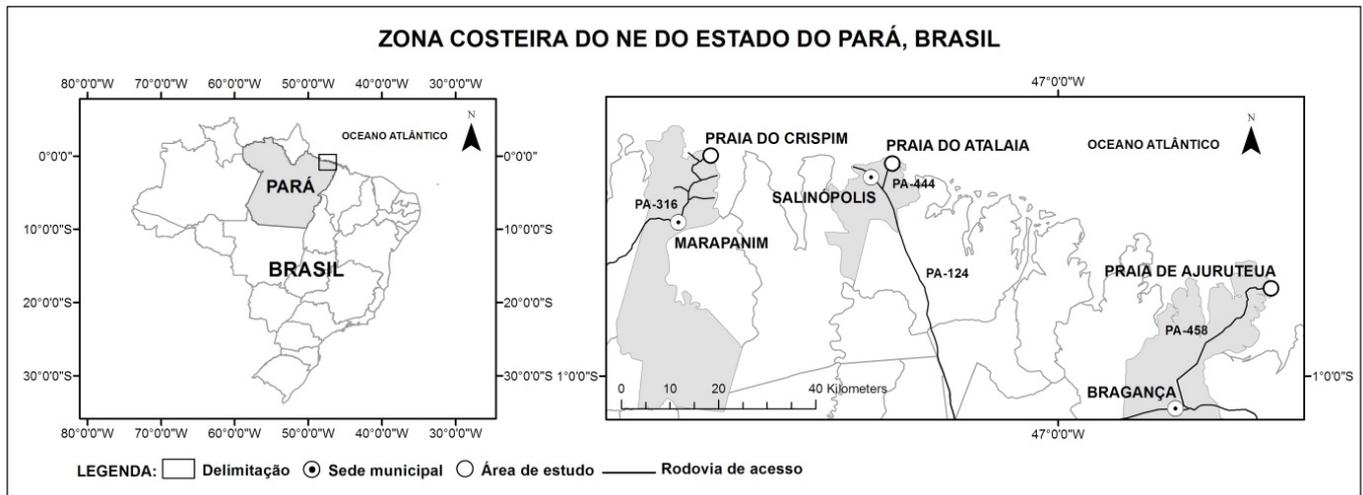


Figura 1. Localização das áreas de estudo na Zona Costeira do NE do Estado do Pará, Brasil.

Figure 1. Localization of the study areas in the NE Coastal region of Pará, Brazil.

Impacto-Resposta). Para a FAO (2010) os elementos da Matriz PEIR interagem entre si a partir das “Forças motrizes”, que são como atividades socioeconômicas, que produzem “Pressões” sobre o ambiente, como emissões poluidoras, que degradam o “Estado” do meio ambiente, gerando “Impacto” sobre a saúde humana e ecossistemas, levando a sociedade a “Resposta” com diferentes medidas políticas (Figura 2).

A classificação dos componentes da Matriz PEIR remete para a junção lógica das seguintes questões (PNUMA, 2008; Ariza & Araújo Neto, 2010; Sartori & Siloto, 2013): 1) Porque é que está acontecendo (*Pressão* exercida pela atividade humana sobre o meio ambiente)? 2) O que está acontecendo ao meio ambiente (Estado do meio ambiente que resulta das pressões)? 3) Quais as consequências da pressão sobre o estado do meio ambiente (Impacto

produzido pelo estado do meio ambiente)? 4) O que se está fazendo, em termos de ações, em relação ao impacto da pressão sobre o estado do meio ambiente (Resposta que corresponde às ações coletivas ou individuais que aliviam ou previnem os impactos ambientais negativos)? 5) Qual o cenário futuro do estado do meio ambiente, em médio e longo prazo, de acordo com o tipo de resposta a ser tomado pela sociedade? 6) O que se deve fazer para reverter a situação atual?

Procurou-se responder às questões referidas com entrevistas aos representantes da gestão municipal (amostragem total 6). Os resultados foram analisados obedecendo à estrutura da Matriz PEIR, conforme a sua abrangência e importância para a análise da pesquisa, oferecendo ao tomador de decisão uma conscientização em relação às consequências de suas ações.

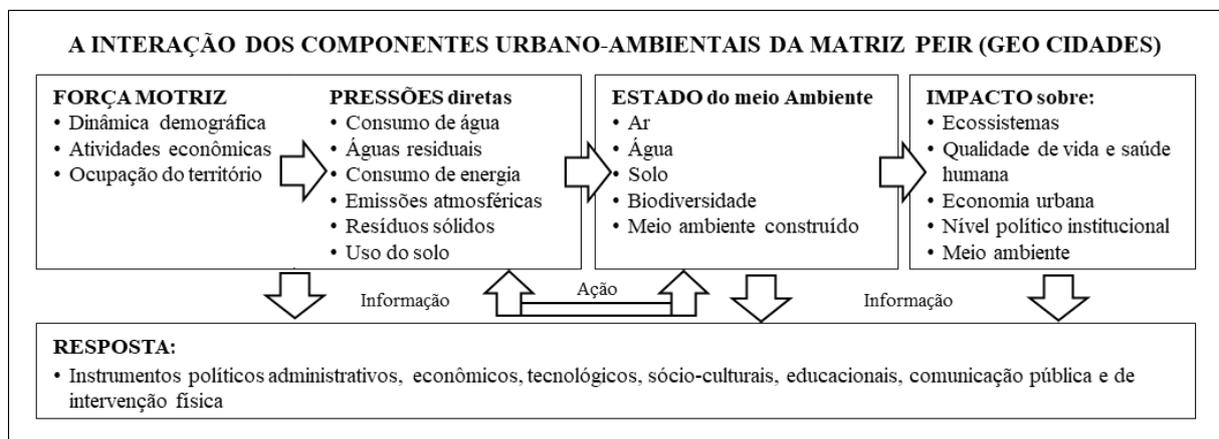


Figura 2. A interação dos componentes urbano-ambientais da Matriz PEIR (adaptado a partir de PNUMA, 2008).

Figure 2. Interaction of the urban-environmental components of the PEIR Matrix (adapted from PNUMA, 2008).

Para medir o desenvolvimento turístico foram utilizados os princípios dos indicadores do Índice de Competitividade do Turismo Nacional – ICTN, através da adequação da sua matriz (MTUR, 2008). O uso da competitividade como indicador permite oferecer aos destinos a capacidade de autoanalisar-se e, assim, possibilitar o planejamento, a tomada de decisão e o desenvolvimento de vantagens competitivas em relação aos concorrentes (Miki *et al.*, 2012; Carmona *et al.*, 2014; MTUR, 2014; Ruiz *et al.*, 2015; Silva & Santos, 2015).

Os princípios analisados permitiram avaliar a competitividade do turismo das três praias em estudo como destinos turísticos, utilizando a noção de eficiência baseada nos recursos presentes. Para a análise qualitativa foram observadas a existência ou não de cada uma das 48 variáveis, pertencentes as 12 dimensões (infraestrutura geral, acesso, serviços e equipamentos turísticos, atrativos turísticos, marketing e promoção do destino, políticas públicas, cooperação regional, monitoramento, economia local, capacidade empresarial, aspecto social e aspecto ambiental) (MTUR, 2014), por meio de entrevistas com representantes da gestão municipal (amostragem total 3) e, informações de web sites a partir do princípio da transparência (disponibilidade para o público de fontes de dados, métodos e resultados).

Para efeito de comparação entre o desenvolvimento turístico em cada praia e a análise qualitativa dos resultados, observou-se a existência ou não de cada variável, por meio das siglas: Variável atendida (VA), variável parcialmente atendida (VPA) e variável não atendida (VNA) (MTUR, 2014; Ruiz *et al.*, 2015).

Após a análise individual dos indicadores IDH-M, Geo Cidades – Matriz PEIR e ICT, procurou-se analisá-los a partir de uma matriz relacional os efeitos dos investimentos públicos, permitindo o entendimento da relação entre os mesmos.

3. RESULTADOS

3.1 Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)

Em 2010, o IDHM de Marapanim foi de 0,609, situando-se na faixa de Desenvolvimento Humano Médio, ocupando a 38ª posição no ranking do Estado do Pará. A evolução da série histórica do IDHM de Marapanim em 1991 passou de 0,337 para 0,609 em 2010, a dimensão que mais cresceu em termos absolutos foi Longevidade (com crescimento de 0,120), seguida por Educação e por Renda, com um incremento no seu IDHM de 80,71% nas últimas duas décadas, acima da média de crescimento nacional (47%) e estadual (56%) (Tabela 1).

O IDHM de Salinópolis em 2010 foi de 0,647, situando-se na faixa de Desenvolvimento Humano Médio, ocupando a 18ª posição no ranking do Estado do Pará. A evolução da sua série histórica em 1991 passou de 0,399 para 0,647 em 2010, a dimensão que mais cresceu em termos absolutos foi Educação (com crescimento de 0,116), seguida por Renda e por Longevidade, com um incremento no seu IDHM de 62,16% nas últimas duas décadas, acima da média de crescimento nacional e estadual (Tabela 1).

O IDHM de Bragança em 2010 foi de 0,600, situando o município na faixa de Desenvolvimento Humano Médio, ocupando a 47ª posição no ranking do Estado do Pará. A evolução da sua série histórica em 1991 passou de 0,325 para 0,600 em 2010, a dimensão que mais cresceu em termos absolutos foi Educação (com crescimento de 0,148), seguida por Longevidade e por Renda, com um incremento no seu IDHM de 84,62% nas últimas duas décadas, acima da média de crescimento nacional e estadual (Tabela 1).

3.2 Geo Cidades: Matriz PEIR (*Pressão-Estado-Impacto-Resposta*)

Para analisar o estado do meio ambiente a nível local, a partir do desenvolvimento urbano, considerou-se que na ilha do Atalaia a urbanização teve início na década de 1970, seguidas de Ajuruteua (1987) e do Crispim (1991), ambos desenvolvidos com diferentes padrões fundiários, onde a malha urbana na ilha do Atalaia apresenta loteamentos e arruamentos reticulados, além de parcelamentos gerados por ocupações informais. Os espaços costeiros das praias de Ajuruteua e Crispim apresentam uma malha urbana com loteamentos e ocupações informais, com arruamentos e malha adensada, que permitem analisar a interação entre o desenvolvimento urbano e os impactos causados sobre os recursos naturais.

Analisando os princípios da Matriz PEIR (*Pressão-Estado-Impacto-Resposta*) a partir das observações e entrevistas efetuadas durante as visitas *in loco*, verifica-se que as principais ameaças no litoral paraense em análise resultam das seguintes *Pressões* ambientais: a) utilização excessiva das reservas de água superficiais e subterrâneas em função do aumento da demanda para o consumo humano; b) ausência de serviços públicos de saneamento básico (abastecimento, esgoto e coleta de resíduo sólido regular) e c) ocupação das áreas de preservação permanente (APP).

As principais ameaças causadas pela urbanização afetam o *Estado* do meio ambiente nos seguintes aspectos: a) redução da disponibilidade de água doce para o consumo humano; b) degradação do solo por acumulação de

Tabela 1. Síntese dos indicadores socioeconômicos: IDHM 1991, 2000, 2010 (PNUD, 2013b).

Table 1. Summary of the socioeconomic indicators: IDHM 1991, 2000, 2010 (PNUD, 2013b).

ANO	ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO MUNICIPAL (IDHM) – 1991, 2000 e 2010				
	BRASIL	PARÁ	MARAPANIM	SALINÓPOLIS	BRAGANÇA
1991	IDHM: 0,493 (Muito baixo)	IDHM: 0,413 (Muito baixo)	IDHM: 0,337 (Muito baixo)	IDHM: 0,339 (Muito baixo)	IDHM: 0,325 (Muito baixo)
	Educação: 0,279	Educação: 0,194	Educação: 0,135	Educação: 0,194	Educação: 0,130
	Longevidade: 0,662	Longevidade: 0,640	Longevidade: 0,622	Longevidade: 0,673	Longevidade: 0,569
	Renda: 0,647	Renda: 0,567	Renda: 0,457	Renda: 0,486	Renda: 0,463
2000	IDHM: 0,612 (Médio)	IDHM: 0,518 (Baixo)	IDHM: 0,448 (Muito baixo)	IDHM: 0,517 (Baixo)	IDHM: 0,458 (Muito baixo)
	Educação: 0,456	Renda: 0,601	Educação: 0,135	Educação: 0,310	Educação: 0,278
	Longevidade: 0,727	Longevidade: 0,725	Longevidade: 0,622	Longevidade: 0,758	Longevidade: 0,662
	Renda: 0,692	Educação: 0,319	Renda: 0,457	Renda: 0,589	Renda: 0,522
2010	IDHM: 0,727 (Alto)	IDHM: 0,646 (Médio)	IDHM: 0,609 (Médio)	IDHM: 0,647 (Médio)	IDHM: 0,600 (Médio)
	Educação: 0,637	Renda: 0,646	Educação: 0,521	Educação: 0,541	Educação: 0,486
	Longevidade: 0,816	Longevidade: 0,789	Longevidade: 0,760	Longevidade: 0,798	Longevidade: 0,755
	Renda: 0,739	Educação: 0,528	Renda: 0,570	Renda: 0,628	Renda: 0,589
TAXA DE CRESCIMENTO DO IDHM ENTRE 1991 E 2010 (Evolução)					
	47,5%	56%	80,71%	62,16%	84,62%

resíduos sólidos em APP e c) perda de espaços terrestres por mudanças no perfil de praia.

Os principais *Impactos* causados pelo estado do meio ambiente são: a) contaminação do lençol freático e os problemas de saúde pública resultantes da falta de saneamento; b) poluição por resíduos sólidos e líquidos no solo, corpos de água e mar; c) perda da cobertura vegetal com ameaça para a biodiversidade terrestre e marinha e d) erosão costeira.

Em Resposta, o poder público nas suas diferentes áreas de atuação vem realizando nos últimos anos: a) estudos técnicos para subsidiar plano de intervenção; b) estudos para a criação de unidades de conservação, c) ordenamento e notificações para abandono de casas e benfeitorias em áreas de risco e d) planejamento da atividade turística com base nas especificidades de cada local.

Num cenário futuro, caso não sejam realizadas as intervenções necessárias, ocorrerá: a) aumento da intrusão salina no aquífero costeiro; b) aumento de

doenças de origem hídrica; c) perda e desequilíbrio de habitats naturais por contaminação com resíduos sólidos e líquidos; d) comprometimento do potencial turístico; e) alteração do balanço sedimentar; f) aumento da erosão e progradação costeira; g) redução na largura da praia e desaparecimento do pós-praia; h) artificialização da linha de costa por obras costeiras (proteção, recuperação ou mitigação); i) danos nas obras de proteção costeira; j) aumento dos gastos públicos com obras de recuperação de áreas degradadas (aumento da faixa de praia, fixação da costa com enrocamento, construção de muros de proteção, construção de quebra-mares ou estruturas no mar); k) perda de propriedades e bens públicos e privados; l) reconstrução periódica ou abandono de casas e benfeitorias; m) perda de valor paisagístico e imobiliário e, n) prejuízos nas atividades socioeconômicas (Almeida, 2017; 2018).

Para reverter a situação atual, recomenda-se a implantação do sistema de saneamento básico, reordenamento dos espaços de uso e ocupação, criar zonas para ação dinâmica do mar, obras de defesa costeira no sistema

praia-duna (geotêxteis e paliçadas sobre dunas, por exemplo), a gestão integrada das praias balneares, a partir da classificação do tipo e funções (áreas de uso recreativo, proteção da costa e de conservação ecológica), bem como o monitoramento a fim de compatibilizar o uso e ocupação com sustentabilidade socioambiental e eficiência econômica: a) análise da capacidade de carga; b) percepção ambiental dos usuários (resíduos sólidos, balneabilidade e infraestrutura de lazer); c) levantamento das influências do ambiente externo (ciclos naturais, estrutura legal e política e atividades socioeconômicas) (Figura 3).

3.3 Índice de Competitividade do Turismo (ICT)

Através dos princípios do Índice de Competitividade do Turismo, analisaram-se as variáveis e os recursos presentes nas praias do Crispim, Atalaia e Ajuruteua nas 12 dimensões definidas (Tabela 2) para verificação das capacidades, direta e indiretamente relacionadas com o turismo, considerando-se que essas são as que mais qualificam um destino como competitivo no turismo, em maior ou menor grau. Quanto maior a presença de recursos (com diferenciais), mais competitivos se tornam os destinos (MTUR, 2014; Silva & Santos, 2015; Vieira & Hoffmann, 2013).

Nas dimensões relativas à infraestrutura geral e acesso, fundamentais para o desenvolvimento do turismo e limitadoras do número de visitantes que o destino pode receber, a praia do Crispim apresentou mais variáveis não atendidas do que as praias do Atalaia e de Ajuruteua. Na dimensão dos serviços e equipamentos turísticos oferecidos pelo setor público e privado essenciais para o desenvolvimento de um destino turístico, a praia do Atalaia apresentou o maior número de variáveis atendidas. Enquanto, a praia do Crispim apresentou somente uma variável parcialmente atendida, o que sinaliza a dificuldade enfrentada no desenvolvimento da atividade no destino.

Quanto aos atrativos turísticos, os três destinos apresentam atrativos naturais (praias, dunas, clima) em diferentes estados de conservação na paisagem envolvente. No entanto, os três destinos não apresentaram variáveis atendidas quando se trata de atrativos culturais.

Em relação ao marketing e promoção do destino a praia do Atalaia e de Ajuruteua apresentam a mesma quantidade de variáveis atendidas. No entanto, nos três destinos não existe um website com informações turísticas (em Português e em outros idiomas), que auxilie na divulgação e atração turística para o destino.

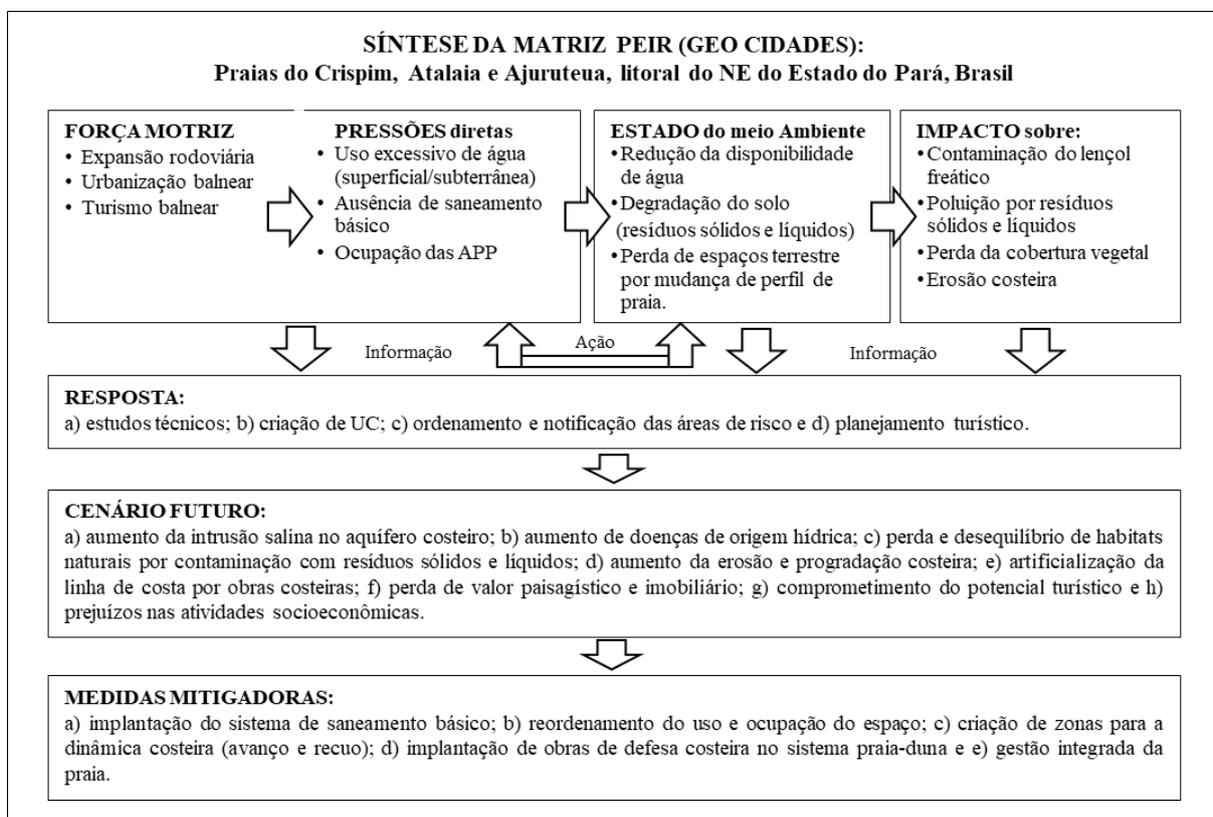


Figura 3. Síntese dos indicadores de desenvolvimento urbano-ambiental: Geo Cidades - Matriz PEIR.

Figure 3. Summary of the urban-environmental development indicators: Geo-cities – PEIR Matrix.

Tabela 2. Dimensões e variáveis do estudo do Índice de Competitividade do Turismo nas praias do Crispim, Atalaia e Ajuruteua, Estado do Pará, Brasil. Variável atendida (VA), variável parcialmente atendida (VPA) e variável não atendida (VNA).

Table 2. Dimensions and variables of the study concerning the Tourism Competitiveness Index of Crispim beaches, Atalaia and Ajuruteua, Pará, Brazil. Attended variable (VA), partially attended variable (VPA), non-attended variable (VNA).

DIMENSÃO	VARIÁVEL	PRAIAS		
		Crispim	Atalaia	Ajuruteua
Infraestrutura Geral	Capacidade de atendimento médico ao turista	VNA	VA	VNA
	Fornecimento de energia	VA	VA	VA
	Serviço de proteção ao turista	VNA	VA	VPA
	Estrutura urbana nas áreas turísticas	VNA	VA	VPA
Acesso	Acesso aéreo	VNA	VNA	VNA
	Acesso rodoviário	VPA	VPA	VPA
	Acesso aquaviário	VNA	VNA	VNA
	Sistema de transporte no destino	VPA	VA	VA
	Proximidade de grandes centros emissores de turistas	VA	VA	VA
Serviços e equipamentos turísticos	Sinalização turística	VNA	VPA	VPA
	Centro de atendimento ao turista (CAT)	VNA	VNA	VNA
	Espaço para eventos	VNA	VPA	VNA
	Capacidade dos meios de hospedagem	VPA	VA	VPA
	Capacidade do turismo receptivo	VNA	VNA	VNA
	Estrutura de qualificação para o turismo	VNA	VPA	VPA
	Capacidade dos restaurantes	VPA	VA	VPA
Atrativos turísticos	Atrativos naturais	VA	VA	VA
	Atrativos culturais	VNA	VNA	VNA
	Eventos programados	VNA	VA	VA
Marketing e promoção do destino	Plano de marketing	VNA	VNA	VPA
	Participação em feiras e eventos	VPA	VA	VA
	Promoção do destino	VPA	VA	VA
	Página do destino na internet	VNA	VNA	VNA
Políticas públicas	Estrutura municipal para apoio ao turismo	VA	VA	VA
	Grau de cooperação com o governo estadual	VA	VA	VA
	Grau de cooperação com o governo federal	VNA	VNA	VPA
	Planejamento para a cidade e atividade turística	VPA	VPA	VA
	Grau de cooperação público-privada	VPA	VPA	VPA
Cooperação regional	Governança	VPA	VPA	VPA
	Planejamento turístico regional	VNA	VNA	VNA
	Roteirização	VNA	VA	VA
Monitoramento	Pesquisa de demanda	VNA	VA	VNA
	Pesquisa de oferta	VA	VA	VA
	Medição dos impactos da atividade turística	VNA	VNA	VPA
Economia local	Aspectos da economia local	VA	VA	VA
	Infraestrutura de comunicação	VPA	VA	VA
Capacidade empresarial	Capacidade de qualificação e aproveitamento do pessoal local	VNA	VA	VPA
	Presença de grupos nacionais ou internacionais do setor de turismo	VNA	VA	VA
Aspecto social	Acesso à educação	VNA	VPA	VPA
	Empregos gerados pelo turismo	VA	VA	VA
	Política de enfrentamento e prevenção à exploração sexual infanto-juvenil	VPA	VPA	VPA
	Uso de atrativos e equipamentos turísticos pela população	VA	VA	VA
	Cidadania, sensibilização e participação na atividade turística	VA	VA	VA

Tabela 2 (continuação). Dimensões e variáveis do estudo do Índice de Competitividade do Turismo nas praias do Crispim, Atalaia e Ajuruteua, Estado do Pará, Brasil. Variável atendida (VA), variável parcialmente atendida (VPA) e variável não atendida (VNA).

Table 2 (continuation). Dimensions and variables of the study concerning the Tourism Competitiveness Index of Crispim beaches, Atalaia and Ajuruteua, Pará, Brazil. Attended variable (VA), partially attended variable (VPA), non-attended variable (VNA).

DIMENSÃO	VARIÁVEL	PRAIAS		
		Crispim	Atalaia	Ajuruteua
Aspectos ambientais	Estrutura e legislação municipal de meio ambiente	VA	VA	VA
	Rede pública de distribuição de água	VA	VNA	VNA
	Rede pública de coleta e tratamento de esgoto	VNA	VNA	VNA
	Coleta e destinação pública de resíduos	VPA	VPA	VPA
	Unidades conservação no território municipal	VA	VA	VA

Na dimensão política pública referente ao planejamento de governo, apenas Bragança não possui estrutura municipal exclusiva para o turismo. No entanto, o município faz captação de recursos federais através do MTUR provenientes de emenda parlamentar e edital. Possui também em seu Plano Diretor Municipal um capítulo específico sobre o setor do turismo, como estratégia de planejamento para a cidade e para atividade turística. Nos três destinos há um certo grau de cooperação público-privada, principalmente referente às atividades de treinamento e educação para o turismo.

Na cooperação regional, a variável planejamento turístico regional referente ao desenvolvimento turístico integrado para a região, não foi atendida nos três destinos. A variável governança referente às políticas de desenvolvimento organizadas e geridas pelos segmentos envolvidos, foi parcialmente atendida. Somente a roteirização (participação do destino nos roteiros turísticos regionais, elaborados e comercializados por agências e operadoras nacionais e internacionais) foi uma variável atendida.

No monitoramento, que tem por objetivo detectar através do uso dos sistemas de informação os benefícios sociais e os custos do turismo, somente Salinópolis apresentou pesquisa de demanda (satisfação, hábitos, atitudes e expectativas do turista). No entanto, os três destinos apresentam pesquisa da oferta turística (infraestrutura de apoio à atividade turística, serviços e equipamentos turísticos, atrativos turísticos). Entretanto, nenhum destino realiza regularmente a medição dos impactos provocados pela atividade turística (impactos ambientais, econômicos, sociais e culturais).

A economia local foi uma variável atendida nos três destinos, por contar com a participação da iniciativa privada, que organiza os negócios turísticos. Na infraestrutura de comunicação somente a praia do Crispim apresenta alguma deficiência na qualidade do sinal das operadoras de celular e à disponibilidade de acesso à internet em banda larga.

Na dimensão capacidade empresarial referente a performance econômica através do desempenho individual de empresas, a variável capacidade de qualificação e aproveitamento dos recursos humanos locais só foi atendida no Atalaia, onde há um campus universitário da Universidade Federal do Pará. No entanto, todos dependem de cursos oferecidos por instituições de capital para qualquer qualificação profissional referente ao aperfeiçoamento dos serviços e produtos turístico.

Nos aspectos sociais, referentes aos benefícios sociais que o turismo pode gerar para um destino, apenas na praia do Crispim o acesso à educação não foi atendida. Nos empregos gerados pelo turismo foi possível verificar um relacionamento direto e indireto da dimensão social com a atividade, que permitem a geração de empregos à população local, promovendo a aceitação da atividade turística como algo positivo pela comunidade, além de envolvê-las nas suas diferentes formas, ampliando os benefícios advindos do turismo e a minimização dos problemas sociais.

As ações voltadas para combater a exploração sexual infanto-juvenil tem demonstrado baixa eficácia, em virtude de ocorrerem em períodos específicos do ano. Quanto ao uso dos atrativos e equipamentos turístico pela população local, os destinos dependem diretamente do seu patrimônio natural e da infraestrutura existente. Para incentivar a participação da comunidade local na atividade turística, os atores envolvidos utilizam a cidadania e a sensibilização para preservar e conservar os recursos naturais e a infraestrutura turística.

Na dimensão ambiental, apesar dos três destinos possuírem estrutura e legislação municipal de meio ambiente, ainda há áreas sem rede pública de distribuição de água, com estrutura para tratamento e reutilização de água, a fim de reduzir a concentração de agentes poluentes causadores de danos ambientais. A coleta e destinação pública de resíduos não atende a toda a população existente, bem como os serviços de limpeza pública que ocorrem principalmente nos períodos de alta

temporada. Atualmente, no entorno das praias de Crispim e Ajuruteua há uma reserva extrativista marinha a nível federal para a proteção e conservação dos ecossistemas naturais. A nível estadual foi criado o Monumento Natural do Atalaia para a preservação do lagos e dunas da praia do Atalaia.

Em termos gerais, a praia do Atalaia foi o destino que apresentou o maior ICT (VA: 26; VPA: 9; VNA: 13), seguido da Praia de Ajuruteua (VA: 20; VPA: 16; VNA: 12) e Crispim (VA: 13; VPA: 12; VNA: 23) (Figura 4). Enquanto as dimensões *Serviços e equipamento turístico*, *Aspectos ambientais* e *Acesso* tiveram o maior número de variáveis não atendidas.

Numa relação sistêmica entre os indicadores de desenvolvimento socioeconômico, urbano-ambiental e turístico, verifica-se que os investimentos públicos realizados no passado nas três áreas em questão, geraram efeitos negativos que comprometem o desenvolvimento das dimensões avaliadas em cada indicador numa relação direta (Figura 5).

Quando um investimento público se apresenta de forma incompleta, com falha ou de forma descontínua, causa um efeito direto em outro aspecto descrito na matriz,

a exemplo do serviço de saneamento básico, que comprometem as dimensões de longevidade, educação e renda do IDHM, bem como os elementos urbano-ambientais identificados pela Matriz PEIR, e as variáveis que qualificam a atividade turística por meio do ICT. A seguir serão discutidos e analisados estes resultados.

4. DISCUSSÃO

O IDHM atual dos municípios em estudo é resultado do volume de investimentos em anos anteriores pelos gestores públicos, que conhecem os atributos que dão fomento ao desenvolvimento social. Teoricamente, quanto maior os investimentos nas três dimensões, maior seria o nível do IDHM. No entanto, os municípios que apresentam maiores investimentos públicos, não estão entre os que possuem melhores IDH. Os municípios que possuem melhores IDH estão associados a investimentos e características socioeconômicas do município (Rezende *et al.*, 2005).

O índice máximo de 1,0 do IDH ainda não foi atingido por nenhum lugar do mundo. Atualmente a Noruega lidera o ranking com 0,953 classificando-se na 1^o

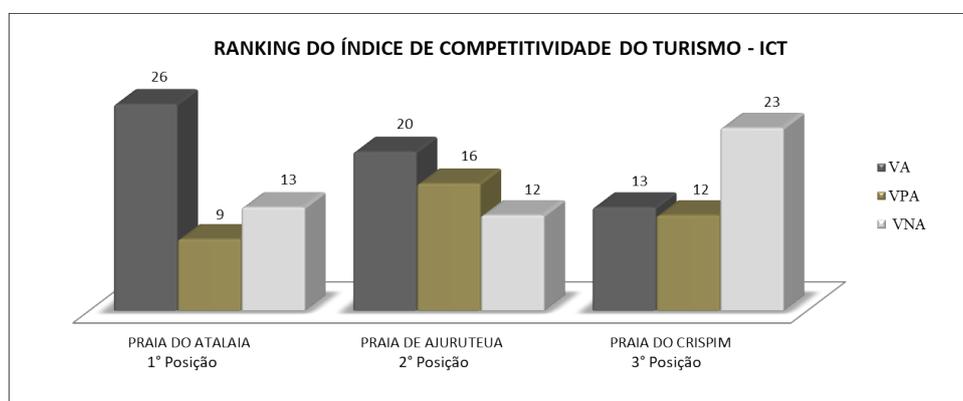


Figura 4. Ranking do Índice de Competitividade do Turismo (ICT).

Figure 4. Tourism Competitiveness Index (ICT) ranking.



Figura 5. Matriz relacional dos indicadores: IDHM, Geo Cidade - Matriz PEIR e ICT.

Figure 5. Indicators relationship matrix: IDHM, Geo Cidade - Matriz PEIR e ICT.

posição com Muito alto IDH, enquanto o Brasil ocupa a 79ª posição com 0,759, enquadrando-se na faixa de Alto IDH (PNUD, 2018). Quanto ao IDHM, o Brasil registou em 2010 o valor de 0,727, ocupando a faixa de Alto IDHM. No ranking dos municípios Brasileiros, a capital do país Brasília deveria possuir o maior IDHM (0,824), por estar instalado no chamado plano piloto e no centro da administração política do país. No entanto, a 1ª posição do ranking Brasileiro foi ocupado por São Caetano do Sul (0,862) em São Paulo (PNUD, 2013a; Constantino *et al.*, 2016).

A maioria dos municípios Brasileiros que possuem IDHM elevados se encontram na região Centro-Sul. Enquanto os indicadores da Região Norte estão entre os mais baixos do país, apesar do crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) regional, este é desigual. A dificuldade de acesso aos serviços de saneamento básico e educação influencia no crescimento ou decréscimo populacional e, a renda tem no fator isolamento geográfico um determinante da sua condição econômica, principalmente no escoamento da produção (Silva & Bacha, 2014).

Entre os municípios costeiros da Amazônia Atlântica, verifica-se que Salinópolis lidera o ranking do IDHM, por apresentar as maiores expectativas de vida ao nascer e vida longa saudável, um maior fluxo escolar da população jovem e adulta com base no acesso ao conhecimento nos três níveis de ensino e, um melhor padrão de vida baseado na renda per capita municipal.

O município de Salinópolis destaca-se em relação os demais em virtude da sua área municipal, com menor número de comunidades rurais e população em relação ao município de Bragança, por exemplo. Salinópolis possuía em 2010 uma população de 4.030 hab. na área rural e 33.391 hab. na área urbana, enquanto Bragança possuía 40.606 hab. na área rural e 72.621 hab. na área urbana (IBGE, 2010; PNUD, 2013b). A possibilidade de Bragança possuir mais pessoas com menor expectativa de vida em virtude das condições de saúde da população, bem como menor taxa de alfabetização e poder de compra, são maiores em relação à Salinópolis, principalmente se considerarmos a população rural, refletindo-se nas dimensões do IDHM.

As desigualdades socioeconômicas aliadas ao desordenado processo de urbanização levam parcelas da população a viverem em precárias condições de vida, principalmente nas áreas periféricas das cidades, nas quais as condições de saneamento são deficitárias, tornando a qualidade de vida igual ou pior do que a área rural (Fonseca *et al.*, 2010).

A dimensão que mais contribuiu para o IDHM destes municípios costeiros foi a longevidade que nas últimas décadas teve um decréscimo na taxa de mortalidade,

em virtude da diminuição das mortes prematura e, de garantir uma vida longa e saudável, com acesso à saúde. Entretanto, a dimensão que menos contribuiu para o IDHM foi o acesso ao conhecimento, fundamental no exercício das liberdades individuais, da autonomia, autoestima e bem-estar, capaz de diminuir o índice de vulnerabilidade social e de extrema pobreza (PNUD, 2013b). O acesso à educação é um dos principais fatores associados ao alcance de melhores oportunidades no mercado de trabalho e, conseqüentemente, um melhor rendimento, além de ser o principal caminho de mobilidade social ascendente dos indivíduos (Heringer, 2002).

Em comparação com os destinos indutores do desenvolvimento turístico regional, no segmento de “*Turismo de Sol e Praia*”, as três áreas em estudo (Crispim, Atalaia e Ajuruteua) estão abaixo do IDHM (2010) de Fortaleza (CE) (0,754), Natal (RN) (0,763), Recife (PE) (0,772), Salvador (BA) (0,759) e Rio de Janeiro (RJ) (0,799), estas cidades além de serem capitais, recebem mais investimentos em infraestruturas urbanas, com reflexos nas dimensões de longevidade e educação, além do turismo como uma das atividades econômicas que contribui para o PIB *per capita* (PNUD, 2013b).

No entanto, aproximam-se das cidades não capitais de Ipojuca (Porto de Galinhas) (0,619) em Pernambuco, Jijoca de Jericoacoara (0,652) e Aracati (Canoa Quebrada) (0,655) no Ceará e, Porto Seguro (0,676) no sul da Bahia. Estas cidades são consideradas destinos turísticos consolidados por receberem grandes fluxos de turistas nacionais e internacionais. No entanto, existem dificuldades de acesso à educação e à saúde, com baixo poder de compra, pois os investimentos em políticas públicas concentram-se nas áreas consideradas turísticas e centrais. Os três municípios em estudo estão acima de Maragogi (0,574) na costa dos corais em Alagoas e Barreirinhas (0,570) nos Lençóis Maranhenses no ranking do IDHM (PNUD, 2013b).

As três áreas em estudo necessitam de investimentos em políticas públicas nas áreas da educação, saúde e renda. No entanto, a disponibilidade de recursos torna-se insuficiente perante a dimensão dos problemas. Assim, construir mais escolas pode implicar a construção de um número menor de moradias populares. Aumentar e diversificar o atendimento médico-hospitalar pode limitar o alcance de programas de expansão de infraestruturas urbanas para áreas ainda não atendidas. As políticas públicas devem contar com a participação e controle social, a fim de legitimá-las perante a sociedade, garantindo o compromisso dos agentes implementadores e potencializar a efetividade social almejada pelas políticas públicas.

Os investimentos públicos a partir de 1960 permitiram quantificar o IDHM em suas dimensões socioeconômicas. Bem como para qualificar as dimensões urbano-ambientais através dos princípios do Geo Cidades. A Matriz PEIR apresentou as principais forças motrizes que provocaram as pressões sobre o ambiente costeiro e afetaram o estado do meio ambiente, desencadeando vários impactos sobre os aspectos socioeconômicos, exigindo na atualidade medidas mitigadoras do poder público para atenuar tais pressões e impactos.

Souza (2009), ao analisar o ciclo *Pressão-Mudança-Impacto-Resposta*, identificou as seguintes pressões antrópicas na zona costeira brasileira: invasões de áreas públicas, APP e áreas sujeitas a riscos geológicos (ambiental); déficit crescente de infraestruturas (saneamento básico e habitação) (social); desemprego e subemprego causados pela sazonalidade do turismo (econômico). Decorrem dessas pressões os seguintes impactos: perda e comprometimento dos recursos naturais (pesqueiros, hídricos superficiais e subterrâneos); alteração no balanço sedimentar (erosão costeira e inundação); poluição por resíduos sólidos (urbanos e industriais).

A área costeira é um ambiente dinâmico com muitos processos físicos, que desempenham um papel importante na mudança da linha de costa e no desenvolvimento da paisagem costeira (Kaliraj *et al.*, 2013). Para Almeida & Jardim (2018) é natural que ocorram mudanças na posição do litoral (erosão ou acreção) em resposta a variações no nível do mar, balanço de sedimentos e condições hidrodinâmicas. No entanto, o adensamento de ocupações urbanas e infraestruturas, provocam o desequilíbrio deste meio físico, que ao buscar seu reequilíbrio nem sempre é favorável à presença humana, provocando acidentes e desastres por erosão costeira.

Em todo o litoral Brasileiro há um predomínio de processos erosivos em relação aos processos de acreção e equilíbrio. As principais causas são: ausência de fontes de sedimentos, não permanência de sedimentos pelo amplo trânsito de sedimentos, obstáculos para o fluxo de sedimentação, elevação do nível relativo do mar (marés de sizíguas), migração do perfil de praia rumo ao continente (Souza, 2009; Marino & Freire, 2013).

Para Costa *et al.* (2008) e Gonçalves *et al.* (2013), a ocupação desordenada do ambiente praiado no litoral do estado de Pernambuco ao longo das últimas décadas imobilizou as dunas, dificultando o seu transporte sedimentar pelos ventos, que possibilita a reconstrução da praia no período de verão. Soma-se a este fenômeno a deficiência sedimentar pela ausência de grandes rios, plataforma continental estreita e cordões de arenito submersos que dificulta o armazenamento de sedimentos

para remobilização. Um dos reflexos dessa ocupação ocorreu durante a ampliação do porto de Recife, que exigiu do município de Olinda a realização de obras de proteção costeira contra o avanço do mar (1958).

Segundo Vasconcelos & Coriolano (2008) e Medeiros *et al.* (2014), além da ocupação e urbanização das áreas de pós-praia, as obras costeiras (proteção, recuperação e mitigação) sem estudos adequados, também promovem a erosão costeira com graves prejuízos para as atividades socioeconômicas, como por exemplo no Pontal do Maceió, orla de Fortaleza e Taíba em São Gonçalo do Amarante no Estado do Ceará, que exigiram novas obras para a recuperação do patrimônio público e privado. Para Tonyes *et al.* (2017) as obras de engenharia costeira podem não garantir bons resultados e criar erosão em outras áreas, em virtude das obras de engenharia subestimarem os processos atuantes na zona costeira.

Além do processo de ocupação do litoral e das comunidades pesqueiras, houve um aumento demográfico, que passou a demandar infraestrutura habitacional. No entanto, boa parte destes locais não receberam infraestruturas para garantir uma qualidade de vida e saúde humana adequada e, para manter os padrões de qualidade ambiental.

Para Galvão Junior (2009), o acesso aos serviços de saneamento básico é condição necessária à dignidade da pessoa humana e à sua sobrevivência; a participação do indivíduo na atividade econômica e social depende de uma vida saudável, pois há uma correlação direta de causa e efeito entre saneamento e saúde, tornando-se fundamental o acesso ao saneamento básico, assim como à moradia, à saúde e à educação. Para Minh & Hung (2011), ausência de saneamento causa perdas econômicas, portanto trata-se de um investimento inegavelmente lucrativo e fundamental para o desenvolvimento socioeconômico dos países.

A falta de saneamento básico compromete a qualidade dos mananciais subterrâneos e provocam a contaminação bacteriológica por infiltração de fossas e esgotos, principalmente dos poços artesianos que utilizam o aquífero superior (inferior a 20 m). No estudo de Mesquita *et al.*, (2014) sobre a qualidade microbiológica da água consumida pela população na ilha do Mosqueiro (Belém/PA), foram apresentados valores acima dos parâmetros bacteriológicos máximos permitidos pela legislação vigente. Na pesquisa sobre o padrão físico-químico e microbiológico de Daneluz & Tessaro (2015), também ficou evidente que o consumo de água de poços rasos pode representar um risco para a saúde pública.

Assim como não existe uma rede de coleta e tratamento de esgoto nas três praias em estudo, em Fortaleza (CE), também ocorre despejo a céu aberto de esgoto não tratados *in situ*, que drenam para os lençóis freáticos,

lagoas e cursos de água, comprometendo a sua utilização para consumo humano direto ou para fins de lazer e recreação (Vasconcelos & Coriolano, 2008). Cicero *et al.* (2012), também registraram a contaminação de corpos hídricos e das areias por agentes patológicos, nas praias do Sino em Ilhabela, Pitangueiras no Guarujá e Tenório em Ubatuba (SP), Porto de Galinhas e Muro Alto (PE), Praia da Graciosa (TO), principalmente no período de alta temporada, quando ocorre um aumento populacional e a sobrecarga das redes sanitárias.

Outro fator que compromete a qualidade da água subterrânea é a impermeabilização do solo por construções, que diminui a infiltração das águas pluviais nos aquíferos costeiros, potenciando a intrusão salina. Para Hespanhol (2008), a intrusão salina ocorre pelo uso público sem controle por qualquer instituição pública ou, pelo bombeamento excessivo da água subterrânea de aquíferos adjacentes a áreas costeiras, tornando-a salgada e imprópria para consumo. Segundo Felisa *et al.* (2013), a deterioração da água subterrânea dos aquíferos costeiros por intrusão salina ameaça o abastecimento e o desenvolvimento das comunidades costeiras, tornando-se uma preocupação crescente nas regiões fortemente urbanizadas, levando ao fechamento de centenas de poços em muitos países como Chipre, México, Omã e Israel.

Os resíduos sólidos não coletados e tratados degradam e poluem o solo, em virtude da ineficiência da coleta e limpeza pública, que não atende a toda a população existente nas áreas em estudo, motivando o seu descarte em áreas de APP, principalmente após os finais de semana, quando a produção de resíduos aumenta em virtude do fluxo de visitantes. Estes fatos causam prejuízos econômicos, sociais e ambientais, gerando perda do potencial estético e turístico, percebidos pelos indicadores de desenvolvimento socioeconômico, urbano e turístico nas praias em estudo.

Gouveia (2012) afirma que o manejo adequado dos resíduos sólidos é uma importante estratégia de preservação do meio ambiente, assim como de promoção e proteção da saúde. Para Jerie & Tevera (2014), a gestão adequada dos resíduos sólidos referem-se à coleta, transporte, armazenagem, tratamento e recuperação dos locais de armazenagem, minimizando assim a poluição e contaminação do meio ambiente.

Para Belarmino *et al.* (2014) a ausência de lixeiras em locais de intensa atividade turística contribui e estimula o descarte dos resíduos sólidos em locais inapropriados, demonstrando que a área necessita de planejamento e infraestrutura para receber os turistas. O mesmo problema ocorre na cidade de Fortaleza (CE) e no entorno da Baía de Guanabara (RJ), segundo Vasconcelos & Coriolano

(2008) e Baptista Neto & Fonseca (2011). Para Kassie (2016) à medida que a urbanização continua, os resíduos sólidos tornam-se uma das principais ameaças ambientais nas áreas urbanas.

Para Scherer *et al.* (2009), os principais problemas socioambientais existentes na costa brasileira, que causam pressões, mudanças e impactos resultam principalmente da urbanização e da atividade turística desordenada. O turismo configura-se numa das principais atividades econômicas em termos mundiais, o que faz com que cresça o número de localidades que se queiram desenvolver com a ajuda ou mesmo por meio dele, levando assim, a um aumento da competitividade. A crescente saturação da oferta de destinações turísticas no mercado faz com que a gestão dos destinos turísticos necessite manter o foco nos princípios da competitividade.

Visando ordenar a atividade turística no país, o MTUR lançou o “*Plano Nacional do Turismo – 2007-2010*” tendo como meta estruturar 65 destinos indutores com padrão de qualidade internacional (Lohmann, 2012). O Índice de Competitividade do Turismo Nacional (ICTN) do MTUR baseia-se no Índice Mundial de Competitividade em Turismo (um estudo detalhado envolvendo 133 países) realizado durante o Fórum Econômico Mundial (2009), que permite identificar e acompanhar indicadores para fins de diagnóstico da realidade local, viabilizando a definição de ações e de políticas públicas que visem o desenvolvimento da atividade turística (Montanari *et al.*, 2013; Silva & Santos, 2015).

O desenvolvimento da atividade turística depende da competitividade, que resulta da eficiência e efetividade com que os recursos são empregados de forma a gerar crescimento e desenvolvimento turístico. Não basta que fatores relacionados com a atividade turística estejam desenvolvidos, é necessária a existência de infraestruturas, serviços e equipamentos turísticos, atrativos turísticos, marketing, políticas públicas direcionadas e gestão, sendo este último o principal aspecto a ser considerado para o desenvolvimento da competitividade, promovendo reflexos para a população local; caso contrário, mesmo que os destinos turísticos sejam dotados de recursos e atrativos, não conseguirão desenvolver o setor (Costa & Hoffmann, 2006; Vieira & Hoffmann, 2013).

Segundo Costa & Hoffmann (2011) e Luz *et al.*, (2011), a falta de gestão articulada entre órgãos públicos e privados da cadeia produtiva do turismo também impacta negativamente na competitividade, pois a gestão compartilhada entre empresas e governos, contribui para a construção de um destino competitivo. Assim, o turismo é capaz de impactar positivamente para o desenvolvimento dos destinos turísticos do

país, sobretudo se considerada a esfera econômica, que impacta positivamente no Produto Interno Bruto (PIB) (Montanari *et al.*, 2013; Cîrstea, 2014). Por outro lado, os impactos negativos do turismo desordenado sobrepõem-se aos positivos, refletindo negativamente sobre os demais aspectos, como os identificados pelos indicadores de desenvolvimento socioeconômico e urbano-ambiental das áreas em estudo.

Os resultados dos indicadores sobre as praias do Crispim, Atalaia e Ajuruteua permitem que se ponderem e se compreendam a realidade e os limites em cada dimensão do IDHM, Geo Cidades-Matriz PEIR e ICT, possibilitando que os gestores públicos e privados verifiquem em que aspectos são necessários empreender maiores esforços para o desenvolvimento socioeconômico, respeitando os padrões de qualidade ambiental e da competitividade turística, subsidiando o estabelecimento de políticas públicas de alocação de recursos, além de permitir a mitigação das principais pressões ambientais geradoras de impactos, que contribuem para cenários futuros pessimistas nestes ambientes costeiros.

5. CONCLUSÕES

Os territórios municipais que incluem as praias do Crispim, Atalaia e Ajuruteua enquadraram-se na faixa de Desenvolvimento Humano Médio em 2010. Das três áreas em estudo, Salinópolis foi a que apresentou o maior IDHM (0,647). A dimensão que mais contribuiu para o IDHM destes municípios foi a Longevidade e a dimensão que menos contribuiu foi a Educação. Os gestores públicos devem direcionar ações em educação para aumentar as taxas de alfabetização e frequência escolar, contribuindo para a diminuição da vulnerabilidade social e de extrema pobreza, permitindo aos cidadãos o alcance de melhores oportunidades no mercado de trabalho, melhor rendimento e ascensão social.

A análise da Matriz PEIR (Geo Cidades) demonstra que *Pressão, Estado e Impacto* estão relacionados com os recursos hídricos subterrâneos, serviços públicos de saneamento básico, uso e ocupação das APP, nas quais a perda de espaços terrestres por erosão costeira configura atualmente na maior ameaça. Deve-se investir na gestão integrada da praia envolvendo os setores públicos, privados e a comunidade local, por meio da descentralização político-administrativa, possibilitando a criação de projetos e ações acertáveis para o desenvolvimento socioeconômico e garantia dos padrões ambientais estabelecidos por lei. Evitando o mau direcionamento de recursos públicos, oportunismo e corrupção, garantindo uma melhor eficácia das políticas públicas para a região.

Quanto ao desenvolvimento da atividade turística, os três

destinos litorâneos não apresentaram variáveis atendidas em quase todas as dimensões do estudo. O município de Salinópolis e a praia do Atalaia apresentaram o maior Índice de Competitividade Turística (ICT), baseado nos recursos presentes em cada uma das 48 variáveis, pertencentes as 12 dimensões (VA: 26; VPA: 9; VNA: 13), seguido da Praia de Ajuruteua (VA: 20; VPA: 16; VNA: 12) e Crispim (VA: 13; VPA: 12; VNA: 23). As três praias enquanto destino turístico devem investir nas dimensões *Serviços e equipamento turístico, Aspectos ambientais e Acesso*, pois estas na atualidade estão dificultando o desenvolvimento de vantagens competitivas em relação aos concorrentes a nível estadual, regional e nacional.

Conforme estes resultados, conclui-se que os investimentos públicos realizados nos anos anteriores não contribuíram positivamente para o desenvolvimento socioeconômico, urbano e turístico destas praias no litoral do NE do Estado Pará. Os efeitos negativos se sobrepõem aos prejuízos ambientais significantes, que comprometem o meio ambiente, a qualidade de vida e saúde humana, as atividades socioeconômicas, o potencial e a competitividade turística. Exige-se, por isso, na atualidade, medidas mitigadoras como a implantação do sistema de saneamento básico e o reordenamento do uso e ocupação do espaço, para atenuar as pressões e os impactos gerados por este modelo de desenvolvimento socioeconômico do governo Brasileiro para a Amazônia Atlântica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado (Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais - PPGCA, Universidade Federal do Pará, Brasil) e, da bolsa do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento de Território - CEGOT, Universidade de Coimbra, Portugal).

REFERÊNCIAS

- Abreu; M.V.S.; Oliveira, J.C.; Andrade, V.D.A.; Meira, A.D. (2011) – Proposta metodológica para o cálculo e análise espacial do IDH intraurbano de Viçosa – MG. *Revista Brasileira de Estudos de População* (ISSN 1980-5519), 28 (1): 169-186. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível online em <https://www.rebep.org.br/revista/article/view/90>
- Alijanzadeh, M.; Asefzadeh, S.; Zare; S.A.M. (2016) – Correlation between human Development index and infant mortality rate worldwide. *Biotech Health Sci.*, 3 (1): 1-5. DOI: 10.17795/bhs-35330.
- 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. Série Amazônia em Tempo. pp. 337-355. UFPA, MPEG, EMBRAPA, Belém. ISBN 978-85-61377-81-6. Disponível online em http://www.ppgca.ufpa.br/arquivos/repositorio/TEXTODOWN/Livro%20Amaz%C3%B4nia%20em%20Tempo_Estudos%20clim%C3%A1ticos%20e%20socioambientais.pdf
- 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. pp. 167-183. UFPA, MPEG, EMBRAPA. Belém, Brasil. ISBN 978-85-63728-54-8. Disponível online em http://www.ppgca.ufpa.br/ARQUIVOS/documentos/Livro%20Amazônia%20em%20Tempo_2017.pdf
- Almeida, A.F. (2018) – Amazônia Atlântica: patrimônio natural versus turismo balnear. In: Jacinto, R. (Org.). Lugares e territórios: patrimônio, turismo sustentável e coesão territorial. Lisboa: Iberografias. v.33, Centro de Estudos Ibéricos. pp. 197-208. Ancora. Lisboa. Portugal. ISBN: 978 972 780 643 0. Disponível online em <http://www.cei.pt/publicacoes/iberografias.htm>
- Almeida, A. F.; Jardim, M.A.G. (2018) – Mudanças socioeconômicas e ambientais resultantes das políticas públicas de desenvolvimento socioeconômico no litoral do Nordeste do Pará, Brasil. *Desenvolvimento & Meio Ambiente*, 49: 108-129. DOI: 10.5380/dma.v49i0.55128.
- Amarante, V.; Arim, R.; Vigorito, A. (2010) – La relevancia de la desigualdad en la medición del desarrollo humano. Uruguay 1991-2002. *Desarrollo y Sociedad* (ISSN 0120-3584), (65): 123-146. Bogotá, Colombia. Disponível online em: <http://www.scielo.org.co/pdf/dys/n65/n65a04.pdf>
- Araújo, L.; Fernandes, E.; Rosado, P. (2012) – Índice de desarrollo socioambiental para el Estado de Bahía. *Revista Problemas del Desarrollo* (ISSN 0301-7036), 170 (43): 101-123, Distrito Federal, México. Disponível online em <http://www.scielo.org.mx/pdf/prode/v43n170/v43n170a5.pdf>
- Ariza, C. G.; Araujo Neto, M. D. (2010) - Contribuições da geografia para avaliação de impactos ambientais em áreas urbanas, com o emprego da metodologia Pressão - Estado Impacto - Resposta (P.E.I.R.). *Revista Caminhos de Geografia* (ISSN 1678-6343), 11 (35): 128–139, Uberlândia, Brasil. Disponível online em <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>
- Baptista Neto, J.A.; Fonseca, E.M. (2011) – Variação sazonal, espacial e composicional de lixo ao longo das praias da margem oriental da Baía de Guanabara (Rio de Janeiro) no período de 1999-2008. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 11 (1): 31-39. DOI: 10.5894/rgci189.
- Belarmino, P.H.; Silva, S.M.; Rufener, M.C.; Araújo, M.C.B. (2014) – Resíduos sólidos em manguezal no rio Potengi (Natal, RN, Brasil): relação com a localização e usos. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14 (3): 448-457. DOI: 10.5894/rgci451.
- Carmona, V.C.; Costa, B.K.; Ribeiro, H.C.M. (2014) – Competitividade e turismo: estudo da produção científica internacional. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 8 (2): 201-221. DOI: 10.7784/rbtur.v8i2.721.
- Cetrulo, T.B.; Molina, N.S.; Malheiros, T.F. (2013) - Indicadores de sustentabilidade: proposta de um barômetro de sustentabilidade estadual. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* (ISSN 2176-9478), (30): 33-45. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível online em http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/30-07_Materia_4_artigos376.pdf
- Cicero, L.H.; Quiñones, E.M.; Cunico, P.; Santos, C.L. (2012) – Contaminação das areias de praias do Brasil por agentes patológicos. *Revista Ceciliana* (ISSN 2175-7224), 4 (2): 44-49. Santos, São Paulo. Disponível online em http://sites.unisantabr/revistaceciliana/edicao_08/7.pdf
- Cîrstea, S.D. (2014) – Travel e tourism competitiveness: a study of world's top economic competitive countries. *Procedia Economics and Finance*, 15 (2014): 1273-1280. DOI: 10.1016/S2212-5671(14)00588-7.
- Constantino, M.; Pegorare, A.B.; Costa, R. B. (2016) – Desempenho regional do IDH e do PIB per capita dos municípios de Mato Grosso do Sul, Brasil, entre 2000 e 2010. *Interações*, 17 (2): 234-246. DOI: 10.20435/1984042X2016207.
- Costa, H.A.; Hoffmann, V.E. (2006) – Competitividade de destinações turísticas: elementos e indicadores aplicados no estudo da administração turística de Balneário Camboriú - SC, Brasil. *Revista Turismo em Análise*, 17 (2): 135-154. DOI: 10.11606/issn.1984-4867.v17i2p135-154.
- Costa, M.B.S.F.; Pontes, P.M.; Araújo, T.C.M. (2008) – Monitoramento da linha de preamar das praias de Olinda – PE (Brasil) como ferramenta à gestão costeira. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8 (2): 101-112. DOI: 10.5894/rgci145.
- Daneluz, D.; Tessaro, D. (2015) – Padrão físico-químico e microbiológico da água de nascentes e poços rasos de propriedades rurais da região sudoeste do Paraná. *Arquivos do Instituto Biológico*, 82, 1-5. DOI: 10.1590/1808-1657000072013.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010) - Esquema Pressão - Situação - Resposta e Indicadores Ambientais. Disponível online em <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/pt/lead/toolbox/Refer/EnvIndi.htm>.
- Felisa, G. Ciriello, V.; Federico, V. (2013) – Saltwater intrusion in coastal aquifers: a primary case study along the Adriatic coast investigated within a probabilistic framework. *Water*, 5, 1830-1847. DOI: 10.3390/w5041830.
- Flores, L.C.S.; Cavalcante, L.S.; Raye, R.L. (2012) – Marketing turístico: estudo sobre o uso da tecnologia da informação e comunicação nas agências de viagens e turismo de Balneário Camboriú (SC, Brasil). *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 6 (3): 322-339. DOI: 10.7784/rbtur.v6i3.487.
- Fonseca, E.O.L.; Glória, T.M.; Barreto, M.L.; Carmo, E.H.; Costa, M.C.N. (2010) – Prevalência e fatores associados às geo-helminthiases em crianças residentes em municípios com baixo IDH no Norte e Nordeste Brasileiros. *Cadernos de Saúde Pública*, 26 (1): 143-152. DOI: 10.1590/S0102-311X2010000100015.
- Galvão Junior, A.C. (2009) – Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. *Revista Panamericana de Salud Publica*, 25 (6): 548-556. DOI: 10.1590/S1020-49892009000600012
- Giatti, L.L.; Freitas, C.M.; Nascimento, P.R.; Landin, R.; Gaviolli, J.; Cutolo, S.A.; Maria, N.C.; Carbone, A.S.; Toledo, R.F. (2013) – Estudo de distintos níveis holárquicos para uma região metropolitana por meio da aplicação de Indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* (ISSN: 2176-9478), (30): 79-88. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível online em http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/30-11_Materia_8_artigos380.pdf.

- Gonçalves, R.M.; Pacheco, A.P.; Tanajura, E.L.X.; Silva, L.M. (2013) – Urbanização costeira e sombreamento na praia de Boa Viagem, Recife-PE, Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande*, (54): 241-255. DOI: 10.4067/S0718-34022013000100013.
- Gouveia, N. (2012) – Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17 (6): 1503-1510. DOI: 10.1590/S1413-81232012000600014.
- Heringer, R. (2002) – Desigualdades raciais no Brasil: síntese de indicadores e desafios no campo das políticas públicas. *Cadernos de Saúde Pública*, (18): 57-65. DOI: 10.1590/S0102-311X2002000700007.
- Hespanhol, I. (2008) – Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Estudos Avançados*, 22 (63): 131-158. DOI: 10.1590/S0103-40142008000200009.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) - Sinopse do Censo Demográfico 2010. Unidades da Federação. Pará (2010). Brasília, Brasil. Disponível online em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Para.pdf.
- Jerie, S.; Tevera, D. (2014) – Solid waste management practices in the informal sector of Gweru, Zimbabwe. *Journal of Waste Management*, 2014, 1-7. DOI: 10.1155/2014/148248.
- Kaliraj, S.; Chandrasekar, N. Magesh, N.S. (2013) – Evaluation of coastal erosion and accretion processes along the southwest coast of Kanyakumari, Tamil Nadu using geospatial techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, (ISSN 1866-7511). DOI: 10.1007/s12517-013-1216-7.
- Kassie, K.E. (2016) – The problem of solid waste management and people awareness on appropriate solid waste disposal in Bahir Dar city: Amhara region, Ethiopia. *ISABB Journal of Health and Environmental Sciences*, 3 (1): 1-8. DOI: 10.5897/ISAAB-JHE2016.0026.
- Lohmann, P. (2012) – A inovação do turismo no Brasil: os desafios na construção de sua trajetória. *Observatório de Inovação do Turismo - Revista Acadêmica*, 7 (2): 3-16. DOI: 10.12660/oit.v7n2.6887.
- Luz, L.F.P.; Silva, T.F.F.; Alberton, A.; Hoffman, V.E. (2011) – Estratégia e finanças em turismo: análise das publicações em periódicos Brasileiros de turismo. *Observatório de Inovação do Turismo - Revista Acadêmica*, 6 (1): 1-26. DOI: 10.12660/oit.v6n1.5789.
- Majerová, I. (2012) – Comparison of old and new methodology in human development and poverty indexes: a case of the least developed countries. *Journal of Economics Studies and Research*, 1-15. DOI: 10.5171/2012.290025.
- Marino, M.T.R.D.; Freire, G.S.S. (2013) – Análise da evolução da linha de costa entre as praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 13 (1): 113-129. DOI: 10.5894/rgci373.
- Medeiros, E.C.S.; Pantalena, A.F.; Miola, B.; Lima, R.S.; Soares, M.O. (2014) – Percepção ambiental da erosão costeira em uma praia no litoral Nordeste do Brasil (Praia de Taíba, CE). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14 (3): 471-482. DOI: 10.5894/rgci488
- Mendes, A.C.; Silva, M.S.; Santos, V.F. (2013) – Análise do meio físico para gestão ambiental das ilhas de Algodual e Atalaia (NE do Pará). In: Prost, M.T.R. C.; Mendes, A. Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental. pp.103-111. MPEG, Belém, Pará, Brasil. ISBN: 978-8561377663.
- Mesquita, K.F.C.; Santos, M.L.S.; Pereira, J.A.R.; Figueiredo, B.L. (2014) – Avaliação da qualidade microbiológica da água consumida pela população da região amazônica um estudo de casos na ilha de Mosqueiro PA. *Revista Scientia Amazonia* (ISSN: 2238.1910), 3 (3): 27-31. Manaus, Brasil. Disponível online em <http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2016/06/v3-n3-27-31-2014.pdf>.
- Mihci, H.; Taner, M.T. (2014) – Comparative Human Development and Gender Equality Performance Analysis of Middle Eastern and North African Countries with Turkey. *International Journal of Economics and Financial* (ISSN: 2146-4138), 4 (4): 859-869. Montpellier, França, Disponível online em <http://www.econjournals.com/index.php/ijefi/article/view/930/pdf>
- Miki, A.F.C.; Gândara, J.M.G.; Muñoz, D.R.M. (2012) – O estado atual de pesquisas sobre competitividade turística no Brasil. *Caderno Virtual de Turismo* (ISSN: 1677-6976), 12 (2): 212-223. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível online em <http://www.ivt.coppe.ufrj.br/caderno/index.php/caderno/article/view/680/325>.
- Minh, H.V.; Hung, N.V. (2011) – Economic aspects of sanitation in developing countries. *Environmental Health Insights*. 5, 63-70. DOI: 10.4137/EHI.S8199.
- Montanari; M.G.; Giraldi, J.M.E.; Campello, C.A.G.B. (2013) – Um estudo sobre a relação entre competitividade no setor de turismo e o desenvolvimento dos países. *GCG Georgetown University - Universia*, 7 (2): 56-67. DOI: 10.3232/GCG.2013.V7.N2.04.
- MTUR. Ministério do Turismo (s / d). (2008) – Estudo de competitividade dos 65 destinos indutores do desenvolvimento turístico regional - Relatório Brasil. 84p. 2ª ed. Revisada. Ministério do Turismo, Brasília, Brasil. ISBN: 978-85-61239-15-2.
- Brasil. (2014) – Índice de competitividade do turismo nacional: destinos indutores do desenvolvimento turístico regional: Relatório Brasil 2013. 84p. Ministério do Turismo, Brasília, Brasil. ISBN: 978-85-7333-651-1.
- PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (s / d). (2008) - Metodología para la elaboración de los informes GEO Ciudades: Manual de aplicación, v. 3. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN 978-9962-8942-0-9.
- PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (s / d). (2013a) – Índice de Desenvolvimento Humano municipal Brasileiro. Série Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013. PNUD, IPEA, FJP, Brasília, Brasil. ISBN: 978-85-7811-171-7.
- Nações Unidas. (2013b) – Atlas do desenvolvimento humano no Brasil 2013. PNUD, IPEA, FJP, Brasília, Brasil. Em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/>
- Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada. (2014) – Atlas do desenvolvimento humano nas regiões metropolitanas brasileiras. PNUD, IPEA, FJP, Brasília, Brasil. ISBN: 978-85-88201-21-7.
- Nações Unidas. (2018) – Índices e indicadores de desarrollo humano. Actualización estadística de 2018. PNUD. Nueva York, Estados Unidos. Disponível online em <http://hdr.undp.org/en/2018-update/download>
- Rezende, A.J.; Slomski, V.; Corrar, L.J. (2005) – A gestão pública municipal e a eficiência dos gastos públicos: uma investigação empírica entre as políticas públicas e o Índice de Desenvolvimento

- Humano (IDH) dos municípios do Estado de São Paulo. *Revista Universo Contábil*, ISSN 1809-3337, 1 (1): 24-40. Blumenau, Brasil. Disponível online em <http://proxy.furb.br/ojs/index.php/universocontabil/article/view/75>.
- Ruiz, T.C.D.; Akel, G.M.; Gândara, J.M.G. (2015) – Estudos de competitividade turística: comparativo do modelo de Dwyer e Kim e do estudo de competitividade dos 65 destinos indutores do Brasil. *Turismo & Sociedade*, 8 (1): 15-37. DOI: 10.5380/tes.v8i1.34299.
- Sartori, A.G.O.; Siloto, R.S. (2013) – Análise da compatibilidade de indicadores de desenvolvimento humano e sustentável do sistema das Nações Unidas com o BellagioSTAMP. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* (ISSN 2176-9478), (30): 99-110. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível online em: http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/30-13_Materia_10_artigos382.pdf.
- Scherer, M.; Sanches, M.; Negreiros, D.H. (2009) - Gestão das zonas costeiras e as políticas públicas no Brasil: um diagnóstico. 37p. Rede Iberoamericana de manejo Costeiro (Brasil). Agência Brasileira de Gerenciamento Costeiro. Disponível online em <https://www.researchgate.net/publication/266328746>.
- Silva, J.A.; Santos, C.A.J. (2015) – Análise competitiva do turismo no município de Aracaju. *Revista de Turismo Contemporâneo* (ISSN 2357-8211), 3(2): 188-210. Natal, Brasil. Disponível online em <https://periodicos.ufrn.br/turismocontemporaneo/article/view/6887/6147>.
- Silva, R.R.; Bacha, C.J.C. (2014) – Acessibilidade e aglomerações na região Norte do Brasil sob o enfoque da nova geografia econômica. *Nova Economia*, 24(1): 169-190. DOI: 10.1590/0103-6351/1507.
- Souza, C.R.G. (2009) – A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 9 (1): 17-37. DOI: 10.5894/rgci147.
- Tonyes, S.G.; Wasson, R.J.; Munksgaard, N.C.; Evans, K.G.; Brinkman, R.; Williams, D.K. (2017) – Understanding coastal processes to assist with coastal erosion management in Darwin Harbour, Northern Territory, Australia. *Earth and Environmental Science*. 55, 1-8. DOI:10.1088/1755-1315/55/1/012012.
- UNDP. United Nations Development Programme. (s / d). (2014) – Human development report 2014. Sustaining human progress: reducing vulnerabilities and building resilience. United Nations Development Programme, New York, United State America. ISBN 978-92-1-626023-1.
- Vasconcelos, F.P.; Coriolano, L.N.M.T. (2008) – Impactos socioambientais no litoral: um foco no turismo e na gestão integrada da zona costeira do Estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8 (2): 259-275. DOI: 10.5894/rgci134
- Vieira, D.P.; Hoffmann, V.E. (2013) – Competitividade e desenvolvimento: um estudo em destinos indutores do turismo Brasileiro. *Revista Alcance-Eletrônica*, 20 (3): 400-416. DOI: 10.14210/alcance.v20n3.p400-416.

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

Nearshore currents and safety to swimmers in Xai-Xai Beach

Correntes costeiras e segurança de banhistas na Praia de Xai-Xai

Antonio Mubango Hoguane^{1, @}, Tor Gammelsrød², Kai H. Christensen³,
Noca Bernardo Furaca¹, Bilardo António da Silva Nharreluga¹, Manuel Victor Poio⁴

@ Corresponding author; hoguane@yahoo.com.br; Tel: +258823152860

¹ Centre for Marine Research and Technology, Eduardo Mondlane University, Mozambique

² Geophysical Institute, University of Bergen, Bergen, Norway, torg@gf.uib.no

³ Research and Development Department, Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway, kaih@met.no

⁴ Centre for Sustainable Development for Coastal Zone, Xai-Xai, Mozambique, mvectorpoyo@yahoo.fr; Tel: +258843110000

ABSTRACT: Xai-Xai Beach is a shallow semi-enclosed lagoon, about 2,000m long, 200m wide and 3m average depth, protected from ocean swell by a reef about 0.75m above the Mean Sea Level, with small gaps along its extension. Despite being protected from ocean waves, the lagoon, which is popular with tourists, is a dangerous place to swim, with an average of 8-9 drownings each year. The present paper examines the longshore and rip currents in the lagoon as the potential cause for these fatalities. Drifters were deployed for measuring the magnitude and direction of the nearshore currents. Unidirectional, northwards, longshore currents, with velocity up to 1.4ms⁻¹ and strong rip currents, with velocity up to 3.4ms⁻¹, 5-10m width and duration of less than 5 minutes, were observed. The observed rip currents pose a real danger even to experienced swimmers, hence it is concluded that they are the major cause of the deaths. The areas of major incidence of rip currents were identified. The result allows us to recommend a zoning of the beach into three areas as follows. The southern part, with weak currents, is classified as a “safe area”, flagged green, and is recommended for swimming. The northern part, with strong rip currents, is classified as a “hazardous area”, flagged red, and prohibited for swimming. In the intermediate zone, classified as a “moderate area” and flagged yellow, swimmers should proceed with caution. Regular patrols by lifeguards and beach assistants are highly recommended during the summer, the peak tourism season.

Keywords: longshore currents, channel rip current, swimming, drowning, beach zoning, beach safety

RESUMO: A Praia de Xai-Xai é uma lagoa semifechada pouco profunda, com cerca de 2.000m de comprimento, 200 m de largura e 3 m de profundidade média, protegida por um grés de cerca de 0,75m de altura acima do Nível Médio do Mar, e com aberturas e fissuras ao longo da sua extensão. Apesar de estar protegida das ondas do oceano tem havido relatos de mortes, em média 8 a 9 casos por ano, devido a afogamentos. Neste trabalho investigam-se as correntes de deriva litorânea e de retorno como as potenciais causadoras dos afogamentos observados. Boías de deriva foram lançadas na praia para medir a magnitude e direção das correntes costeiras. Observou-se uma corrente unidirecional para o norte com intensidade média de $1,4\text{ms}^{-1}$ e correntes forte de retorno com intensidade média de $3,4\text{ms}^{-1}$, e com 5-10m de largura e um período de cerca de 5 minutos. As correntes de retorno observadas constituem perigo mesmo para nadadores experientes, daí que são consideradas as principais causadoras dos afogamentos observados na Praia de Xai-Xai. Os locais de incidências destas correntes foram identificados. Os resultados permitiram o zoneamento da praia em: parte sul, com correntes fracas, classificada como “área segura” e sinalizada com bandeirolas de cor verde, recomendada para natação; parte norte, com fortes correntes de retorno, classificadas como “área de risco” e sinalizada com bandeirolas de cor vermelha, onde a natação deve ser proibida; e a zona intermediária, classificada como “área moderada” e sinalizada com bandeirolas de cor amarela, onde a natação deve ser realizada com cautela. Recomenda-se a patrulha periódica por autoridades do corpo de salvação pública e monitoria permanente por unidades de salva-vidas durante o verão, o período do pico de turismo.

Palavras-chave: deriva litorâneos, corrente de retorno fixa, nado, afogamento, zoneamento da praia, segurança na praia.

1. INTRODUCTION

Nearshore current systems can be divided into three types, namely: the shoreward mass transport of water; longshore currents; and seaward-moving rip currents (Tang *et al.*, 2012). The currents are mainly driven by surface wave activity in the surf zone, enhanced by the topography. Waves approaching the shoreline obliquely break in different places at different times, resulting in a differential wave set-up, a process described by the theory of radiation stress (Longuet-Higgins, 1970). This is the main process for generating longshore currents that flow parallel the beach. Rip currents result as a response to an excess of water built up on shore produced by the combined effect of the breaking waves and convergence of longshore currents. The rip currents are strong, concentrated, episodic bursts of water flowing seaward. They are short lived, unpredictable in space and time, and extend from close to the shoreline through the surf zone to varying distances beyond (Brander, 2018). The rip flow is concentrated through the breaks or depressions in the sand bars (Leatherman, 2012).

Rip currents are said to be the major cause of danger to recreational beach users, claiming hundreds of lives by drowning and causing thousands of rescues worldwide every year (Brander, 2018; Arun Kumar & Prasad, 2014; Meadows *et al.*, 2011; Lushine, 1991; Short & Hogan, 1994; Bowen, 1969). Rip currents are reported to be responsible for more than 100 drownings and for 80% of surf rescues each year in the U.S. alone (Meadows *et al.*, 2011; Lushine, 1991; Lascody, 1998). Houser *et al.* (2011) stated that many drownings and near drownings at Pensacola Beach, Florida are attributed to

rip currents. The fact that they are unpredictable makes them even more dangerous. Linares *et al.* (2019) reported seven deaths due to unexpected rip currents, created within minutes by a storm from initially calm conditions, on a beach in Lake Michigan on July the 4th 2003.

According to the Mozambique Maritime Administration Authorities, 42 casualties by drowning were observed in Xai-Xai Beach during the period 2011 to 2014, as follows: 14, 12, 9 and 7 in 2011, 2012, 2013 and 2014, respectively, averaging 10 occurrences per year. According to Christensen *et al.* (2013) the numbers of casualties from drowning on Xai-Xai Beach were on average 8-9 per year during the period 2010-2014. The cause of the casualties on Xai-Xai Beach are not well known; however, based on the reports from other locations, it seems possible, even probable, that nearshore currents are the main cause of the drowning at Xai-Xai. The aim of this study is to test the hypothesis that the longshore and rip currents are potential causes of drowning on Xai-Xai Beach. Based on the result of the study, beach zoning can be introduced, indicating areas which are safe and which are dangerous for swimming. Patrol services by lifeguard and beach assistants are also recommended.

According to Castelle *et al.* (2016) there has been a growing interest in nearshore currents, particularly rip currents, in recent decades, by both the scientific community and society in general. The increasing interest is a result of the dangers they pose to swimmers and as well as their importance to the transport and cross-shore mixing of heat, pollutants, nutrients and biological species. Sabet & Barani (2011) investigated rip currents along the southern coast of the Caspian

Sea, using GPS drifters, similar to the one used in the present study, and moored current meters. Scott *et al.* (2018) also used drifters to measure nearshore currents in Bight of Benin coast, in Gulf of Guinea, West Africa. MacMahan *et al.* (2005) measured rip current kinematics and beach morphodynamics at Sand City, Monterey Bay. The fact that strong nearshore currents occur in the breaker and shallower zones with harsh wave conditions makes it difficult to moor equipment for observations (Shafiei Sabet & Barani (2011a)). Instead, there has been an increase in the use of Lagrangian methods, using floats and drogues, to observe and measure rip currents (Castelle *et al.*, 2016). In addition, numerical models are increasingly used to predict nearshore currents. Wind & Vreugdenhil (1986) analysed field data and modelled wave-driven current systems in a closed basin. Barreiro & Bühler (2008) presented a numerical investigation of longshore currents driven by breaking waves on barred beaches.

There are a few existing studies of the nearshore currents on the Mozambican coast. An earlier study of Xai-Xai Beach investigated the waves and currents and found that the beach is characterised by a strong unidirectional northwards longshore current, thought to be due to the effect of the barrier reef, where the ocean swell breaks and spills water over into the beach lagoon (Christensen *et al.*, 2013; Silva, 2012). Taskjelle *et al.* (2014) modelled the tides and longshore currents in Xai-xai Beach lagoon, forced by tides and ocean waves modified by the reef. The model results are in agreement with observations. Christensen *et al.* (2013) found that strong rip currents were associated with the gaps in the reef and proposed the hypothesis that these currents were generated near the beach and fed by the strong longshore currents. Similar observations were made by Nharreluga (2014) when studying the factors influencing the longshore currents in Xai-Xai Beach. It was concluded that the determining factors were the tides, ocean wave height and the height of the reef above Mean Sea Level. This concurs with the Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics (Short, 1999).

2. DESCRIPTION OF THE AREA

Xai-Xai Beach is located at Latitude 25° 07'S and Longitude 33° 44'E (Figure 1). It is a sandy beach lagoon, fringed by a reef. The inner lagoon is about 2 km long, 200 m wide and 3 m average depth (Figure 1). The reef is about 20m wide and elevated 0.70m above Mean Sea Level, with gaps along its extension. The tidal amplitudes vary from 0.5m to 1.5m between neap and spring tide (Taskjelle *et al.*, 2014, Sete *et al.*, 2002). The significant wave height of the ocean waves is between

0.75m and 1.5m, depending on wind conditions; waves in the lagoon have an average height of 0.4m and a period of about 12-16 seconds (Christensen *et al.*, 2013). Waves hit and break on the reef and spill water over the beach lagoon setting up a strong longitudinal pressure gradient force causing strong longshore currents towards the north (Christensen *et al.*, 2013). Most of the wave energy, about 97%, is dissipated on the reef (Silva, 2012). Xai-Xai Beach receives on average 22,000 tourists per year, about 50% of which are foreigners. The peak season is during the southern summer, about December/January. During the period 2003-2008 the tourism industry in Xai-Xai contributed to the government taxes on average USD50,000 per annum, and provided about 100 direct and 500 indirect jobs (Anon, 2009). Despite the fact that the beach is protected from ocean waves there are reports of casualties by drowning (Christensen *et al.*, 2013). There are no permanent lifeguard services in Xai-Xai Beach nor is there a flagging or sign system.

3. DATA

For the present study, data on current speed and direction obtained by means of a specially constructed Lagrangian drifter buoy were used. The buoy is similar to that built and described by Shafiei Sabet & Barani (2011a), designed specifically to track coastal currents. The buoy consisted of a spherical float of 0.30m diameter, stabilized by a heavy weight located at the bottom, on an axis of about 0.50m height across its poles, all weighing 5.5kg. When in the water, about 70% of the sphere was submerged. Apart from stabilizing the buoy, the heavy weight dampens the drifter's vertical response to rapid changes in water level, allowing broken and near-breaking waves to pass over without rapidly pushing the drifter ashore. A GPS receiver Garmin Astro 440 was attached to the buoy and sent data, via radio waves through a DC 40 transmitter, to a hand-held data logger at sampling rate of 0.2Hz (Figure 2). The drifter is small, simple and low-cost, and appropriate for measuring surface currents in shallow-coastal environments. In addition, the drifter is deployed and recovered by hand and can easily be used for repeated runs over a short period of time. Their ease of deployment makes them effective for measuring rapidly developing transient features, as noted by Shafiei Sabet & Barani (2011a).

The field methodology for tracking the coastal currents applied in the present study is similar to that described and discussed by Schmidt *et al.* (2003) and further applied by Shafiei Sabet & Barani (2011b) for tracking the rip currents along the southern coast of the Caspian Sea. In the present study, however, a single drifter buoy was used repeatedly.

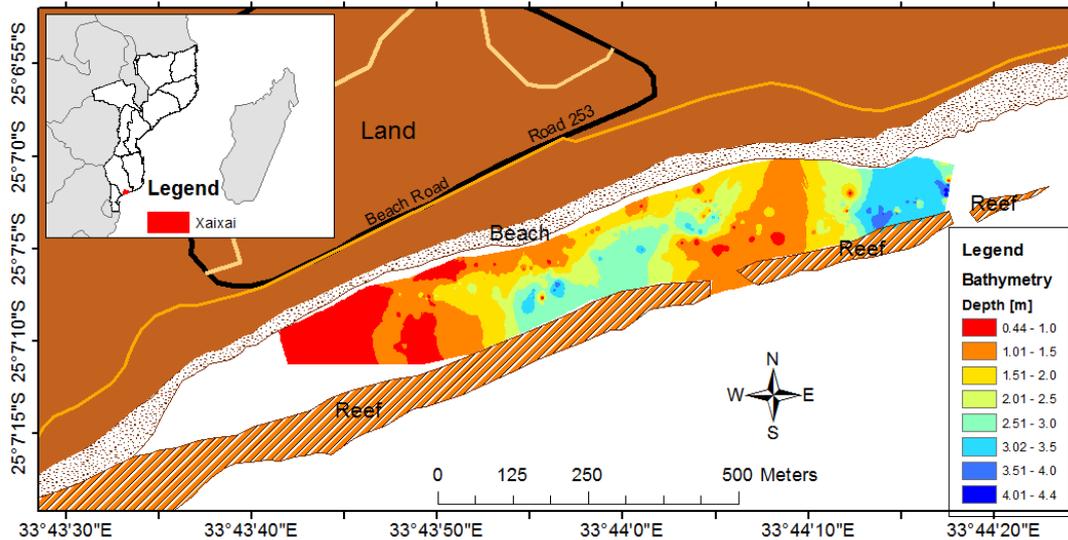


Figure 1. Location map of the study area. Bathymetry is given in meters.

Figura 1. Localização da área de estudo. Batimetria é dada em metros.

Mapping the rip current risk by determining the spatial occurrence of rip currents based on the observations, morphology of the reef, e.g. the presence of gaps along the reef and by considering the velocity and direction of the rip currents, enabled a zoning plan for the beach according to the methodology applied by Lee *et al.* (2016). The observations were made during the period 8 to 18 March 2011, covering Neap and Spring tides. During that period 12 tracks of along shore and 5 tracks of rip currents were followed.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Longshore currents

Figure 3 presents the drifters' tracks for longshore currents. It can be seen that the currents are directed towards the north and to the coast. The longshore current speeds are presented as time series plots in Figure 4, and Table 1 summarises the velocity measurements. During the flooding spring tide (Track 1 and Track 4), the average velocity was about 0.08ms^{-1} and 0.15ms^{-1} for Track 1 and Track 4, respectively. In Track 1 the velocity varied between 0.03 and 0.56ms^{-1} and remained most of the time at about 0.1 - 0.2ms^{-1} . In Track 4 it varied between 0.05 and 0.5ms^{-1} , and remained at about 0.1 and 0.4ms^{-1} most of the time. Two levels of velocity can be observed. During the ebbing spring tide (Tracks 5, 8 and 9) the velocities varied from 0.5 to 0.8ms^{-1} . In Track 5 the average velocity was 0.31ms^{-1} ; the excursion was 148m in 577s (9 min and 37 s); in Track 8, the total excursion was 293.1m in 1132 seconds (18 min and 52 s), which led to an average velocity of 0.26ms^{-1} . In Track 9 the excursion was 345m in 13 min, leading to an average velocity of about 0.78ms^{-1} . Clearly, the longshore ebb velocities were notably higher than the flood velocities. Furthermore, the longshore velocities at the northern part of the beach were high compared with the velocities in the southern beach.

During the flooding neap tide (Track 10) the longshore velocities ranged from 0.03 to about 0.56ms^{-1} , with an average speed of 0.19ms^{-1} . The excursion was 269m in 143s (23 min and 52 s). During the ebbing neap tide

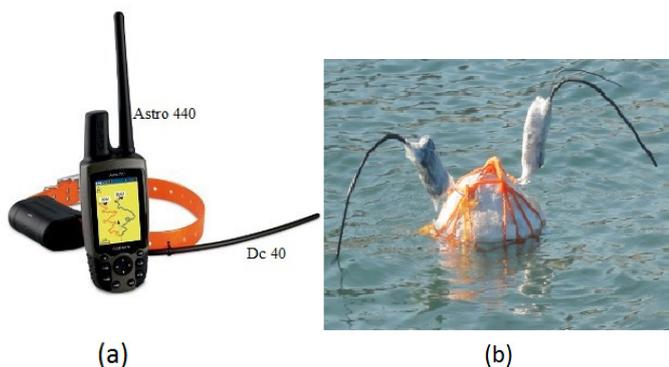


Figure 2. GPS receiver Garmin Astro 440 and a transmitter DC 40 (a) and a drifter buoy in water (b).

Figura 2. Receptor GPS Garmin Astro 440 e o transmissor DC 40 (a) e a boia de deriva na água (b).

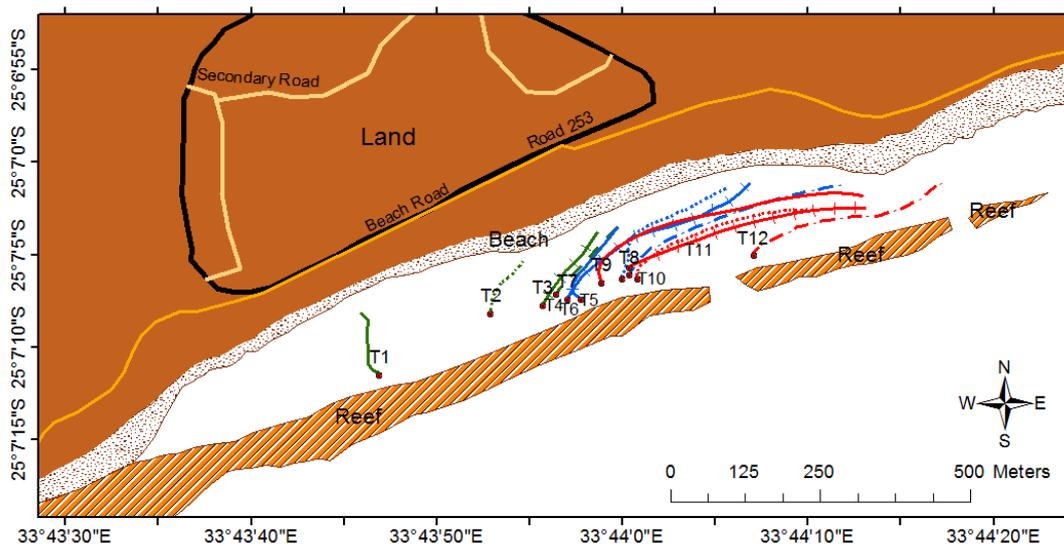


Figure 3. Longshore current drifter tracks. The deployment points are indicated by the dots. Xai-Xai Beach, 8-18 March 2011.

Figura 3. Trajetórias de correntes de deriva litorânea. Os pontos de lançamento são indicados pelos pontos. Praia de Xai-xai, 8-18 de Março de 2011.

(Track 12), the velocity varied from 0.05 to 0.8 ms^{-1} , toward the north. The total excursion was 322 m in 915 seconds (15 min and 15 s), which led to an average velocity of 0.24 ms^{-1} . Once again, the ebb velocities are higher than the flood velocities and increased with distance towards the north.

Table 1 presents the summary of all deployments for longshore currents. The recorded magnitude of the average longshore velocity was in the range 0.08-0.31 ms^{-1} , except in track 9 which was 0.78 ms^{-1} . These values fall within the range obtained in other places. Sabet & Barani (2011) investigating rip currents along the southern coast of the Caspian Sea, using GPS drifters, similar to the one used in the present study, and moored current meters, recorded longshore currents within the range 0.10-0.35 ms^{-1} . Siswanto (2015) recorded longshore currents of magnitude 0.87-0.92 ms^{-1} in Madura Strait. Linares *et al.* (2019) observed longshore velocity up to 0.6 ms^{-1} , in association with the occurrence of meteotsunami on southeastern beaches of Lake Michigan. Barreiro & Bühler (2008) using numerical models simulated longshore velocities as low as 0.05 ms^{-1} to as high as 1.5 ms^{-1} on a barred beach, with similar morphology to the reef in the present study. Wood & Meadows (1975) on investigating unsteadiness in longshore currents recorded an instantaneous velocity of 0.3-2.0 ms^{-1} . Scott *et al.* (2018), using drifters, found longshore current velocities in the range 0.2-0.8 ms^{-1} in Bight of Benin coast, in Gulf of Guinea, West Africa.

Combining Table 1 and Figure 3, it can be seen that the

currents are unidirectional, towards the north, regardless of the tides. This behaviour is thought to result from a pressure gradient set up by the waves breaking and spilling water over the reef into the southern part of the beach lagoon. Water then flows from the south to the north where it escapes through gaps in the reef, as explained by Christensen *et al.* (2013) and Taskjelle *et al.* (2014).

From Table 1 it can be seen that the ebbing velocities were higher than the flood velocities and from the tracks (Figure 3) it can be seen that the direction of the currents is northwards, regardless of the tide. This is a result of flow induced by the waves breaking on the reef flat as explained by Christensen *et al.* (2013) and Taskjelle *et al.* (2014), also observed by several authors (Kraines *et al.* 1998; Symonds *et al.* 1995; Hearn & Parker 1988; Nadaoka *et al.* 2001). Further, it is evident that the longshore currents in the southern beach (Tracks 1-8) are weaker compared to the mid and northern part of the beach (Tracks 9-12), suggesting low-energy environments in the southern beach, and hence, a safer place for swimming.

4.2 Rip currents

Given the fact that rip currents are sudden, narrow and short lived, they were seen in few deployments during the duration of the observations. Figure 5 presents the drifters' tracks for rip currents. In addition, through visual observation (Figure 6) it was possible to see the rip currents and understand that they are quasi geostationary in the vicinity of reef gaps. Figure 7 presents the time

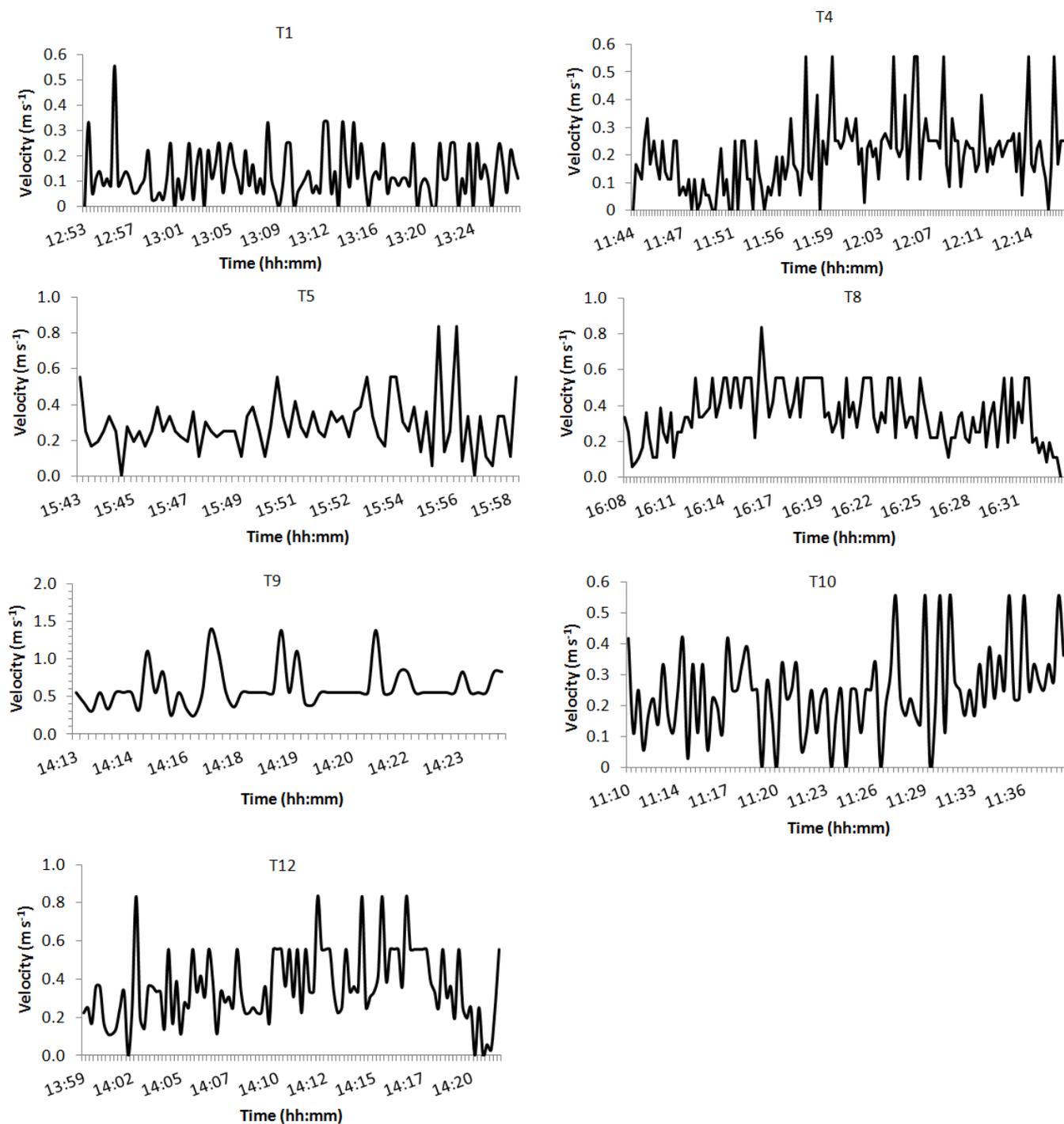


Figure 4. Time series of the longshore current velocity. Xai-xai Beach, 8-18 March 2011.

Figura 4. Série temporal da velocidade de correntes de deriva litorânea. Praia de Xai-xai, 8 a 18 de Março 2011.

Table 1. Summary of the deployments for longshore currents. Xai-xai Beach, 8-18 March 2011.

Tabela 1. Sumário das observações de correntes de deriva litorânea. Praia de Xai-xai, 8 a 18 de Março 2011.

Track	Tide regime	Distance (m)	Period (s)	Average velocity (m s ⁻¹)
T1	Flooding Spring	120.7	1740	0.078
T2	Flooding Spring	96.6	1732	0.078
T3	Ebbing Spring	155.2	1260	0.123
T4	Flooding Spring	172.4	1677	0.153
T5	Ebbing Spring	148.3	577	0.314
T6	Flooding Spring	213.8	1409	0.152
T7	Ebbing Spring	460.3	1155	0.080
T8	Ebbing Spring	293.1	1132	0.259
T9	Ebbing Spring	344.8	758	0.781
T10	Flooding Neap	224.1	1740	0.216
T11	Flooding Neap	269.0	1431	0.188
T12	Ebbing Neap	321.7	915	0.241

series plots of the observed rip currents. During the flooding neap tide the peak velocity reached 0.33 ms⁻¹ and 0.25 ms⁻¹ in Track 1 and Track 3, respectively. During the ebbing neap tide (Track 2) the peak velocity reached up to 1.4 ms⁻¹. Track 4 portrays a rip current crossing through the gap to the open ocean, with peak velocities up to 3 ms⁻¹. Track 5 depicts a combination of longshore and rip current with peak velocities up to 1.4ms⁻¹. Both Track 4 and Track 5 occurred during the ebbing spring tide. Once again the ebbing velocities were higher than the flooding velocities, and on average, low velocities were recorded in the southern beach (Track 1-3) and highest velocities were recorded on the northern beach (Track 4 and track 5).

Table 2 summarises the observed rip currents during the survey period. Although the average velocities are low, the peak velocities are high, as seen in the graphs. The peak velocities of rip currents up to 1.5ms⁻¹ and 3ms⁻¹ observed in Xai-Xai Beach are amongst the highest reported in the world (Leon *et al.*, 2008; Brander & Short 2000) and pose a risk to even the most experienced swimmer. Sabet & Barani (2011b), investigating rip currents along the southern coast of the Caspian Sea recorded rip currents with velocities up to 0.82 m s⁻¹. Linares *et al.* (2019) observed rip currents with speeds up to 0.9 m s⁻¹, induced by meteotsunami on southeastern beaches of Lake Michigan. Lee *et al.* (2016) observed rip currents with maximum speeds of 2.5 ms⁻¹ in Haeundae Beach, South Korea. Scott *et al.* (2018) found flash rips

up to 0.7 ms⁻¹ in Bight of Benin coast, in Gulf of Guinea, West Africa.

The observed rip currents were located close to the reef gaps. This was noted earlier and explained by Leon *et al.* (2008) in field observations of reef rip currents on Yoshiwara Coast, Ishigakijima, Okinawa, Japan. They observed that during the ebb tide most of the water inside the beach lagoon was discharged through the reef gaps. Maia *et al.*, (2014), studying the spatial-temporal distribution of the rip currents in beaches of the municipalities of Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes and Recife in Pernambuco state, Brasil, found that there were high frequency and permanent rip currents associated with gaps in the reef. The rip currents that are observed on Xai-xai Beach may be classified as Channel rip currents, controlled by bathymetry, according to the classification presented by Castelle *et al.*, (2016) as they are induced by the reef. According to Brander (2018) Channel rips are a relatively well-documented and understood rip current type given their predictable location, allowing for relatively easy field measurements, and common occurrence worldwide. They can be relatively stationary over periods of days, weeks, and months. Their morphologic structure varies with channel depth and width. The strongest rip currents in Xai-xai Beach were observed in the northern beach, where the gaps in the reefs are located, suggesting an area of high-energy environment, and so not safe for swimming.

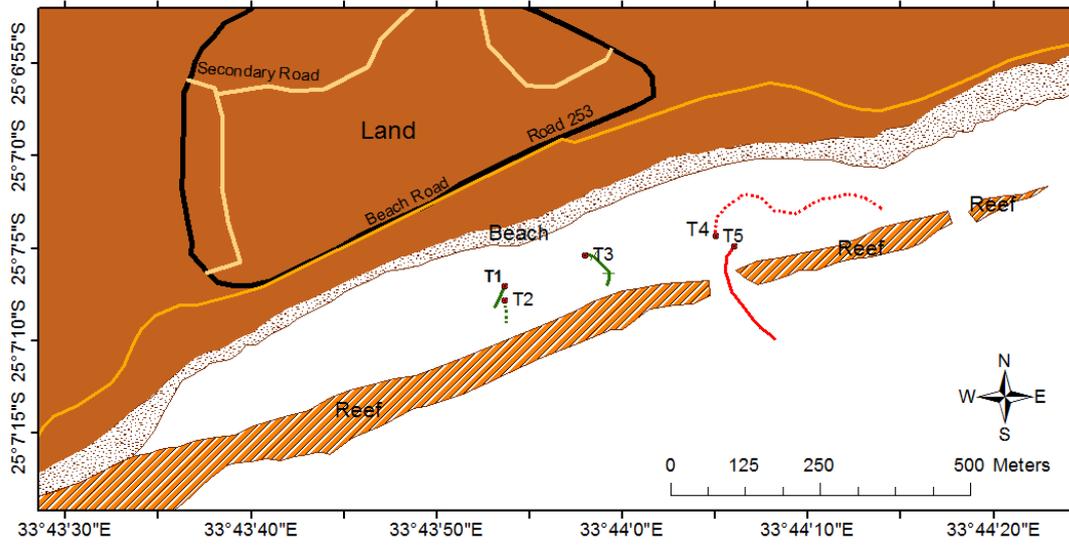


Figure 5. Rip current drifter tracks. The deployment points are indicated by the dots. Xai-Xai Beach, 8-18 March 2011.

Figura 5. Trajetórias de correntes de retorno. Os pontos de lançamento são indicados pelos pontos. Praia de Xai-xai, 8-18 de Março de 2011.



Figure 6. View of the rip currents across the reef gaps. Xai-Xai Beach, 8-18 March 2011.

Figura 6. Vista das correntes de retorno a atravessar o recife. Praia de Xai-xai, 8-18 de Março de 2011.

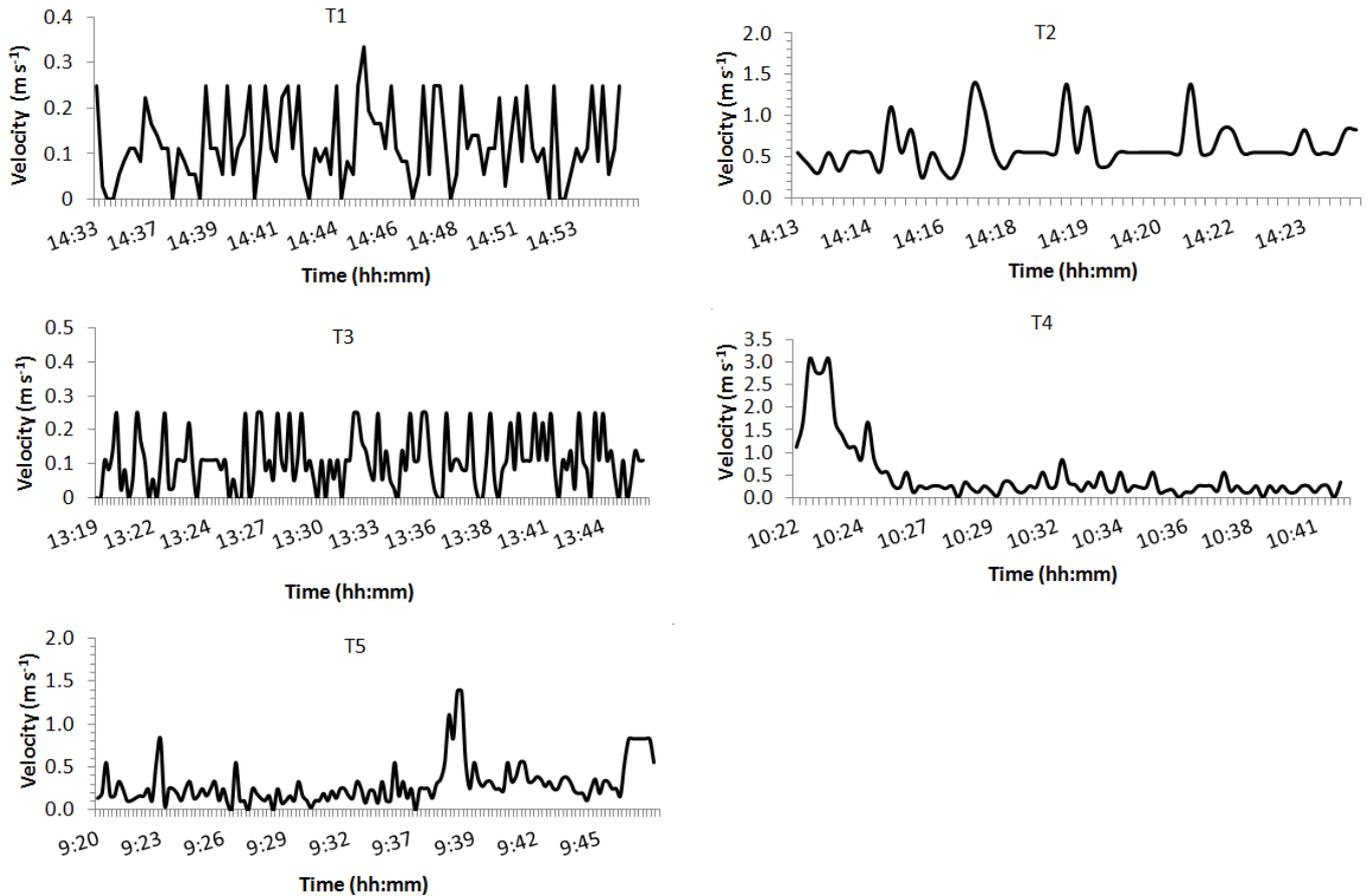


Figure 7. Time series of the rip current velocity. Xai-xai Beach, 8-18 March 2011.

Figura 7. Série temporal da velocidade de correntes de deriva litorânea. Praia de Xai-xai, 8 a 18 de Março 2011.

Table 2. Summary of the rip currents. Xai-Xai-Beach, 8-18 March 2011.

Tabela 2. Sumário das observações de correntes de retorno. Praia de Xai-Xai, 8 a 18 de Março 2011.

Track	Tide regime	Distance (m)	Period (s)	Average velocity (m s ⁻¹)
T1	Flooding Neap	126.8	1305	0.097
T2	Ebbing Neap	181.9	1650	0.110
T3	Flooding Neap	156.4	1665	0.094
T4	Ebbing Spring	461.1	1190	0.387
T5	Ebbing Spring	536.1	1700	0.315

4.3 Beach zoning

Based on the morphology, the Xai-xai Beach could be divided into two major areas, namely, the southern beach where the reef has no major gaps and the northern beach characterised by a few relatively wide gaps on the reef. Gaps in the reefs are the primary cause of the rip currents. Based on the occurrence and intensity of the rip currents, and considering the velocity threshold presented by Criado-Sudau *et al.* (2019) for zoning the Reserva Beach, in Rio de Janeiro city, Brazil, Xai-xai

Beach could be divided into three major areas as follows: (i) the southern beach, characterised by a low-energy environment and weak currents ($\leq 0.25 \text{ m s}^{-1}$), (ii) the mid beach, with medium strength currents and an incidence of weak rip currents, with velocity between 0.25 m s^{-1} and 0.5 m s^{-1} and (iii) the northern beach, characterised by a high-energy environment, with strong longshore currents and an incidence of strong rip currents ($\geq 0.5 \text{ m s}^{-1}$). The southern beach is the safest place and hence recommended for swimming. The northern beach

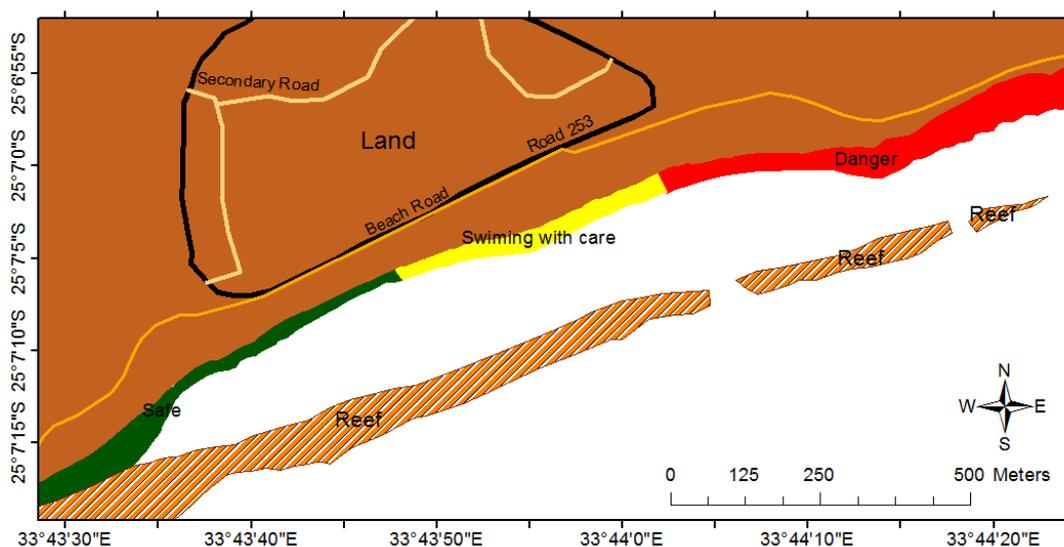


Figure 8. Proposed zoning of Xai-Xai Beach as to prevent hazards.

Figura 8. Proposta de zoneamento da praia de Xai-Xai para prevenir acidentes.

is the dangerous place and therefore, not recommended for swimming. In between, swimming could be allowed for experienced swimmers, though with caution. Figure 8 presents the suggested zoning of Xai-Xai Beach. Further, we strongly recommend the establishment of a flagging system and signals. Green flagging should be assigned to the southern beach, where swimming should be allowed. Yellow flagging should be assigned to the mid beach, where swimming should be allowed with caution and Red flagging should be assigned to the northern beach, where swimming should be prohibited. In addition, permanent lifeguard and beach assistant services should be put in place to provide timely assistance and rescue missions and reduce the danger.

5. CONCLUSIONS

Xai-Xai Beach, which is a lagoon like, about 2 km long, 200 m wide and 3 m average depth; protected from the ocean swell by a reef, oriented NE-SW direction, about 20 m wide and elevated 0.70 m above Mean Sea Level, with gaps along its extension, is one of the main attraction of tourists in the southern Mozambique. The beach receives on average 22,000 tourists per year. Despite the fact that the beach is protected from ocean waves, there are reports of casualties by drowning, on average 8-9 per year, threatening the thriving tourism.

In this research, drifters were deployed to investigate the nearshore currents in Xai-Xai beach. The drifters depicted the rip as well as longshore currents. The nearshore hydrodynamics was thought to be controlled by the reef. Unidirectional, northwards, longshore currents, with velocity up to 1.4 ms^{-1} and strong channel rip currents,

with velocity up to 3.4 ms^{-1} , 5-10 m width and duration of less than 5 minutes, were observed. Strongest currents were observed in the northern end of the beach, where the main gaps in the reef are located. The study considers that the rip currents are the main threat to the beach users in Xai-Xai Beach.

Based on the strength of the nearshore currents, the beach was divided into three areas, namely: (i) the southern part, with weak currents ($\leq 0.25 \text{ ms}^{-1}$), classified as a “safe area”, flagged green, and recommended for swimming; (ii) the northern part, with strong rip currents ($\geq 0.5 \text{ ms}^{-1}$), classified as a “hazardous area”, flagged red, and prohibited for swimming; and (iii) the intermediate zone, with moderate currents ($\geq 0.25 \text{ ms}^{-1}$ and $\leq 0.5 \text{ ms}^{-1}$), classified as a “moderate area” and flagged yellow, where swimming is allowed with caution. Further, the study recommends regular patrols by lifeguards and beach assistants during the peak tourism season, in summer, in order to reduce hazards.

ACKNOWLEDGEMENT

We are greatly thankful to the Centro de Desenvolvimento Sustentável para Zonas Costeiras (CDSZC) of the Ministry of Environment in Mozambique for the kind logistic support for the field work. The study was partially funded by NOMA (Norwegian Masters Programme), project number NOMAPRO-2007/10049, on Applied Marine Sciences for Sustainable Management of Natural Resources in Mozambique. We would like to thank Mrs Faith Bowers, Professor D.G. Bowers and two anonymous reviewers for the constructive remarks and suggestions, which significantly improved the quality of the manuscript.

REFERENCES

- Anon (2009) Contribuição Económica do Turismo na Praia de Xai-Xai de 2003 á 2008. Not published. Available on the web page: http://fedocas.blogspot.com/2009_10_14_archive.html
- Arun Kumar, S.V.V. & Prasad, K.V.S.R. (2014) - Rip current-related fatalities in India: a new predictive risk scale for forecasting rip currents. *Natural Hazards*, 70:313-335.
- Bowen, A.J. (1969) - Rip currents. 1. Theoretical investigations. *Journal of Geophysical Research*, 74:5467-5478.
- Brander R.W. (2018) - Rip Currents. In: Finkl C., Makowski C. (eds) Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Cham. Online ISBN978-3-319-48657-4. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-48657-4_261-2
- Brander, R.W. & Short, A.D. (2000) - Morphodynamics of a large-scale rip current system at Muriwai Beach, New Zealand. *Marine Geology*, 165:27-39.
- Castelle, B.; Scott, T.; Brander, R.W.; McCarroll, R.J. (2016) - Rip current types, circulation and hazard. *Earth-Science Reviews*, 163:1-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.09.008>
- Christensen, K.H.; Breivik, Ø.; Gammelsrød, T.; Hogueane, A.M.; Noca B. Furaca da Silva, N.B.F.; Taskjelle, T.; Manuel V. Poio, M.V. (2013) - Waves and dangerous currents at Xai-Xai Beach, Mozambique. Norwegian Meteorological Institute, Institute Technical Report Series, No 17/2013, p21, (ISSN: 1503-8025). Available on the web page: https://www.researchgate.net/publication/265865041_Waves_and_dangerous_currents_at_Xai-Xai_Beach_Mozambique
- Criado-Sudau, F.F.; Nemes, D.D.; Gallo, M.N. (2019) - Rip currents dynamic of a swell dominated microtidal beach. In: Silva, R.; Martínez, M.L.; Chávez, V., and Lithgow, D. (eds.), *Integrating Biophysical Components in Coastal Engineering Practices. Journal of Coastal Research*, 92:121-127. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI92-014.1>
- Hearn, C.J. & Parker, I.N. (1988) - *Hydrodynamic processes on the Ningaloo coral reef, Western Australia. Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium*, 2:497-502.
- Houser, C., Barrett, G.; Labude, D. (2011) - Alongshore variation in the rip current hazard at Pensacola Beach, Florida. *Natural Hazards*, 57(2):501-523. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9636-0>
- Kraines, S.B.; Yanage, T.; Isobe, M.; Komiyama, H. (1998) - Windwave driven Circulation on the coral reef at Boray Bay, Miyako Island. *Coral Reefs*, 17:133-143.
- Lascody, R. (1998) - East central Florida rip current program. *Natl Weather Dig*, 22:25-30.
- Leatherman, S.P. (2012) - Undertow, rip current, and riptide. *Journal of Coastal Research*, 28(4): (2012). <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00052.1>
- Lee, G.; Hong, S.; Lee, C.; Kim, J., and Lee, J. (2016) - Rip current zoning map to manage safety at Haeundae Beach, Korea. In: Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and McCarroll, R.J. (eds.), Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). *Journal of Coastal Research*, 75(1):1452-1456. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208. DOI: <https://doi.org/10.2112/SI75-301.1>
- Leon, M.P.; Nishi, R.; Kumasaka, F.; Takaesu, T.; Kitamura, R.; Otani, A. (2008) - *Reef Rip Current Generated by Tide and Wave during Summer Season: Field Observation Conducted in Yoshiwara Coast, Ishigakijima, Okinawa, Japan. Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida, 7-11 July 2008. Session number 15.*
- Linares, A.; Wu, C.H.; Bechle, A.J.; Anderson, E.J.; Kristovich, D.A.R. (2019) - Unexpected rip currents induced by a meteotsunami. *Scientific Reports*, 9:2105. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38716-2>. Available through <https://www.nature.com/articles/s41598-019-38716-2.pdf>
- Longuet-Higgins, M.S. & Stewart, R.W. (1964) - Radiation stresses in water waves—a physical discussion with applications. *Deep-Sea Research*, 11:529-562.
- Lushine, J.B. (1991) - A study of rip current drownings and weather related factors. *National Weather Digest*, 16:13-19.
- MacMahan, J.H.; Thornton, Ed B.; Stanton, T.P.; Reniers, Ad J.H.M. (2005) - RIPEX: Observations of a rip current system. *Marine Geology*, 218 (1-4):113-134. ISSN 0025-3227. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.03.019>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025322705000885>)
- Maia, J.C.B.G.; Souza Pereira, P.; Lessa, R.P.T. (2014) - Variação espaço-temporal das correntes de retorno em municípios da região metropolitana do Recife. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 05(2):166-176. DOI: 10.5380/abequa.v5i2.36775.
- Meadows, G.; Purcell, H.; Guenther, D.; Meadows, L.; Kinnunen, R.; Clark, G. (2011) - *Rip currents in the Great Lakes: an unfortunate truth. In: Leatherman, S.P. and Fletemeyer, J. (eds.), Rip Currents: Beach Safety, Physical Oceanography, and Wave Modeling. Boca Raton, Florida: CRC Press International, pp. 199-214.*
- Nadaoka, K.; Nihei, Y.; Kumano, R.; Yokobori, T.; Omija, T. Wakaki, K. (2001) - A field observation on hydrodynamic and thermal environments of a fringing reef at Ishigaki Island under typhoon and normal atmospheric conditions. *Coral Reefs*, 20:387-398.
- Nharreluga, B.A.S. (2014) - Fatores que influenciam nas correntes de deriva litoral na praia de Xai-Xai. P47., MSc dissertation in Applied Oceanography, School of Marine and Coastal Sciences, Eduardo Mondlane University. Mozambique. Not published.
- Sete, C.I.; Ruby, J.; Dove, V. (2002) - Seasonal Variation of Tides, Currents, Salinity and Temperature along the Coast of Mozambique. Technical Report, Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação, Maputo. Available on the web page: <http://hdl.handle.net/1834/188>.
- Schmidt, W.; Woodward, B.; Millikan, K.; Guza, R.; Raubenheimer, B.; Elgar, S. (2003) - A GPS-tracked surf zone drifter. *Journal of Atmosphere and Ocean Technology*, 20(97):1069-1075. doi:10.1016/B978-0-12-415990-7.00003-X
- Scott, T.; Castelle, B.; Almar, R.; Senechal, N.; Floc'h, F.; Detandt, G. (2018) - Controls on Flash Rip Current Hazard on Low-Tide Terraced Tropical Beaches in West Africa. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 81 - Tropical Coastal and Estuarine Dynamics: 92-99. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208. <https://doi.org/10.2112/SI81-012.1>.
- Shafiei Sabet, S. & Barani, Gh.A. (2011a) - Design of small GPS drifters for current measurements in the coastal zone. *Ocean and Coastal Management*, 54:158-163.
- Shafiei Sabet, S. & Barani, Gh.A. (2011b) - Field investigation of rip currents along the southern coast of the Caspian sea. *Scientia Iranica A*, 18(4):878-884.

- Short, A.D. (1999) - *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. p379., John Wiley & Sons Ltd. Baffins Lane, Chichester.
- Silva, N.B.F. (2012) - Effect of a barrier reef on waves and currents at Xai-Xai Beach. P51., MSc dissertation in Applied Oceanography, School of Marine and Coastal Sciences, Eduardo Mondlane University. Mozambique. Not published.
- Symonds, G.; Black, K.P.; Young, I.R. (1995) - Wave-driven flow over shallow reefs. *Journal of Geophysical Research*, 100(C2):2639-2648.
- Short, A.D. & Hogan, C.L. (1994) - Rip Currents and Beach hazards: Their Impact on Public Safety and Implications for Coastal Management. *Journal of Coastal Research, Special Issue no.12-Coastal Hazards*:197-209.
- Symonds G, Black KP, Young IR (1995) Wave-driven flow over shallow reefs. *J Geophy Res*, 100(C2):2639-2648.
- Tang, J.; Shen, Y.; Shi, F.; Zhang, M. (2012) - Numerical study of wave and longshore current interaction. *Acta Oceanologica Sinica*, 31(3):10–17. <https://doi.org/10.1007/s13131-012-0202-3>.
- Taskjelle, T.; Barthel, K.; Christensen, K.H.; Furaca, N.; Gammelsrød, T.; Hogue, A.M.; Nharreluga, B. (2014) - Modelling longshore flow in a semi-enclosed lagoon strongly forced by tides and waves. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149(2014):294-301. DOI: 10.1016/j.ecss.2014.09.008.
- Wind, H., & Vreugdenhil, C. (1986) - Rip-current generation near structures. *Journal of Fluid Mechanics*, 171: 459-476. doi:10.1017/S0022112086001520
- Wright, L.D. & Short, A.D. (1984) - Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

Avaliação do risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul/Brasil

Evaluation of flood risk of Guaíba Lake and Jacuí Delta, Rio Grande do Sul/Brazil

Elisabete Weber Reckziegel^{@, 1}, Jair Weschenfelder², Thiago Bazzan³

[@] Corresponding author: elisabetewr@gmail.com

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). elisabetewr@gmail.com

² Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). jairweschenfelder@ufrgs.br

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São Paulo, Brasil. thiago.bazzan@inpe.br

ABSTRACT: Occupation of areas with hydrological risk can cause damage and loss to the population and infrastructure. The delineation and sectorization of flood risk areas of Guaíba Lake and Jacuí Delta were carried out with the integration of flood hazard and socioeconomic vulnerability information. For a flood hazard assessment, return time and protection systems in areas susceptible to flooding were considered. The vulnerability was characterized by the exposure of housing, structures of interest and socioeconomic characteristics of the population. The extension of flood hazard areas around Guaíba Lake and Jacuí Delta is of 230 km², from which 95 km² are considered of high hazard (41% of the overall). Areas with high flood hazard do not have flood protection system, the return time is less than 10 years and floods are of low magnitude. Urban occupation in flood hazard areas covers 40 km². Areas with high vulnerability total 7 km² (18% of the overall). The houses have a low standard of construction, poor condition and limited access to basic services. In general, household income is less than a minimum monthly wage with a high number of children or older people. High flood risk areas are characterized by high flood hazard and high vulnerability. These areas have a low response to flood events and are located near the islands, in the central and southern part of the municipality of Porto Alegre and parts of the urban area of Eldorado do Sul. Assessment and risk sectorization is important to direct prevention and response actions in the event of flooding.

Keywords: Hazard, Vulnerability, Risk, Guaíba Lake, Jacuí Delta.

RESUMO: A ocupação de áreas com risco hidrológico tem como consequência a ocorrência de danos e perdas para a população e estruturas expostas, tornando importante a identificação destes locais. A delimitação e setorização das áreas com risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí foi realizada a partir da integração das informações associadas ao perigo e vulnerabilidade. Para a avaliação do perigo foram integrados dados de tempo de retorno das inundações e sistemas de proteção nas áreas com suscetibilidade. A caracterização das áreas vulneráveis foi realizada a partir da avaliação da exposição das moradias e estruturas de entorno e das características socioeconômicas da população. A extensão das áreas com perigo de inundação no entorno do Lago Guaíba e Delta do Jacuí é de 230 km², destes 95 km² são considerados como tendo perigo alto (41%, do total). As áreas com perigo alto não apresentam sistema de proteção contra inundação e o tempo de retorno dos eventos é inferior a 10 anos, predominando inundações de baixa magnitude. A ocupação urbana em áreas com perigo de inundação abrange 40 km². As áreas com alta vulnerabilidade totalizam 7 km² (18% do total). Nestes locais as moradias apresentam baixo padrão construtivo, precário estado de conservação e acesso limitado a serviços básicos. Em geral, a renda dos domicílios é inferior a um salário mínimo mensal e há elevado número de crianças ou idosos. As áreas com alto risco são caracterizadas pelo alto perigo de inundação e pela alta vulnerabilidade, apresentando baixas condições de resposta e mitigação diante dos eventos e estão localizadas junto às ilhas, na porção central e sul do município de Porto Alegre, ainda em porções da área urbana de Eldorado do Sul. A avaliação e setorização do risco é importante para direcionar as ações de prevenção e resposta diante da ocorrência de inundações.

Palavras-chave: Perigo, Vulnerabilidade, Risco, Lago Guaíba, Delta do Jacuí.

1. INTRODUÇÃO

Inundações são caracterizadas pela submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas (COBRADE, 2012). De acordo com CRED (2019), no ano de 2018, as inundações foram o tipo de desastre natural com maior número de eventos (38%) e que afetaram maior número de pessoas (50% do total de afetados) em todo o mundo. No Brasil, de acordo com o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (2014), o maior número de ocorrências de inundações, no ano de 2013, foi registrado na macrorregião Sul (33,33%), seguida pelas macrorregiões Norte (27,45%) e Sudeste (25,98%). Em relação às ocorrências registradas por mesorregião, a Metropolitana de Porto Alegre está entre as mesorregiões que mais tiveram incidência de inundações (20 ocorrências).

Na Região Metropolitana de Porto Alegre as inundações associadas ao Lago Guaíba e Delta do Jacuí são frequentes. Entre os eventos históricos destaca-se a inundação do ano de 1941, quando as águas do Lago Guaíba, de acordo com DEP (2017), atingiram a cota de 4,75 metros em decorrência de aproximadamente 20 dias contínuos de chuva. Nesta inundação, com base em Guimaraens (2009), em Porto Alegre houve 15 mil residências inundadas, atingindo 70 mil pessoas. O valor dos prejuízos, de acordo com o autor, alcançou mais de 30 milhões de dólares.

Além deste evento de 1941, ocorreram picos históricos de cheia do Guaíba em 1873 (3,5 metros), 1914 (2,60 metros), 1928 (3,20 metros), 1936 (3,22 metros) e 1967 (3,13 metros), de acordo com DEP (2017). Ainda, nos

anos de 1984 e 2015 foi registrada a cota de 2,60 e 2,94 metros (SPH, 2015), respectivamente, ocasionando inundação nos municípios situados nas margens do Lago Guaíba e nas ilhas do Delta do Jacuí.

De acordo com o DEP (2017), as cheias que ocorrem no Lago Guaíba são decorrentes de vários fatores ambientais inter-relacionados, principalmente das chuvas intensas que ocorrem nas cabeceiras dos rios afluentes juntamente com o efeito de represamento decorrente do vento sul.

ASSIS (1960) menciona que descendo a Serra Geral, as águas oriundas da região mais chuvosa do estado, para alcançar o Atlântico tem de se reunir, em primeiro lugar, no Guaíba que assim constitui verdadeiro ponto de estrangulamento para o seu rápido escoamento. Procurando a saída para o mar, a mais de 300 km de Porto Alegre, as águas inlfetem violentamente para o sul, atravessando então o Guaíba e a Lagoa dos Patos. Por outro lado, a estreita saída para o mar - o canal de Rio Grande - a Lagoa dos Patos e o Guaíba sofrem ainda os efeitos do vento sul, que ajuda a represar as águas, provocando a elevação do seu nível (ASSIS, 1960).

Dessa forma, diante da problemática associada às inundações do Lago Guaíba e Delta do Jacuí, é fundamental a setorização das áreas com risco hidrológico para identificar os locais onde os danos e impactos causados por estes eventos podem ser mais significativos.

Em relação ao risco, de acordo com UNISDR (2009), este é a combinação entre a probabilidade de um evento e suas consequências negativas. De acordo com ISDR (2004), convencionalmente o risco é expresso pela

notação Risco = Perigo x Vulnerabilidade. Com base em IPT e CPRM (2014), a estimativa de risco integra as análises de perigo/perigosidade e de consequências, incluindo nesta última a vulnerabilidade dos elementos expostos.

O perigo, de acordo com UNISDR (2009), constitui um fenômeno perigoso, substância, atividade humana ou condição que pode causar perda de vida, ferimentos ou outros impactos à saúde, danos à propriedade, perda de meios de subsistência e serviços, perturbação social e econômica ou danos ambientais.

Já a vulnerabilidade é o potencial para a perda. A vulnerabilidade inclui quer elementos de exposição ao risco (as circunstâncias que colocam as pessoas e as localidades em risco perante um determinado perigo), quer de propensão (as circunstâncias que aumentam ou reduzem a capacidade da população, da infraestrutura ou dos sistemas físicos para responder e se recuperar de ameaças ambientais) (CUTTER, 2011).

Sobre os mapas de risco, são uma ferramenta para detectar as áreas e os elementos submetidos a risco e assim poder distribuir os esforços proporcionalmente aos níveis de

afetação. Ou seja, conhecer o nível potencial de impacto da inundação sobre os diversos elementos distribuídos no território ajuda a analisar, a tomar decisões e a desenvolver medidas de gestão (MASGRAU, 2004).

Neste contexto, este estudo tem por objetivo delimitar e setorizar as áreas com risco de inundação associadas ao Lago Guaíba e Delta do Jacuí a partir da identificação das áreas com perigo de inundação e da avaliação da vulnerabilidade da população e das ocupações urbanas.

2. ÁREA DE ESTUDO

O Lago Guaíba e o Delta do Jacuí estão localizados na Região Metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1). Na margem oeste do Lago Guaíba estão localizados os municípios de Eldorado do Sul, Guaíba e Barra do Ribeiro e na margem leste os municípios de Porto Alegre e Viamão.

A população dos municípios situados no entorno, de acordo com o IBGE (2010a), corresponde a aproximadamente 1.800.000 habitantes. Destes, 98% estão localizados em área urbana, sendo que o município de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do

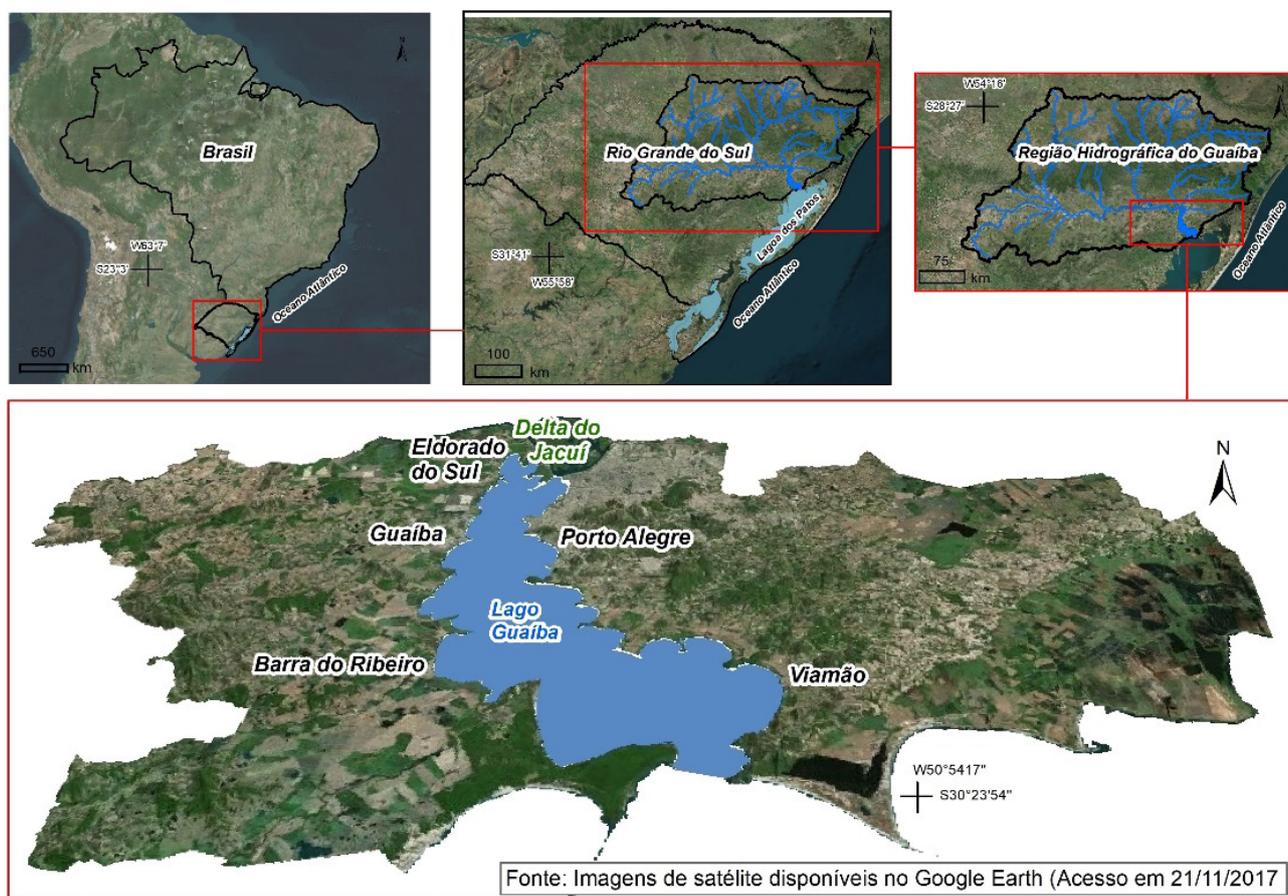


Figura 1: Localização da área de estudo.

Figure 1. Location of the study area.

Sul, apresenta 78% destes habitantes. Além de Porto Alegre, nas margens localizam-se as áreas urbanas dos municípios de Eldorado do Sul, Guaíba e Barra do Ribeiro, assim como, o distrito de Itapuã (localizado no município de Viamão).

3. METODOLOGIA

A delimitação e hierarquização das áreas com risco de inundação foi realizada a partir da integração e correlação das informações das áreas com potencial de ocorrência de inundação (perigo) e da vulnerabilidade da população e das moradias expostas aos eventos.

3.1. Áreas de perigo

A delimitação das áreas com perigo foi realizada a partir da integração das informações relativas ao sistema de proteção existente e informações sobre o tempo de retorno das inundações nas áreas com suscetibilidade.

Para o mapeamento do sistema de proteção contra inundação foi utilizado como base o trabalho desenvolvido por RAUBER (1992). Os diques foram vetorizados a partir de imagens de satélite de sensoriamento remoto disponíveis no *software* Google Earth.

Para definir o tempo de retorno das inundações foram consideradas as cotas linimétricas da estação Praça da Harmonia que corresponde a estação com maior série histórica de dados disponível na área de estudo. Estes dados foram disponibilizados pela Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH/RS) para o período de 1941-2015. Para o ano de 1940 foram consultados os dados da estação Porto Alegre, obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA).

O tempo de retorno dos eventos foi definido a partir da equação apresentada por Christofletti (1981) para estabelecer o intervalo de recorrência em anos (I_r) (1).

$$I_r = \frac{N + 1}{M} \quad (1)$$

onde “N” corresponde ao número total de anos considerados na série e “M” é o número de ordem que representa a posição da cheia na escala organizada. Esta metodologia foi aplicada por autores como BAZZAN (2011) que delimitou as áreas inundadas do Rio dos Sinos em São Leopoldo e OLIVEIRA (2010) que delimitou as áreas inundáveis do Rio Caí, ambos cursos de água afluentes do Delta do Jacuí.

Para a delimitação das áreas com perigo foram utilizadas as informações topográficas derivadas das curvas de nível e pontos cotados do município de Porto Alegre, em escala 1:1.000, obtidos a partir de HASENACK

et al. (2010). Para os municípios de Eldorado do Sul e Guaíba foram utilizadas as cartas do Levantamento Aerofotogramétrico em escala 1:10.000 disponibilizadas pela Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN). Para os municípios de Barra do Ribeiro e Viamão foram integrados Modelos Digitais de Elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponibilizados pelo Projeto Topodata (BRASIL, 2008).

Foram definidas classes de alto, médio e baixo perigo de inundação. As áreas de alto perigo são aquelas com tempo de retorno inferior a 10 anos e que não são protegidas pelo sistema de proteção contra inundação, sendo áreas com maior potencial de ocorrência dos eventos. As áreas de médio perigo são aquelas com tempo de retorno superior a 10 anos e que não apresentam sistema de proteção. Já as áreas que são protegidas pelos diques foram consideradas com baixo perigo de inundação, pois a proteção destes locais confere menor potencial de serem atingidas pelos eventos.

A delimitação da expansão urbana nas áreas com perigo de inundação foi definida para os anos de 1956, 1971 e 2015. O mapeamento do ano de 1956 foi realizado para o município de Porto Alegre com base em fotografias aéreas do ano de 1956 na escala 1:10.000 disponibilizadas pela Secretaria Municipal de Urbanismo (SMURB); para os demais municípios foram utilizadas cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico na escala 1:50.000. Para o mapeamento da malha urbana no ano de 1971 dos municípios de Eldorado do Sul, Guaíba e Porto Alegre foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:40.000 disponibilizadas pela Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN). Para o município de Barra do Ribeiro e para Itapuã (Viamão) foram utilizadas as cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico na escala 1:50.000. Para o ano de 2015 foram utilizadas imagens de satélite com alta resolução espacial disponíveis no *software* Google Earth.

O mapeamento do uso e ocupação do solo nas áreas com perigo de inundação foi gerado com base nas imagens de satélite do *software* Google Earth. Nas áreas com ocupação urbana identificadas no mapa de uso e ocupação foi realizada a avaliação da vulnerabilidade.

3.2. Elementos expostos e vulnerabilidade

De acordo com UNISDR (2009) há muitos aspectos da vulnerabilidade, decorrentes de vários fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais. ALMEIDA (2010) para determinar a vulnerabilidade na bacia do Rio Maranguapinho coletou dados socioeconômicos a partir do Censo (IBGE, 2010). A autora selecionou 59 variáveis específicas para a caracterização da vulnerabilidade

Tabela 1. Variáveis selecionadas para a definição da vulnerabilidade.

Table 1. Variables selected to define the vulnerability.

Vulnerabilidade associada às moradias e entorno			
Variáveis	Peso		
	3	2	1
Estado de conservação e padrão construtivo das moradias	Ruim	Regular	Bom
Domicílios com energia elétrica	0 - 70%	71 - 90%	91 - 100%
Domicílios com água da rede geral	0 - 70%	71 - 90%	91 - 100%
Domicílios com coleta de lixo	0 - 70%	71 - 90%	91 - 100%
Domicílios com esgoto da rede geral	0 - 70%	71 - 90%	91 - 100%
Vulnerabilidade associada às variáveis socioeconômicas da população			
Variáveis	Peso		
	3	2	1
Renda	Menos de 1 salário mínimo*.	Entre 1 e 3 salários mínimos*	Mais de 3 salários mínimos*.
Moradores por domicílio	Mais de 4	3 - 4	0 - 2
Pessoas com mais de 60 anos	Mais de 20%	11 - 20%	0 -10%
Pessoas com menos de 12 anos	Mais de 20%	11 - 20%	0 -10%
Aglomerados subnormais	Alta vulnerabilidade		
*1 salário mínimo (937,00 reais) corresponde a aproximadamente 300 dólares dos E.U.A..			

social na área utilizando os setores censitários. RIGHI (2016) em estudo sobre inundações graduais na área urbana do município de Uruguaiana, para analisar o grau de vulnerabilidade da população, considerou o padrão das edificações, variáveis socioeconômicas (número de pessoas por residência, rendimento nominal médio mensal), de infraestrutura urbana (abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem de águas pluviais urbanas, sistema viário), doenças de veiculação hídrica e o impacto emocional.

Para este estudo a caracterização das áreas vulneráveis foi realizada a partir da seleção de variáveis associadas às moradias, estruturas do entorno e também com base em indicadores socioeconômicos da população residente.

Para a avaliação da exposição das moradias e estruturas do entorno foi analisado o padrão construtivo e estado de conservação das moradias, obtidos a partir da interpretação de imagens de satélite com verificações e validações realizadas em campo. Também foi considerado o acesso a serviços essenciais, com base nos setores censitários do IBGE (2010a), que indicam o acesso da população aos serviços básicos.

Como áreas mais vulneráveis foram consideradas aquelas onde as moradias apresentam baixo padrão construtivo, precário estado de conservação, localizadas em setores censitários com acesso restrito ou sem acesso à energia elétrica, coleta de lixo, água da rede geral e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial. As áreas menos vulneráveis foram consideradas aquelas onde

as moradias apresentam alto padrão construtivo, bom estado de conservação, que possuem energia elétrica, coleta de lixo, água da rede geral e esgotamento sanitário via geral de esgoto ou pluvial.

A avaliação das variáveis socioeconômicas da população exposta foi realizada com base no rendimento médio mensal, percentual de idosos e crianças e variância do número de moradores nos domicílios a partir dos setores censitários do IBGE (2010a). As áreas mais vulneráveis foram consideradas aquelas constituídas por domicílios com menor rendimento médio mensal, com maior número de moradores por domicílio e com maior percentual de idosos e crianças. As menos vulneráveis foram consideradas aquelas constituídas por domicílios com maior rendimento médio mensal, onde há menor número de moradores por domicílio e menor percentual de idosos e crianças.

Também foram verificados os aglomerados subnormais existentes nas áreas de perigo. De acordo com o IBGE (2010b), aglomerado subnormal é um conjunto constituído de, no mínimo, 51 unidades habitacionais (barracos, casas, etc.) carentes, em sua maioria de serviços públicos essenciais, ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular) e estando dispostas, em geral, de forma desordenada e/ou densa. A identificação dos aglomerados subnormais é feita com base nos seguintes critérios: a) Ocupação ilegal da terra; e b) Possuir pelo menos uma das seguintes características: - urbanização fora dos

padrões vigentes; ou - precariedade de serviços públicos essenciais, tais quais, energia elétrica, coleta de lixo e redes de água e esgoto (IBGE, 2010b).

Foram atribuídos pesos para as variáveis que compõem a vulnerabilidade (Tabela 1) e realizado o cruzamento das informações com auxílio da ferramenta *Map Algebra* no ArcGIS. A partir do cruzamento das informações foram definidas classes de alta, média e baixa vulnerabilidade.

3.3. Risco de Inundação

Para a avaliação e setorização do risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí foram atribuídos pesos para as classes de perigo e vulnerabilidade (Figura 2) e realizado o cruzamento das informações a partir da fórmula $Risco = Perigo \times Vulnerabilidade$ proposta por ISDR (2004) e IPT e CPRM (2014). Após a integração das informações, as áreas com risco foram setorizadas sendo definidas classes de alto, médio, baixo e muito baixo risco.

4. RESULTADOS

4.1. Perigo de inundação

Para a delimitação das áreas com perigo foram avaliadas informações sobre os sistemas de proteção das inundações e tempo de retorno dos eventos.

Os sistemas de proteção constituem uma importante medida estrutural para o controle do perigo das inundações, uma vez que, protegem a população e as estruturas urbanas em locais com potencial de serem impactados pelos eventos. Na área de estudo, o centro e a porção norte de Porto

Alegre estão protegidos pelo sistema de proteção contra as inundações do Lago Guaíba e Delta do Jacuí.

De acordo com o DEP (2002), em 1970 foi iniciada a construção de um sistema de proteção de cheias para a região metropolitana de Porto Alegre (RMPA). Esse sistema consiste de uma série de diques de concreto (área central de Porto Alegre) e de enrocamento no restante. A drenagem interna do sistema dos diques é realizada através de estações de recalque localizadas no ponto inferior das mesmas. O sistema de diques foi projetado para a cota 6,0 m, que representa 1,25 m acima do máximo nível da cheia de 1941 (DEP, 2002).

Apesar do centro e porção norte do município de Porto Alegre apresentarem proteção contra inundações existe um conjunto de infraestrutura urbana localizada entre o dique e o Lago Guaíba e o canal do Delta do Jacuí, incluindo domicílios residenciais e estabelecimentos comerciais, que não estão protegidos. Além disso, as ilhas localizadas no Delta do Jacuí, a porção sul do município de Porto Alegre, as cidades de Barra do Ribeiro, Eldorado do Sul e Guaíba e o Distrito de Itapuã (Viamão) não apresentam diques de proteção.

Com relação ao tempo de retorno dos eventos, no período 1940-2015 a maior cota linimétrica registrada correspondeu a 4,63 metros no ano de 1941 representando um tempo de retorno de 76 anos. Esta cota é 1,69 metros acima da segunda maior registrada (2,94 metros) em 2015 e que possui um tempo de retorno de 38 anos. Além do ano de 1941 e 2015, as cotas linimétricas acima de 2,50 metros que representam tempo de retorno superior a 10 anos, foram registradas em 1965, 1966, 1967, 1984 e 2002 (Figura 3).

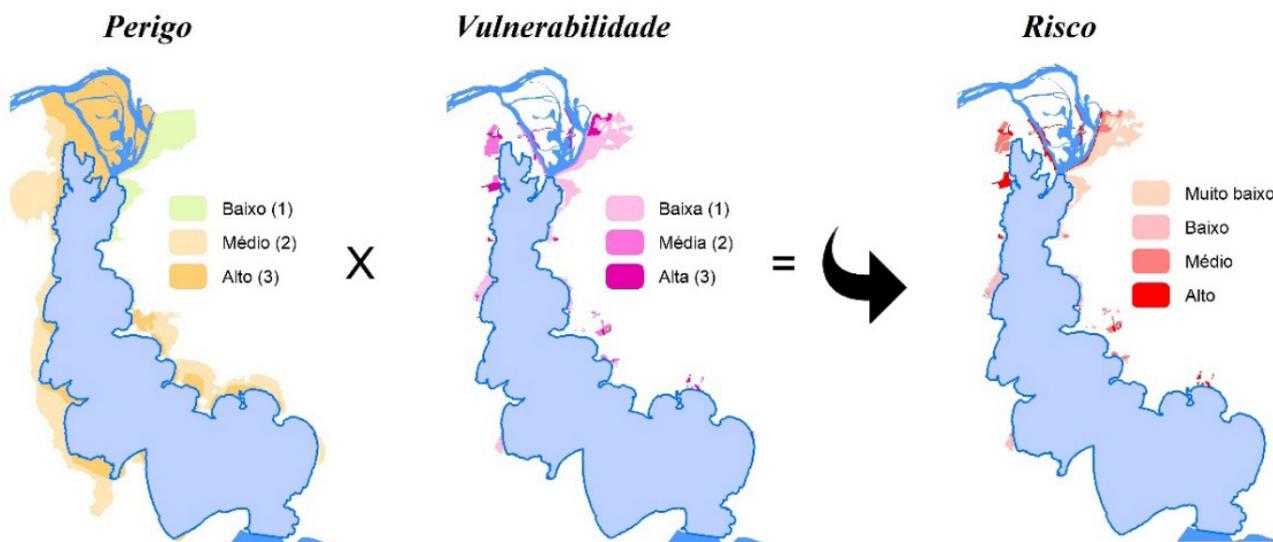


Figura 2. Integração das informações para a determinação do risco de inundação.

Figure 2. Compilation of information to determine the flood risk.

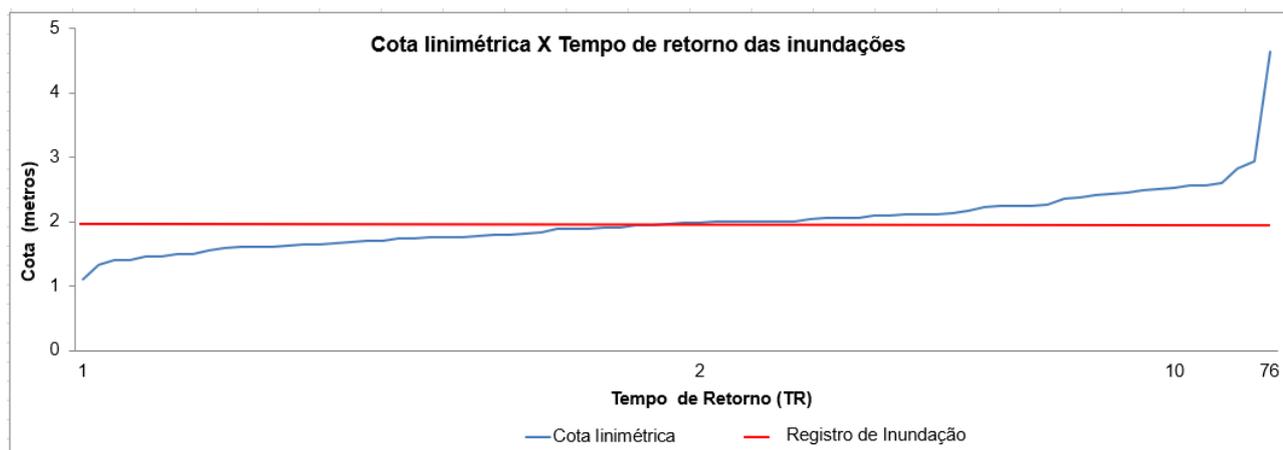


Figura 3. Tempo de retorno (anos) das inundações.

Figure 3. Return period of floods.

Em relação à cota topográfica, com base em informações constantes na ficha com o histórico da régua na estação Praça da Harmonia (Figura 4) fornecida pela Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) a marca da enchente de 1941 (que corresponde a maior cota registrada na série histórica do estudo) seria de 4,91 metros referidos ao zero do mar. Diante disso, para esta pesquisa foi considerada a cota topográfica de 5 metros para espacialização do tempo de retorno da maior inundação registrada na área de estudo e como limite para definição das áreas com perigo de inundação.

As áreas com perigo de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí (Figura 4) evidenciam-se nas ilhas no Delta do Jacuí e em áreas junto a foz dos arroios afluentes do Lago Guaíba. As áreas com perigo totalizam em torno de 230 km², dos quais, 95 km² (41%) apresentam perigo alto de inundação.

As áreas com perigo alto são aquelas que não apresentam proteção contra inundação e onde o tempo de retorno dos eventos é inferior a 10 anos sendo recorrentes inundações de baixa e média intensidade. Nas áreas de médio perigo as inundações não são recorrentes, tendo potencial de ser atingidas por eventos de alta intensidade. As áreas com baixo perigo são protegidas pelos diques. Nestes locais com a presença do sistema de proteção o potencial de ocorrência de inundação é baixo.

A avaliação do perigo permitiu identificar as áreas com potencial de serem atingidas pelas inundações. Sobre estas áreas foi avaliada a expansão urbana para verificar onde houve maior incremento das ocupações. Também foram mapeados os principais tipos de uso e ocupação para identificar os locais onde os danos decorrentes das inundações podem ser mais significativos.

4.2. Expansão urbana nas áreas com perigo de inundação

No ano de 1950 a população residente nos municípios do entorno do Lago Guaíba e Delta do Jacuí era de 437.901 habitantes; em 1970 o número de habitantes correspondia a 995.009 (IBGE, 2007). Já em 2010 essa população totaliza 1.790.854 habitantes (IBGE, 2010a), indicando que a população quadriplicou no período entre 1950-2010 (Tabela 2). A ausência de dados do município de Barra do Ribeiro em 1950 e de Eldorado do Sul em 1950 e 1970 ocorre, pois, Barra do Ribeiro foi emancipada do município de Guaíba em 1959 e Eldorado do Sul foi emancipado do município de Guaíba em 1988.

Nas Figuras 5, 6 e 7 constam os mapas com a representação da expansão urbana nas áreas com perigo de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí a partir do mapeamento de 1956, 1971 e 2015. Com base no mapeamento do ano de 2015, a área urbana em perigo de inundação perfaz 40 km², o que representa expansão urbana de 20 km² em relação ao mapeamento do ano de 1971 e de 25 km² em relação ao mapeamento do ano de 1956. A expansão da ocupação ocorre principalmente na porção central e sul de Porto Alegre, assim como, nas ilhas localizadas no Delta do Jacuí. Também na área urbana dos municípios de Eldorado do Sul, Guaíba e Barra do Ribeiro.

Em relação à zona sul do município de Porto Alegre, DIAS (2014) menciona que a ocupação destas áreas durante muito tempo permaneceu segregada e predominantemente destinada às atividades rurais, era uma área com acesso dificultado pela linha de morros que a separa da zona norte e pela distância do centro do município. Para a autora, as facilidades de acesso existentes hoje e as iniciativas governamentais

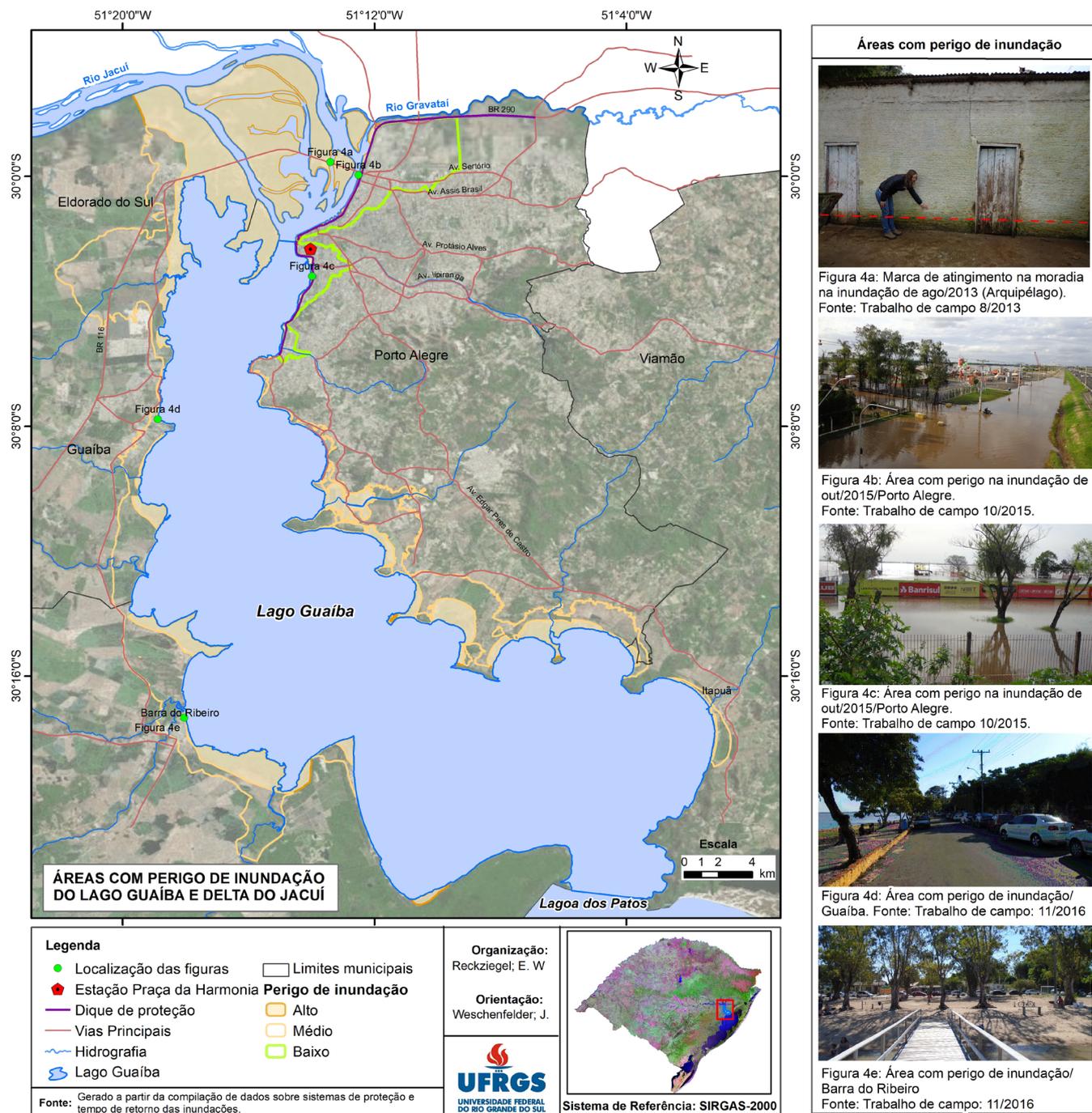


Figura 4. Mapa das áreas com perigo de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí.

Figure 4. Map of flood hazard areas in Guaíba Lake and Jacuí Delta.

Tabela 2. População dos municípios do entorno do Lago Guaíba e Delta do Jacuí. Fonte: IBGE (2007; 2010a)

Table 2. Population of the municipalities surrounding of Guaíba Lake and Jacuí Delta.

Município	População - 1950	População - 1970	População - 2010
Barra do Ribeiro	-	9.383	12.572
Eldorado do Sul	-	-	34.343
Guaíba	22.796	33.695	95.204
Porto Alegre	394.151	885.564	1.409.351
Viamão	20.954	66.367	239.384
Total	437.901	995.009	1.790.854

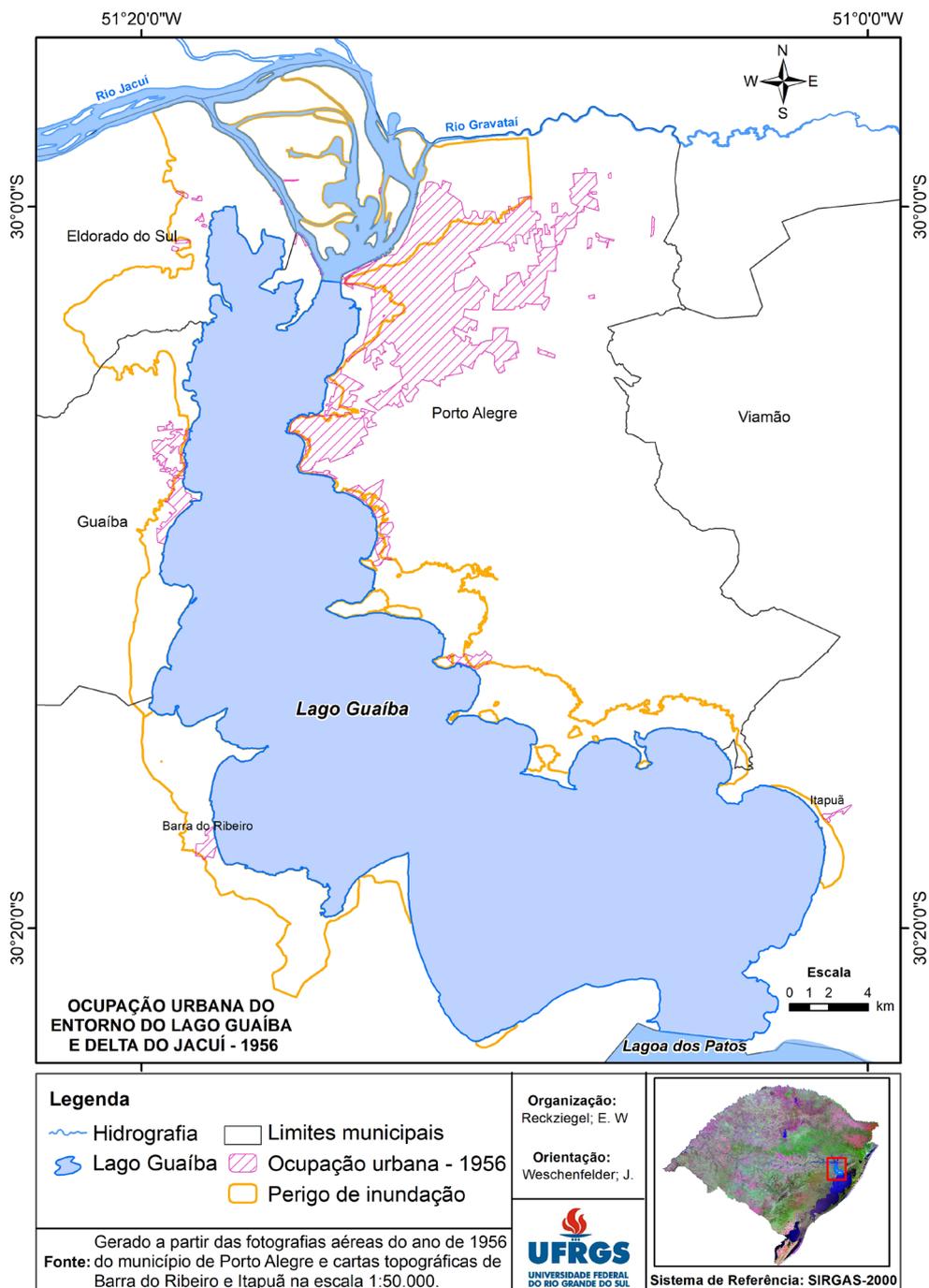


Figura 5. Mapa da ocupação urbana do entorno - 1956.

Figure 5. Urban occupation map in the studied area - 1956.

e empresarias incentivam a ocupação dessa área que é formada, na maior parte, por planícies. DIAS (2014) também menciona que o incremento da ocupação nesta área decorre principalmente do adensamento de áreas já existentes, do deslocamento de populações realocadas das áreas mais centrais para áreas mais afastadas do centro, pelo crescimento dos condomínios horizontais e pelos programas habitacionais do governo federal.

Na região das ilhas do Delta do Jacuí também se observa a expansão da ocupação no mapeamento do ano de 2015. CHIAPPETTI (2005) menciona que as porções do Delta do Jacuí que tiveram maior crescimento populacional no período 1971-1991 foram nas ilhas que possuem acesso por estrada, junto às pontes e na própria rodovia BR116, isto é, na ilha Grande dos Marinheiros, das Flores, do Pavão e da Pintada. Ainda de acordo com o autor, as

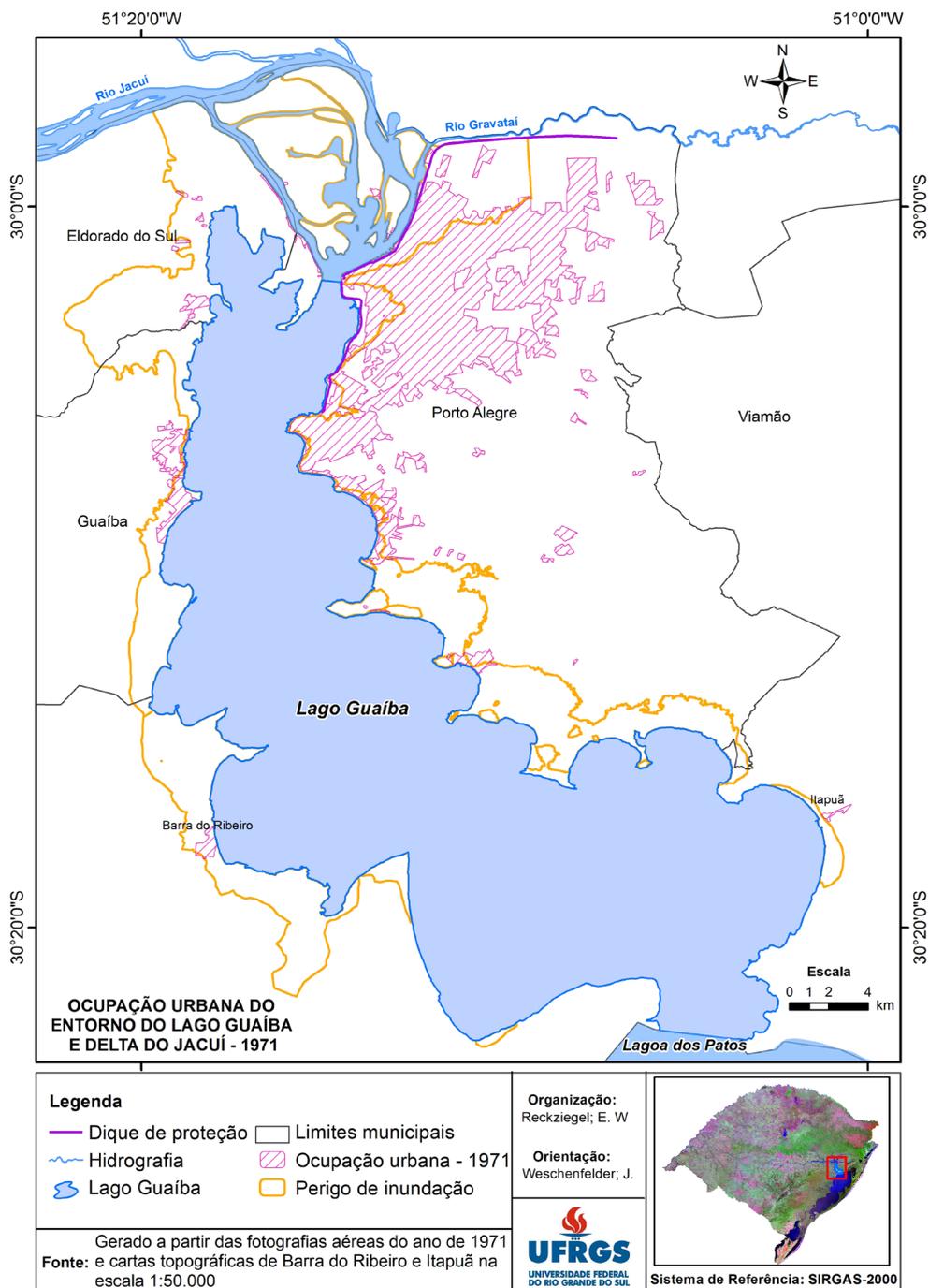


Figura 6. Mapa da ocupação urbana do entorno - 1971.

Figure 6. Urban occupation map in the studied area - 1971.

ilhas que possuem apenas acesso fluvial não tiveram o mesmo crescimento no período indicado, constatando a importância do sistema viário para justificar o crescimento das ocupações.

Nas áreas com perigo de inundação no município de Eldorado do Sul a ocupação apresenta baixa densidade no mapeamento de 1971, observando-se uma ampliação da ocupação no mapeamento de 2015. Neste município, Prefeitura Municipal de Eldorado do Sul (2017) menciona

que a região era composta de propriedades particulares que se dedicavam à pecuária e à cultura do arroz até a década de 1960. Nesse período as áreas passaram a ser fracionadas e vendidas para fins de moradia. Ainda de acordo com o autor, devido à proximidade da Capital e ao fácil acesso através da rodovia BR116 que há pouco tempo havia sido construída, na década de 1970 houve um incremento na procura por terrenos para residência nesta localidade; o crescimento populacional nestas regiões foi

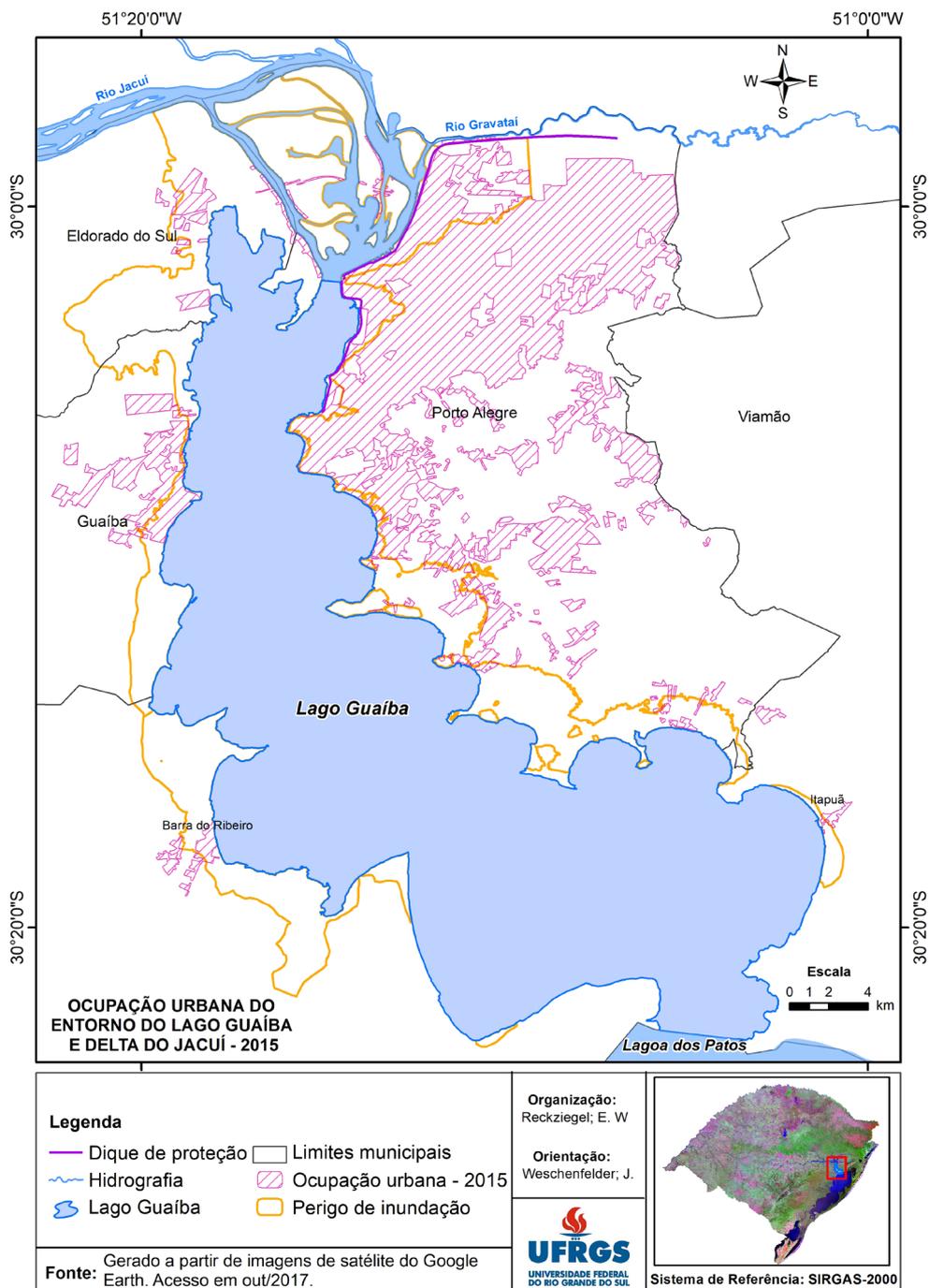


Figura 7. Mapa da ocupação urbana do entorno - 2015.

Figure 7. Urban occupation map in the studied area - 2015.

intenso na década de 1970 e início da década de 1980.

Nos municípios de Guaíba e Barra do Ribeiro também se observa a expansão da ocupação no mapeamento de 2015 em relação ao mapeamento do ano de 1971. Com relação ao município de Guaíba, BECKER (2010) menciona que a partir da industrialização da região teve início um período de migração que na década de 1970 chegou a índices superiores a 5% a.a (ao ano).

A expansão da ocupação em áreas com perigo de inundação ao longo da Rodovia BR 116 e nas principais vias de acesso nas ilhas do Delta do Jacuí podem observadas na Figura 8.

O aumento das ocupações no Bairro Serraria, localizado na zona sul do município de Porto Alegre, pode ser verificado nas fotografias aéreas e imagem de satélite da Figura 9.

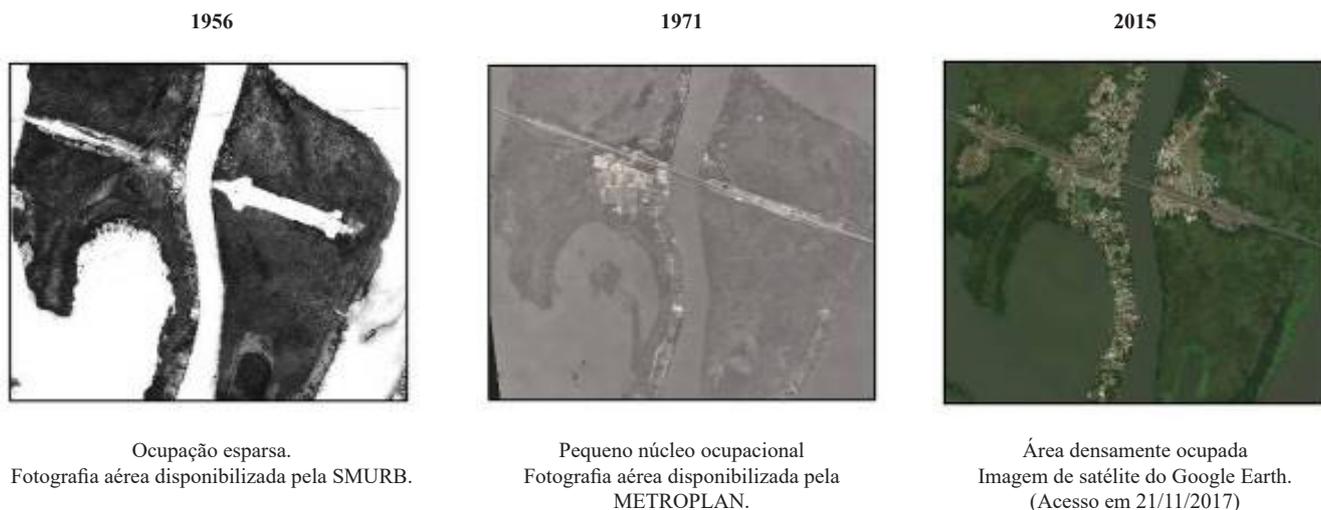


Figura 8. Registos fotográficos aéreos da Ilha Grande dos Marinheiros e do Pavão - Delta do Jacuí.

Figure 8. Aerial photography records of Ilha Grande dos Marinheiros e do Pavão - Delta do Jacuí.

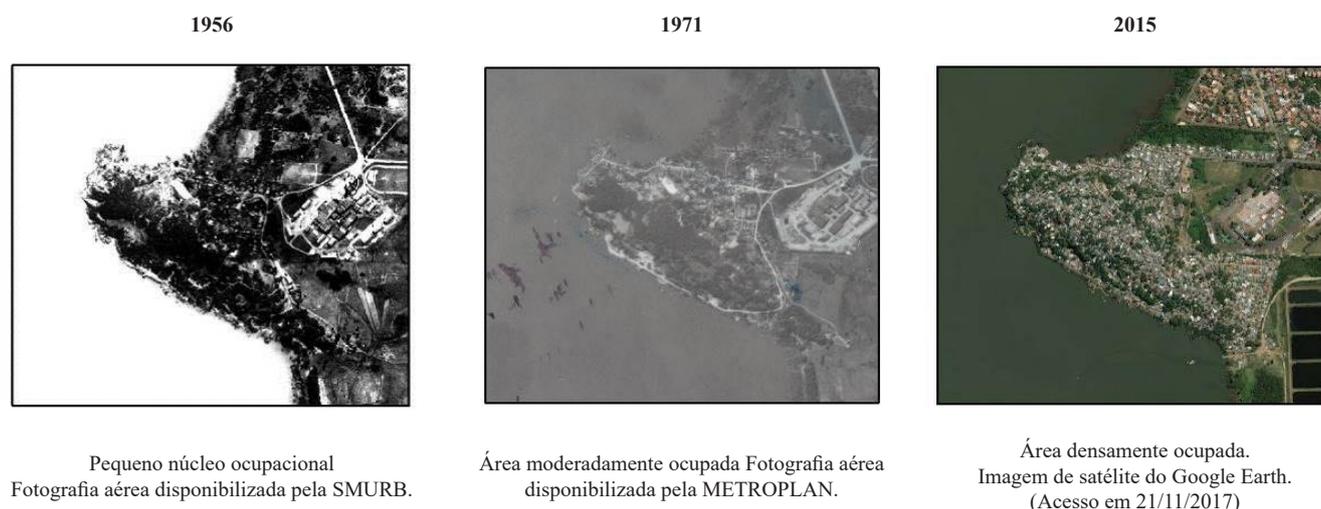


Figura 9. Registos fotográficos aéreos do Bairro Serraria - Porto Alegre.

Figure 9. Aerial photography records of Bairro Serraria - Porto Alegre.

Com base no exposto é possível observar que no período de 1956-2015 ocorreu uma ampliação significativa da ocupação em locais com perigo de inundação. Esta expansão urbana é observada em todos os municípios situados no entorno do Lago Guaíba e Delta do Jacuí.

4.3. Uso e ocupação nas áreas com perigo de inundação

Sobre o uso e ocupação do solo (Figura 10), nas áreas com perigo de inundação predomina vegetação arbórea e arbustiva, principalmente na porção sul das margens leste e oeste e nas ilhas localizadas no Delta do Jacuí. Estas áreas de vegetação arbórea e arbustiva ocorrem em

mais de 65% das áreas com perigo. Na margem oeste destacam-se ainda áreas de cultivo agrícola que ocorrem em 15% das áreas com perigo de inundação. Locais com ocupação urbana representam aproximadamente 18% das áreas com perigo de inundação. Estas, ocorrem junto as ilhas localizadas no Delta do Jacuí, na porção norte, central e sul do município de Porto Alegre, em Itapuã (localizado no município de Viamão), na área urbana de Barra do Ribeiro, Eldorado do Sul e Guaíba.

Nas áreas com ocupação urbana indicadas no mapa de uso e ocupação do solo os impactos esperados em decorrência das inundações são mais significativos. Dessa forma, nestes locais foi realizada a caracterização da vulnerabilidade das moradias e da população.

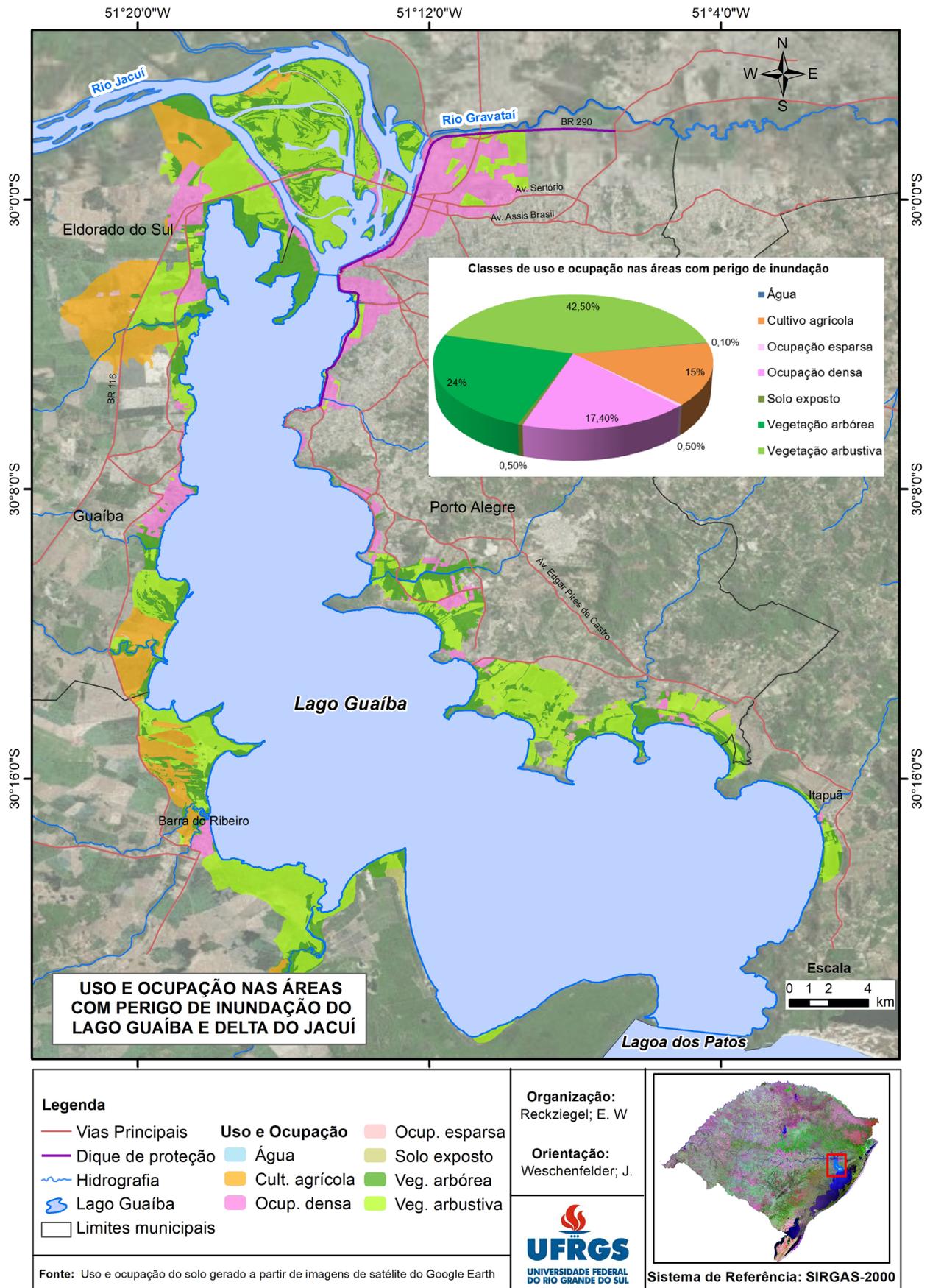


Figura 10. Mapa de uso e ocupação nas áreas com perigo de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí.

Figure 10. Map of use and occupation in flood hazard areas of Guaíba Lake and Jacuí Delta.

4.4. Áreas vulneráveis à inundação

A vulnerabilidade foi gerada a partir de variáveis que caracterizam a exposição das moradias e estruturas do entorno e também com base em indicadores socioeconômicos da população exposta.

Em relação à exposição das moradias, as mais vulneráveis são aquelas que apresentam baixo padrão construtivo e estado precário de conservação. As moradias melhor conservadas, com bom padrão construtivo são as menos vulneráveis. Em relação ao acesso a serviços essenciais, os domicílios que possuem abastecimento de água pela rede geral, coleta de lixo, energia elétrica e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial foram considerados os menos vulneráveis.

Sobre a coleta de lixo e abastecimento de água nas áreas com perigo de inundação com ocupação urbana, predominam os setores censitários em que mais de 90% dos domicílios tem acesso a estes serviços (Figura 11).

Com relação a presença de esgoto sanitário via rede geral, muitos domicílios dos setores censitários situados nas áreas de perigo de inundação não possuem acesso. Destaca-se a região das ilhas, porções dos bairros Cristal, Humaitá, Lami, e Serraria em Porto Alegre, porções dos bairros Chácara, Cidade Verde, Picada, Sans Souci, Vila da Paz em Eldorado do Sul, porções dos bairros

Loteamento Engenho, Flórida e Vila Elsa em Guaíba, porções da área urbana de Barra do Ribeiro e a região de Itapuã. Sobre a energia elétrica, mais de 90% dos domicílios tem acesso a este serviço (Figura 12).

Com relação às variáveis socioeconômicas, estas foram avaliadas com base no rendimento médio mensal dos domicílios, número de moradores por domicílio e percentual de idosos e crianças.

O baixo rendimento médio mensal indica maior dificuldade das pessoas se reestabelecerem após a ocorrência das inundações e baixa capacidade de prevenção e mitigação destes eventos. Já as pessoas com alto rendimento possuem melhores condições de recuperação dos danos após as inundações. CERQUEIRA (2010) menciona que, embora o valor monetário das perdas econômicas e materiais dos ricos possa ser elevado, as perdas sofridas pelos pobres são relativamente mais devastadoras.

Sobre o rendimento médio mensal há predominância de rendimento de 1 a 3 salários mínimos nas áreas com perigo de inundação. Já em porções da Ilha das Flores e Ilha do Pavão, em porções dos bairros Serraria, Belém Novo e Lami em Porto Alegre, Cidade Verde, Medianeira, Sol Nascente, Sans Souci, Vila da Paz em Eldorado do Sul e na Vila Ipê em Guaíba a renda indicada é de até 1 salário mínimo. Na ilha Grande dos Marinheiros há setores onde a renda é inferior a meio salário mínimo.

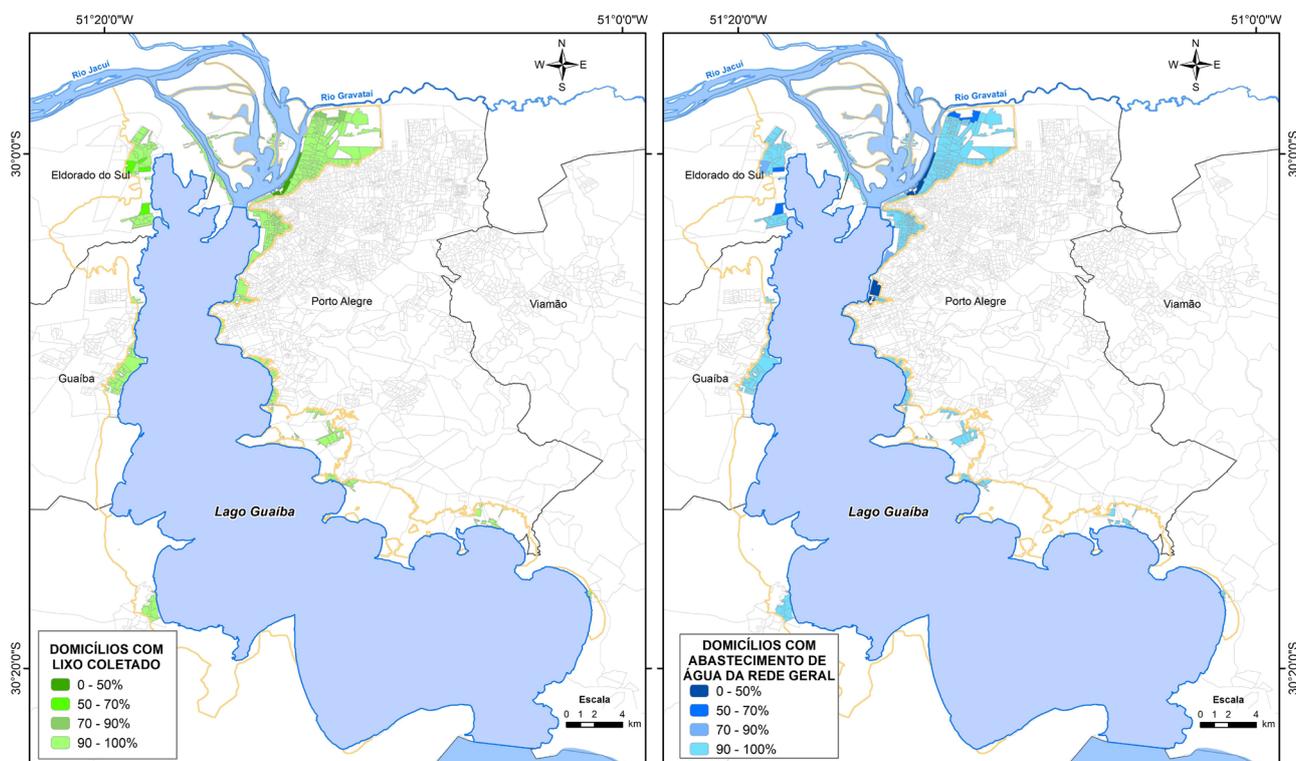


Figura 11. Mapas com as variáveis selecionadas para a caracterização do acesso a serviços essenciais nas áreas com perigo de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí (Lixo coletado e abastecimento de água da rede geral). Fonte: IBGE (2010a).

Figure 11. Maps with the variables selected to characterize access to essential services in flood hazard areas of Guaíba Lake and Jacuí Delta (Garbage collection and water supply system).

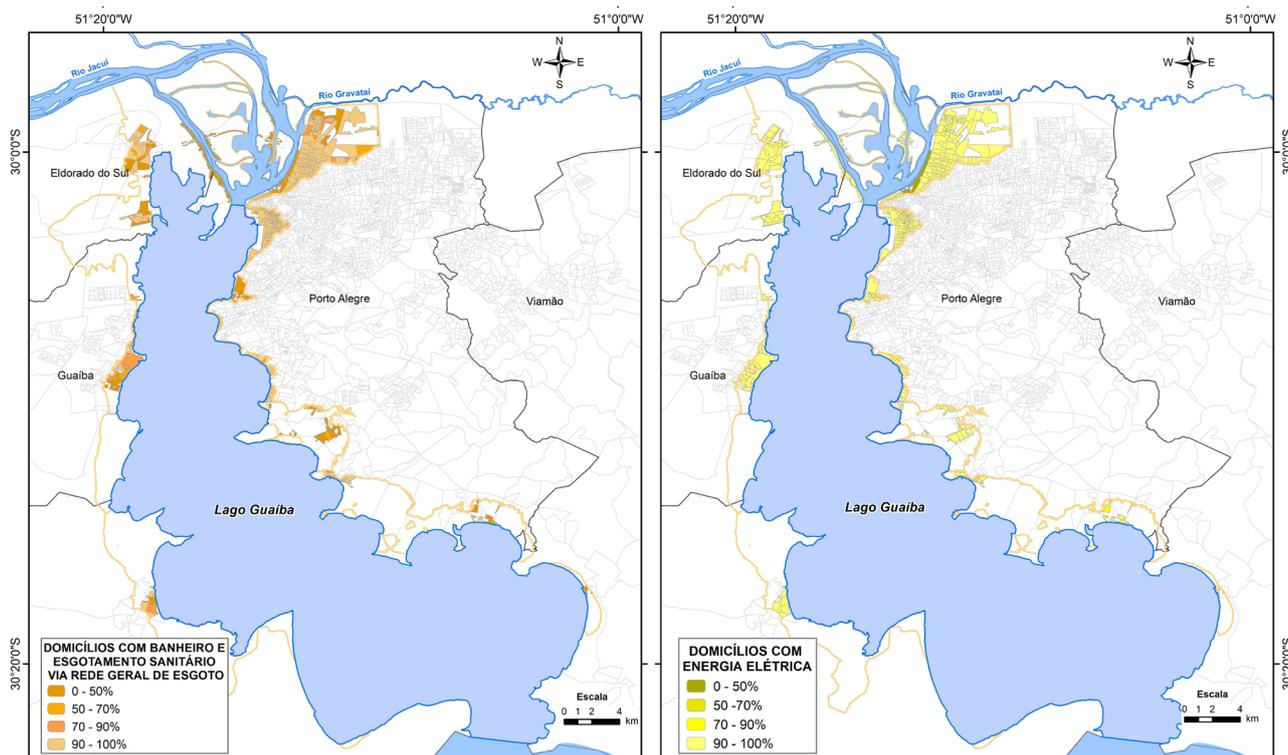


Figura 12. Mapas com as variáveis selecionadas para a caracterização do acesso a serviços essenciais nas áreas com perigo de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí (Esgoto e energia elétrica). Fonte: IBGE (2010a).

Figure 12. Maps with the variables selected to characterize access to essential services in flood hazard areas of Guaíba Lake and Jacuí Delta (Sewer system and electricity access).

Em porções dos bairros Centro, Ipanema, Guarujá, Praia de Belas, Tristeza, Vila Assunção e Vila Conceição em Porto Alegre e na porção central de Guaíba a renda é superior a 3 salários mínimos, chegando até 8 salários em porções dos bairros Menino Deus e Praia de Belas em Porto Alegre.

Referente ao número de moradores por domicílio, famílias com maior número de pessoas tem maior dificuldade de recuperação após a ocorrência de inundações em relação às famílias constituídas por menor número de pessoas. Neste sentido, CERQUEIRA, (2010) menciona que as características sociodemográficas tais como a maior densidade de moradores nos domicílios e com menores rendimentos podem sinalizar para uma condição de poucos recursos físicos para enfrentar os perigos ambientais.

Na maior parte dos domicílios situados nas áreas com perigo de inundação residem de 1 a 3 moradores. Porém, na Ilha das Flores e Ilha do Pavão em Porto Alegre ocorrem setores censitários com mais de 4 moradores nos domicílios. A distribuição espacial do rendimento médio e do número de moradores por domicílio podem ser observados nos mapas da Figura 13.

Em relação a idade, os domicílios com maior

percentual de idosos e crianças foram considerados os mais vulneráveis. SAITO (2011) em estudo sobre vulnerabilidade socioambiental a escorregamentos destaca que os jovens, do ponto de vista de saúde, são os que possuem as melhores condições físicas. Dessa forma, a vulnerabilidade da população jovem pode ser considerada menor em relação a população de idosos e crianças.

Nas áreas com perigo de inundação predominam os setores onde menos de 25% das pessoas tem idade inferior 12 anos (Figura 14). No entanto, no bairro Serraria em Porto Alegre, em locais da Ilha do Pavão, Ilha Grande dos Marinheiros e Ilha da Pintada e porções dos bairros Medianeira, Sol Nascente e Progresso em Eldorado do Sul há setores em que mais de 25% das pessoas tem idade inferior a 12 anos.

Ainda com relação à idade, nas áreas com perigo de inundação predominam os setores em que menos de 15% das pessoas tem idade superior a 60 anos. Porém, em porções do bairro Centro em Guaíba e dos bairros Ipanema, Menino Deus, Praia de Belas, Tristeza e Vila Assunção em Porto Alegre há setores em que mais de 25% das pessoas tem idade superior a 60 anos.

As informações relativas aos aglomerados subnormais

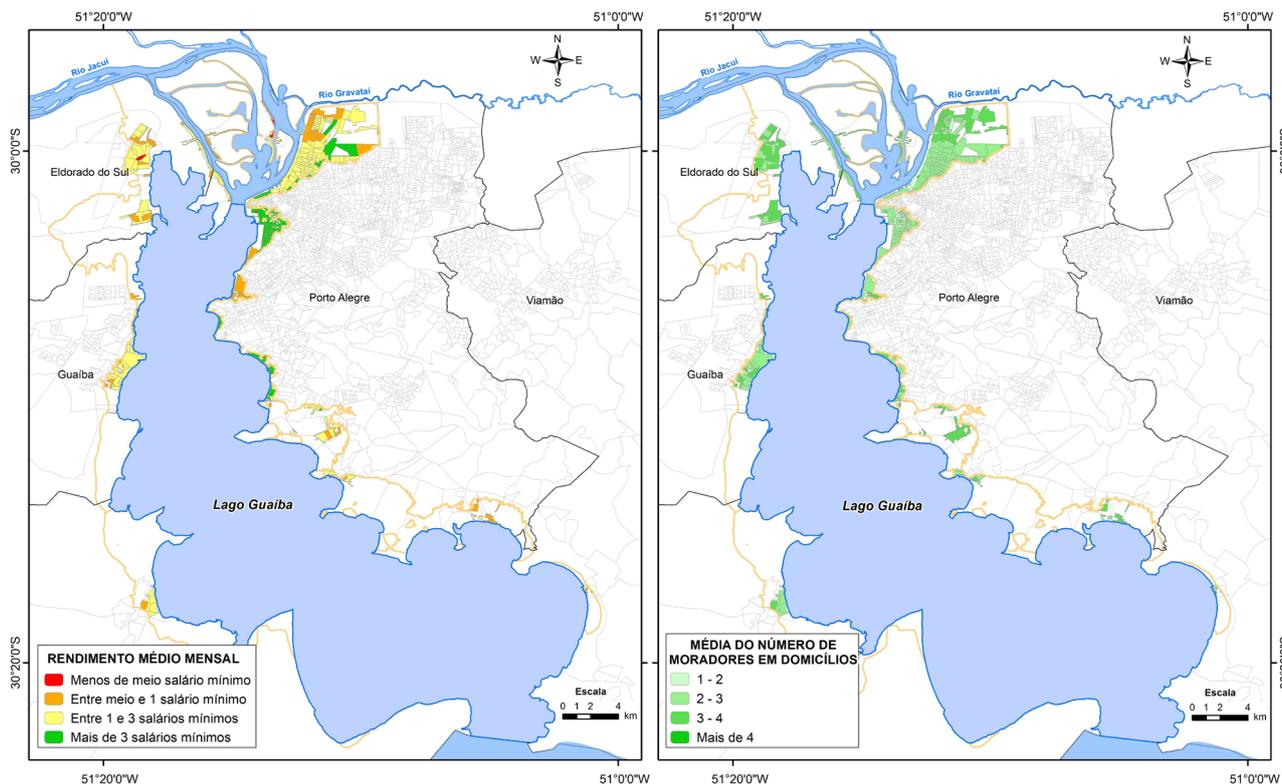


Figura 13. Mapas com variáveis selecionadas para a caracterização da vulnerabilidade nas áreas com perigo de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí (Rendimento médio e número de moradores). Fonte: Elaborado a partir do Censo (IBGE, 2010a). Fonte: IBGE (2010a).

Figure 13. Maps with selected variables to characterize the vulnerability in flood hazard areas of Guaíba Lake and Jacuí Delta (Income average and number of residents).

indicam alta exposição ao risco e baixa capacidade de recuperação diante da ocorrência das inundações. Nas áreas com perigo de inundação ocorrem 21 aglomerados subnormais (Figura 15), sendo 18 na cidade de Porto Alegre nos bairros Arquipélago (Ilha do Pavão, Ilha dos Marinheiros), Cristal, Farrapos, Guarujá (Santina), Humaitá, Serraria (dos Sargentos) e Belém Novo (Julia). Há ainda, 2 aglomerados subnormais na cidade de Eldorado do Sul (Beco do Beto e Campo da Medianeira) e 1 na cidade de Guaíba (Ipê).

A partir da integração e cruzamento de aspectos de exposição das moradias e de variáveis socioeconômicas da população e geração da vulnerabilidade verificou-se que as áreas vulneráveis totalizam aproximadamente 40 km²; destes, 7 km² (17,5%) apresentam alta vulnerabilidade.

Nas áreas com alta vulnerabilidade as moradias apresentam baixo padrão construtivo e precário estado de conservação. Além disso, o acesso a serviços básicos, em geral, não abrange a totalidade da população. Nestes locais, predominam domicílios com renda inferior a um salário mínimo. Também há locais com elevado número de crianças ou idosos.

Nas áreas com baixa vulnerabilidade as moradias apresentam alto padrão construtivo e bom estado de conservação. Além disso, os domicílios possuem acesso a serviços essenciais, como água, energia elétrica, coleta de lixo e esgoto pela rede geral. Nestes locais, a renda dos domicílios é superior a 1 salário mínimo (Figura 16). A partir da caracterização e setorização das áreas vulneráveis foi possível identificar os locais com as melhores condições de resposta e mitigação diante das inundações associadas ao Lago Guaíba e Delta do Jacuí.

5. DISCUSSÃO – AVALIAÇÃO E SETORIZAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO

A partir da integração e cruzamento das informações sobre o perigo e a vulnerabilidade foram setorizadas as áreas com risco de inundação. Nas áreas com alto risco são esperados os maiores danos e perdas decorrentes destes eventos. Já as áreas com muito baixo risco são aquelas que apresentam as melhores condições e onde não são esperados impactos significativos decorrentes das inundações (Figura 17).

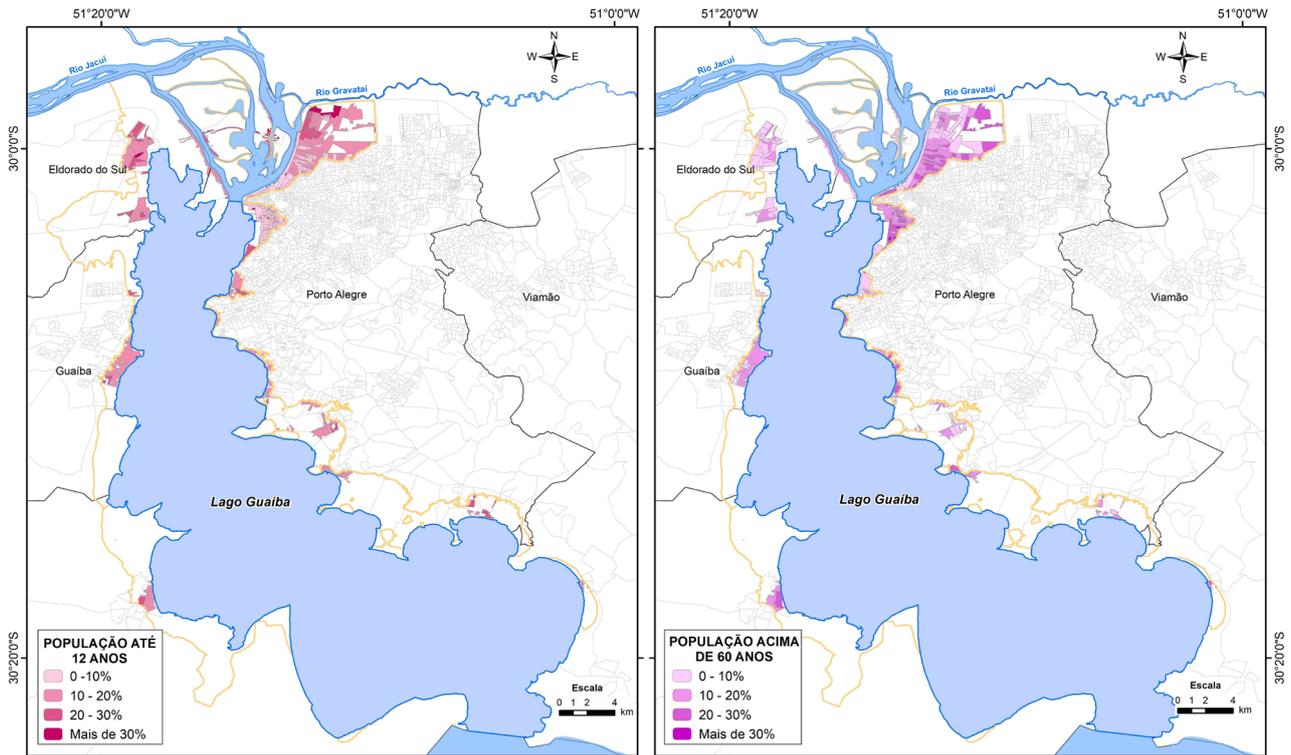


Figura 14. Mapas com variáveis selecionadas para a caracterização da vulnerabilidade nas áreas com perigo de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí (Idade até 12 anos e acima de 60 anos). Fonte: IBGE (2010a).

Figure 14. Maps with selected variables to characterize the vulnerability in flood hazard areas of Guaíba Lake and Jacuí Delta (People with age up to 12 years and above 60 years).

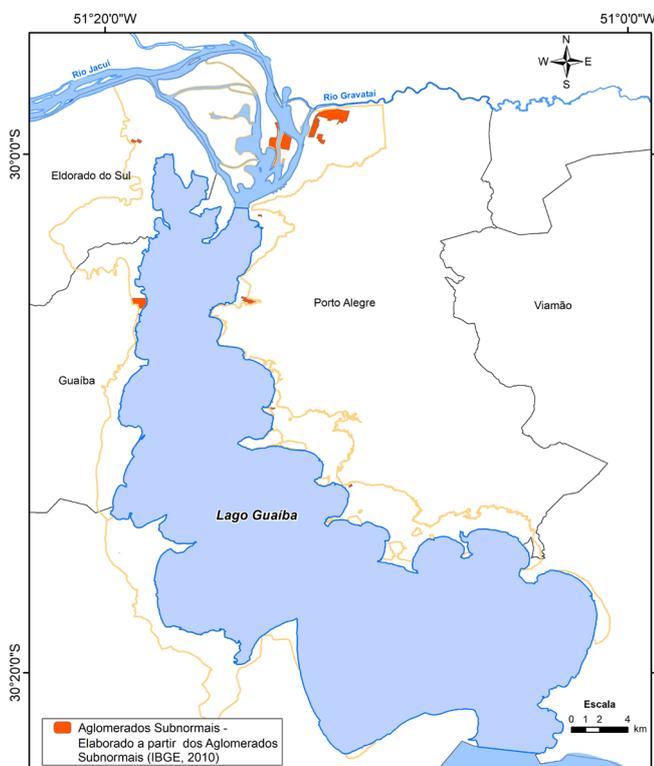


Figura 15. Mapa com os aglomerados subnormais nas áreas com perigo de inundação.

Figure 15. Map with slum cluster in flood hazard areas.

As áreas com risco alto estão localizadas junto as ilhas no Delta do Jacuí, na porção central e sul do município de Porto Alegre, incluindo porções dos bairros Farrapos, Humaitá, Lami e Serraria. Em Eldorado do Sul as áreas com risco alto incluem os bairros Cidade Verde, Medianeira, Picada, Sans Souci, Sol Nascente e Vila da Paz. No município de Guaíba porções do bairro Passo Fundo e da Vila Ipê. Nas imagens da Figura 18 estão detalhadas as áreas com risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí em escala original aproximada de 1:40.000.

As áreas com risco de inundação totalizam em torno de 40 km², dos quais 7 km² (17,5%) apresentam alto risco. Com relação à extensão (km²), as áreas com risco abrangem maior percentual de área no município de Porto Alegre (72% do total), seguido do município de Eldorado do Sul (16%). Em Barra do Ribeiro, Guaíba e Viamão as áreas com risco representam 3%, 8,5% e 0,5% da extensão, respectivamente (Figura 19). Em relação ao grau de risco, as áreas com muito baixo risco são predominantes (19,5 km²), seguido pelas de médio (8 km²), alto (7 km²) e baixo risco (5,5 km²).

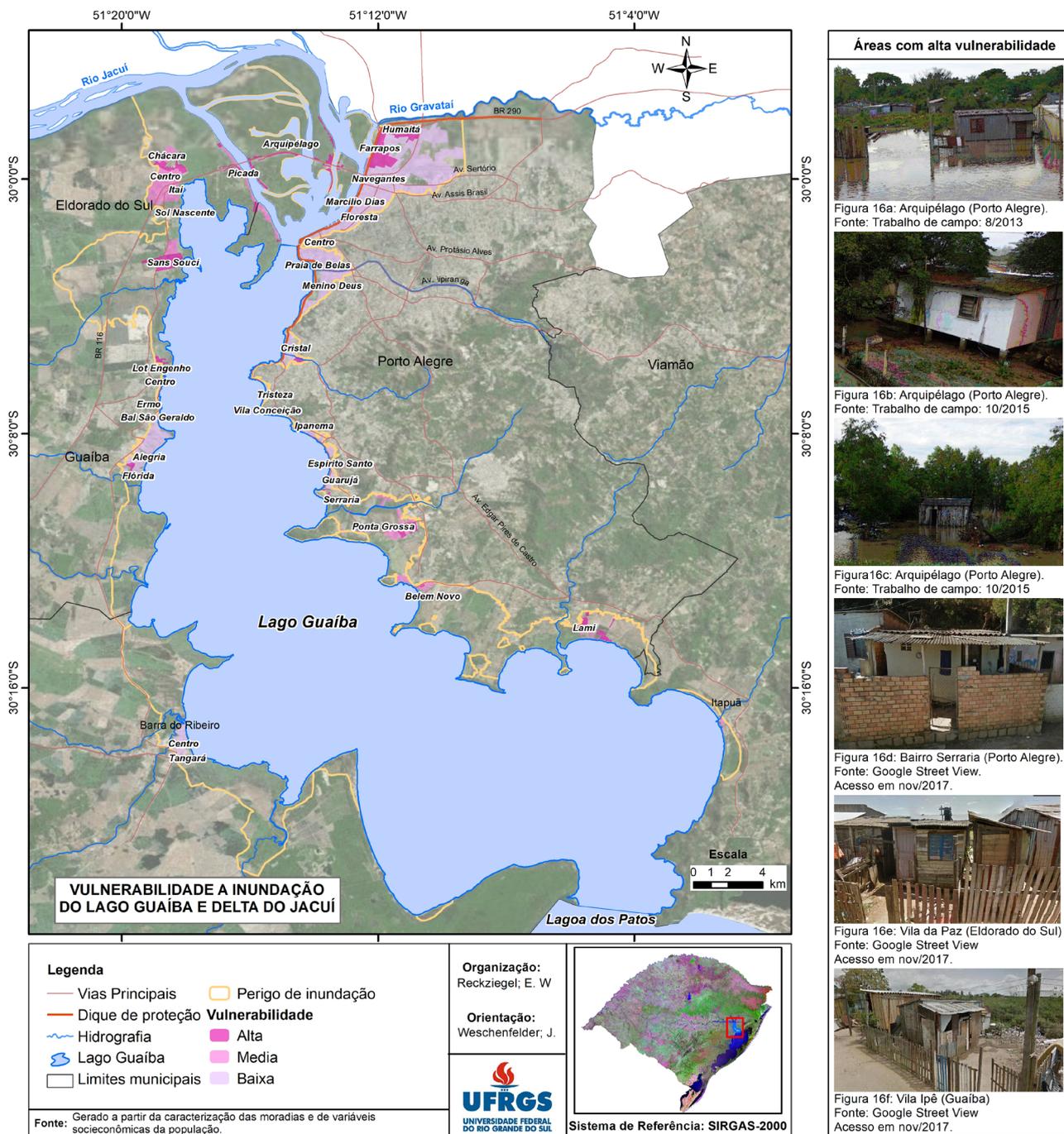


Figura 16. Mapa de vulnerabilidade a inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí.

Figure 16. Flood vulnerability map of Guaíba Lake and Jacuí Delta.

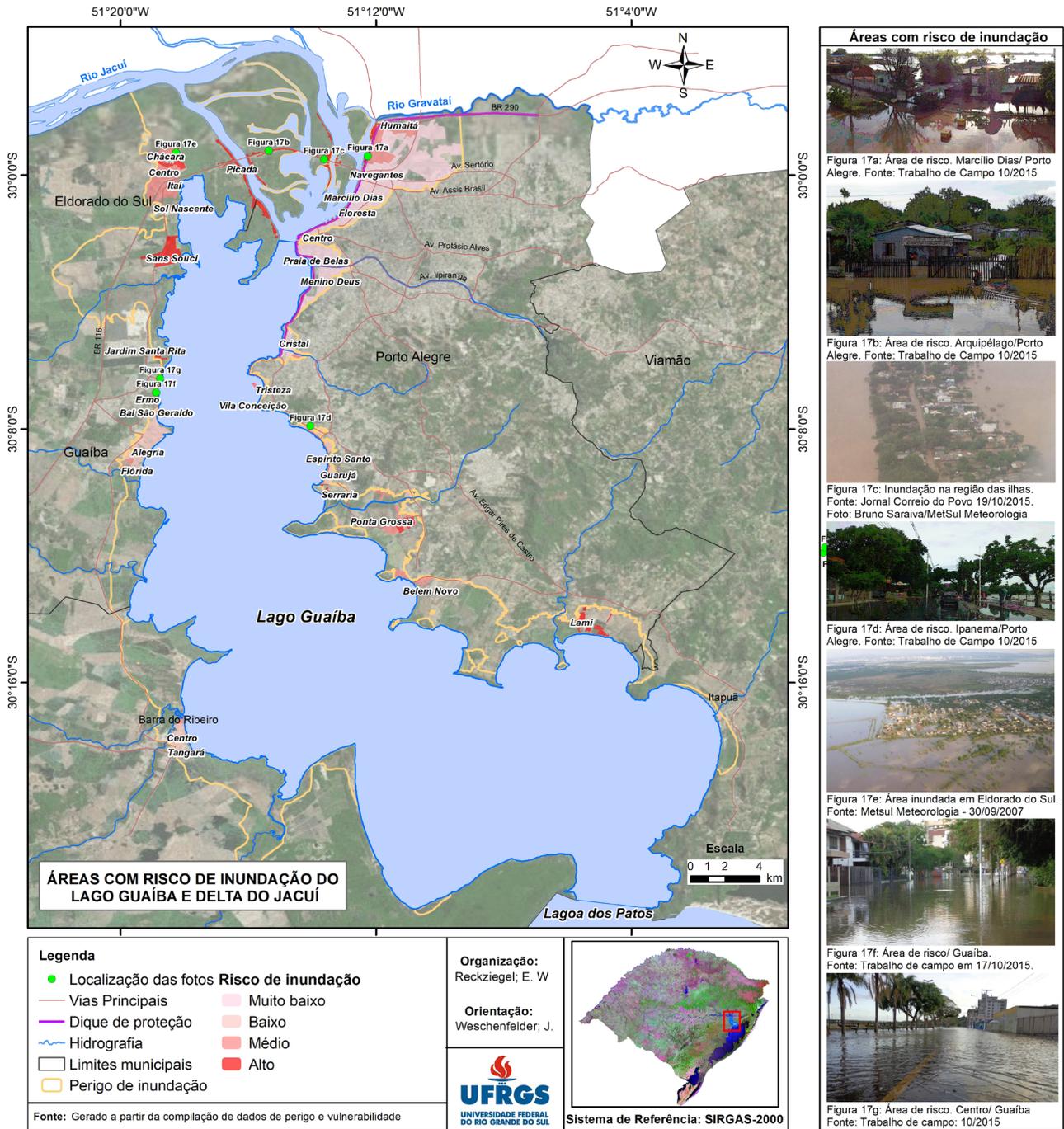


Figura 17. Mapa de risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí.

Figure 17. Flood risk map of Guaíba Lake and Jacuí Delta.

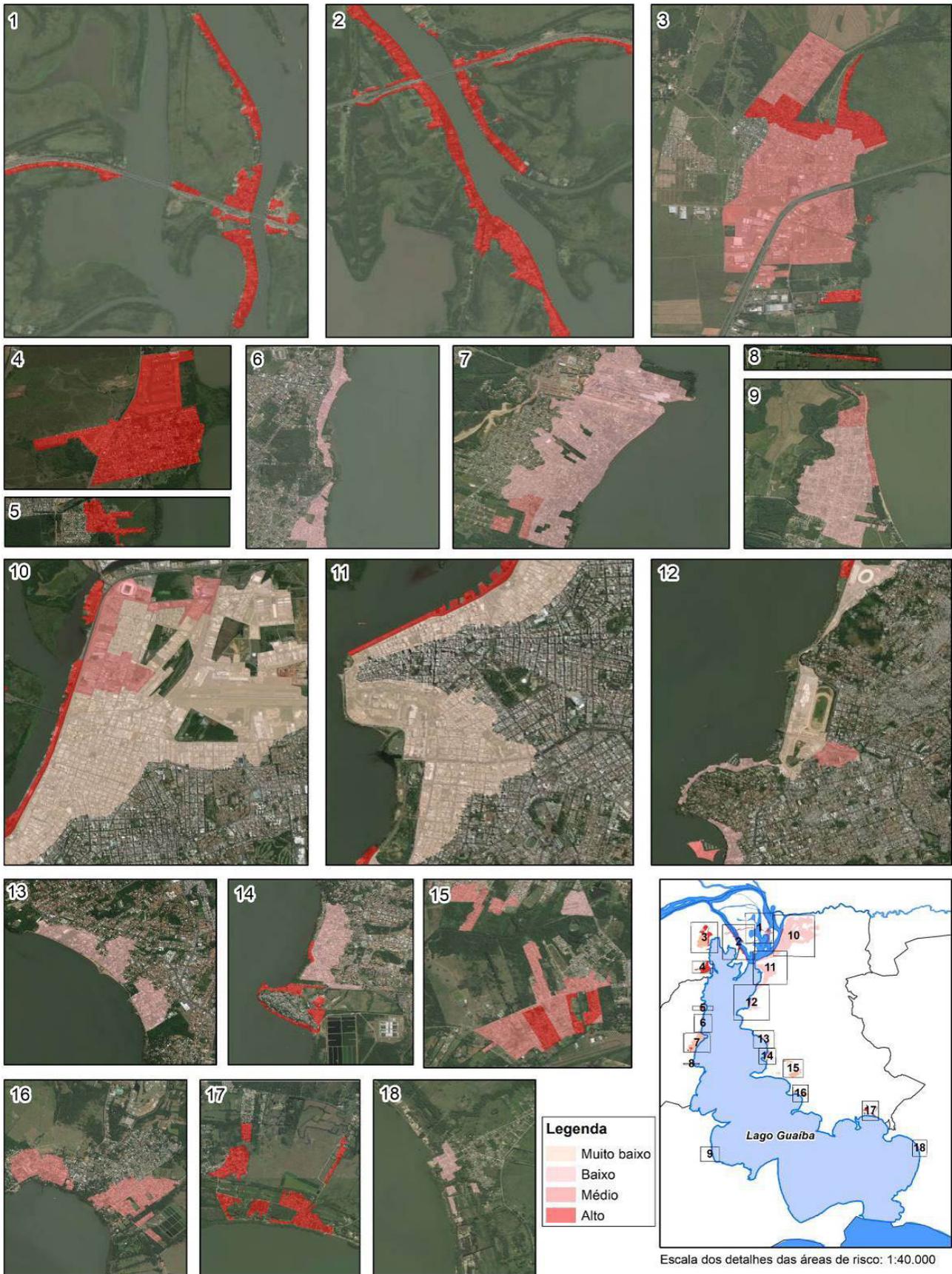


Figura 18. Detalhe dos setores com risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí.
 Fonte: Imagens de satélite disponíveis no Google Earth (Acesso em 02/12/2017).

Figure 18. Sectors with flood risk of Guaíba Lake and Jacuí Delta.
 Source: Satellite images available on Google Earth (Accessed on 02/12/2017).

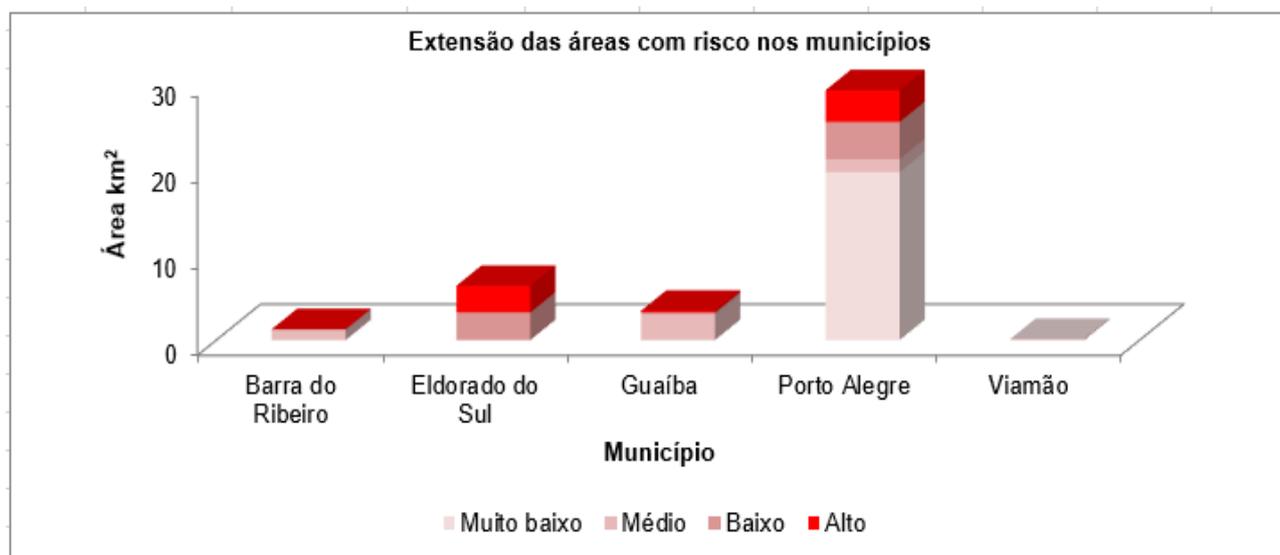


Figura 19. Extensão das áreas com risco de inundação nos municípios.

Figure 19. Extension of the areas with flooding risk in the municipalities.

6. CONCLUSÕES

O risco de inundação para a área de estudo foi definido a partir da integração do potencial de ocorrência das inundações e da vulnerabilidade da população e das ocupações. O perigo foi definido com base no tempo de retorno dos eventos e com base na presença de sistema de proteção. Já a vulnerabilidade foi definida com base em indicadores que caracterizam a exposição das moradias e estruturas do entorno e com base em variáveis socioeconômicas da população exposta.

Na área de estudo as áreas com perigo alto são aquelas que não apresentam proteção contra inundação e onde o tempo de retorno dos eventos é inferior a 10 anos sendo recorrentes inundações de baixa intensidade, que atingem em geral locais isolados e os danos associados são menores. Já as áreas de perigo médio não apresentam sistema de proteção e são atingidas por eventos de alta intensidade, onde os danos causados são maiores. As áreas com baixo perigo são aquelas protegidas pelo sistema de proteção de inundação, no entanto, eventual falha neste sistema em decorrência de uma inundação de grande magnitude, poderia provocar danos e prejuízos socioeconômicos.

Nas áreas com alta vulnerabilidade as moradias apresentam baixo padrão construtivo, precário estado de conservação e o acesso a serviços básicos, como água, energia elétrica, coleta de lixo e esgoto pela rede geral são limitados. Além disso, em geral, a renda dos domicílios é inferior a um salário mínimo e há elevado número de crianças ou idosos. Já nas áreas com baixa vulnerabilidade as moradias apresentam bom padrão

construtivo e a população apresenta melhores condições de mitigação e resposta diante das inundações.

As áreas com alto risco estão localizadas nas ilhas do Delta do Jacuí, em porções dos bairros Farrapos, Humaitá, Lami e Serraria em Porto Alegre, dos bairros Cidade Verde, Medianeira, Picada, Sans Souci, Sol Nascente e Vila da Paz em Eldorado do Sul e porções do bairro Passo Fundo e da Vila Ipê em Guaíba.

O mapeamento do risco constitui uma ferramenta para o planejamento dos municípios, fundamental na escolha de áreas adequadas para a expansão da ocupação e para restringir a ocupação de áreas com alto perigo e conversão destas em áreas com alto risco. Também é importante que seja avaliada a necessidade de implantação de sistemas de proteção em áreas com alto risco de inundação, bem como, a manutenção dos sistemas de proteção existentes para efetiva proteção contra as inundações.

A delimitação e setorização das áreas com risco realizado nesta pesquisa configura-se em uma importante medida não estrutural para a gestão das inundações, permitindo a avaliação das inundações sob o potencial de ocorrência dos eventos e também dos impactos que estes podem causar. Além disso, pode contribuir para direcionar as ações de prevenção e de resposta durante a ocorrência dos eventos e indicar locais prioritários (áreas com alto risco de inundação) para medidas de proteção e evacuação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Almeida, L. Q. de. (2010) *Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho*. 2010. 278 f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.
- ANA - Agência Nacional de Águas. Agência Nacional de Águas - ANA. HIDROWEB. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em 14 mar. 2014.
- Anuário brasileiro de desastres naturais: 2013 / Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. – Brasília: CENAD, 2014.
- Assis, K. B. de. *O rio que não é rio*. Oficinas gráficas da Livraria do Globo. Porto Alegre. 1960. 129 p.
- Bazzan, T. *Mapeamento das áreas com risco de inundação do Rio dos Sinos no município de São Leopoldo, RS*. 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- Becker, L. (Coord). *Plano Municipal de Gerenciamento Ambiental*. Prefeitura Municipal de Guaíba. Guaíba. p. 140. 2010.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais*. São José dos Campos, 2008. <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 15. fev. 2014.
- Cerqueira, D. C. *Vulnerabilidade das famílias residentes em áreas de risco de deslizamentos em Cubatão (SP)*. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Demografia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- Chiappetti, A. B. *Ocupação do Parque Estadual Delta do Jacuí: conflitos de uso territorial*. 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- Christofolletti, A. *Geomorfologia fluvial*. v. 1. São Paulo. 1981.
- COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres Brasil. Ministério da Integração Nacional. Instrução Normativa Nº1 de 24 de agosto de 2012.
- CRED. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. *Disasters 2018: Year in Review*. Issue No. 54. April 2019. p.2. 2019.
- Cutter, S. L. *A ciência da vulnerabilidade: Modelos, métodos e indicadores*. Revista Crítica de Ciências Sociais, 93. Coimbra, p. 59-69, 2011.
- DEP - Departamento de Esgotos Pluviais. *Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU)*. Sistema de Proteção Contra Enchentes. Volume VI. p. 83. 2002.
- DEP - Departamento de Esgotos Pluviais. *Características topográficas e cheias na cidade*. Disponível em <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/>. Acesso em 7 jan. 2017.
- DSG - Diretoria de Serviço Geográfico. Ministério do Exército. *Barra do Ribeiro*. Folha SH.22-Y-B-III-3. MI 2987/3. Escala 1:50.000. 1979.
- DSG - Diretoria de Serviço Geográfico. Ministério do Exército. *Itapuã*. Folha SH.22-Y-B-III-34. MI 2987/4. Escala 1:50.000. 1979.
- DSG - Diretoria de Serviço Geográfico. Ministério do Exército. *Guaíba*. Folha SH.22-Y-B-III-1. MI 2987/1. Escala 1:50.000. 1980.
- Dias, T. S. *Análise das intervenções na morfologia original e na dinâmica geomorfológica em áreas alagáveis no município de Porto Alegre - RS*. 2014. 191 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia, Porto Alegre, 2014.
- Guimaraens, R. A enchente de 41. 3ª ed. Porto Alegre: Libretos. 2009. 100p.
- Hasenack, H.; Weber, E.J.; Lucatelli, L.M.L. 2010. *Base altimétrica vetorial contínua do município de Porto Alegre-RS na escala 1:1.000 para uso em sistemas de informação geográfica*. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-03-6. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>. Acesso em 12 jun. 2013.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estatísticas do Séc. XX*. Disponível em: <http://seculoxx.ibge.gov.br/populacionais-sociais-politicas-e-culturais/busca-por-temas/populacao>. 2007. Acesso em 22 jul. 2017.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico*. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. 2010a. Acesso em 3 out. 2016.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico*. 2010. *Agglomerados Subnormais*. Informações Territoriais. 2010b. Acesso em 10 mar. 2017.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa /coordenação Omar Yazbek Bitar*. - São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.
- ISDR - International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). *Living with Risk*. A global review of disaster reduction initiatives. United Nations. Volume I. p. 431, 2004.
- Masgrau, L. R. *Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas*. Doc. Anál. Geogr. 43, 2004. p. 153-171, 2004.
- METROPLAN - Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional. *Fotografias aéreas*. Escala 1:40.000. 1971.
- METROPLAN - Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional. *Mapa básico da Região Metropolitana de Porto Alegre na escala 1:10.000*. 1972.
- Oliveira, G. G. de. *Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do Rio Cai, RS*. 2010. 197 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- Prefeitura Municipal de Eldorado do Sul. *História*. Disponível em: http://eldorado.rs.gov.br/pagina/78_Historia.html. Acesso em 10 ago. 2017.
- Rauber, V. *Prevenir é o melhor remédio*. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. 1992. 47p.
- Righi, E. *Metodologia para zoneamento de risco a inundações graduais*. 2016. 196 f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa

Avaliação do risco de inundação do Lago Guaíba e Delta do Jacuí, Rio Grande do Sul/Brasil

- de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- Saito, S. M. *Dimensão socioambiental na gestão de risco dos assentamentos precários do maciço do Morro da Cruz, Florianópolis - SC*. 2011. 252 f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- SMURB - Secretaria Municipal de Urbanismo de Porto Alegre. Fotografias aéreas. Escala 1:10.000. 1956.
- SPH - Superintendência de Portos e Hidrovias. Ficha do histórico da estação Praça da Harmonia.
- UNISDR. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. *Terminology on Disaster Risk Reduction*. 2009.

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

Vulnerabilidade diante da ação energética do mar: Estudo de caso no Município de Salinópolis, Zona Costeira Amazônica, Brasil

Vulnerability to the energy action of the sea: Case study in the Municipality of Salinópolis, Amazon Coastal Zone, Brazil

Ronaldo da Cruz Braga^{@ 1}, Márcia Aparecida da Silva Pimentel², Carlos Coelho³,
Claudio Fabian Szlafsztein⁴, Marcelo Rollnic⁵

@ Corresponding author: rcbragageo@yahoo.com.br

¹ Doutor em Ciências Ambientais PPGCA da Universidade Federal do Pará (UFPA). Professor Efetivo de Geografia do Instituto Federal do Pará (IFPA) e Coordenador do Curso de Licenciatura em Geografia do IFPA. Email: rcbragageo@yahoo.com.br

² Doutora em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (USP). Professora Efetiva de Geografia da Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Pará (UFPA). Email: mapimentel@ufpa.br

³ Doutorado em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil. Email: ccoelho@ua.pt

⁴ Doutor em Ciências Naturais (Geografia) pela Kiel University, Alemanha. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Universidade Federal do Pará. Email: cszslafsztein@hotmail.com

⁵ Doutor em Oceanografia. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia – PPGOC. Universidade Federal do Pará. Email: rollnic@ufpa.br

RESUMO: Amazônia possui uma extensa Zona Costeira, com aproximadamente 3.044 km, ocupando 35% do litoral Brasileiro, com grande parte da Orla em diferentes níveis de vulnerabilidade física. Este artigo analisou a vulnerabilidade à ação energética do mar no Município de Salinópolis na Zona Costeira Amazônica a partir dos agentes físicos: geológicos/geomorfológicos e oceanográficos. Na metodologia utilizada foram selecionadas seis variáveis físicas: Geologia, Geomorfologia, Declividade da Costa, Cota Topográfica, Altura da Onda e Amplitude de Maré. Subdividiu-se a Orla costeira da área em sete setores, determinados a partir dos parâmetros do Projeto Orla. Os índices de vulnerabilidade de cada variável foram determinados com base em valores pré-estabelecidos na literatura nacional e internacional e modificados a partir das características regionais e locais da área de estudo. Foram elaborados mapas no Software ArcGis 10.3 com imagens SPOT, de resolução de 2,5 metros e SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para análise da declividade e cota topográfica. Para cada setor foi calculado um valor do índice de vulnerabilidade, de acordo com as variáveis. Foi realizada uma média aritmética para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG. Dos sete setores, cinco apresentaram vulnerabilidade à ação energética do mar Muito Alta e dois Moderada. A elevada vulnerabilidade costeira evidencia a necessidade de iniciativas de planejamento para áreas ocupadas em processo erosivo e considera-se que a metodologia pode ser replicada para outros locais da costa amazônica.

Palavras-chave: Amazônia. Vulnerabilidade. IVC. Impactos.



ABSTRACT: Amazonia has an extensive Coastal Zone, with approximately 3,044 km, occupying 35% of the Brazilian coast, where innumerable ecosystems are located in different levels of physical vulnerability. This article analyzes the vulnerability to the energy action of the sea in the Municipality of Salinópolis in the Amazon Coastal Zone from the physical agents: geological/geomorphological and oceanographic. Six physical variables were selected: Geology, Geomorphology, Coast Declivity, Topographic Dimension, Wave Height and Tidal Amplitude. The coastal border of the area was subdivided into seven sectors, determined from the parameters of the Orla Project. The vulnerability indexes of each variable were determined from pre-established values in the national and international literature and modified from the regional and local characteristics of the study area. Maps were elaborated on the ArcGis 10.3 Software from SPOT images, 2.5-meter resolution and SRTM images (Shuttle Radar Topography Mission) for analysis of slope and topography. For each sector a value of the vulnerability index was calculated according to the variables and, finally, an arithmetic mean was determined for the determination of the General Coastal Vulnerability Index-IVCG. Of the seven sectors, five presented vulnerability to the energy action of the Sea Very High and two Moderate. The high coastal vulnerability evidences the need for planning initiatives for areas undergoing erosion, and it is considered that the methodology can be replicated to other sites on the Amazon coast.

Keywords: Amazon. Vulnerability. IVC. Impacts

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia sempre desempenhou papel de importância global no que tange às questões ecológicas, ambientais e sociais. Os conhecimentos sobre a importância da vegetação e da hidrografia para o equilíbrio dinâmico ecossistêmico, bem como da dinâmica climática já foram discutidos no passado por autores como Neto (1976), Sioli (1985), Ab'Saber (2000, 2003, 2004), Gonçalves (2008), e Stemberg (2012), reconhecidos por serem grandes defensores das potencialidades paisagísticas amazônicas ante a exploração antrópica da natureza.

Pela grande importância a nível global, nacional e regional, a Amazônia continua sendo uma fonte de estudos para pesquisadores dos mais diversos ramos do conhecimento. Os potenciais impactos socioambientais atualmente existentes são resultantes, de maneira geral, da forçante antrópica sobre o meio físico, que tem provocado a quebra do equilíbrio dos sistemas ambientais naturais, ao que Becker (2004) chama de legado histórico de exploração humana sobre a natureza amazônica.

A Região Amazônica possui extenso litoral, com aproximadamente 3.044 km, ocupando 35% do total do litoral brasileiro (MMA, 2008; Júnior, 2016), onde se encontram inumeráveis ecossistemas e setores costeiros com diferentes níveis de vulnerabilidade, quando se consideram as forçantes antrópicas e a ação dos fatores físicos e cuja ocupação ocorre desprovida do necessário conhecimento científico dos principais fatores e agentes oceanográficos/hidroclimáticos, meteorológicos/climáticos, geológicos/geomorfológicos responsáveis pela dinâmica física de formação e equilíbrio ambiental e do modo de vida das populações já residentes

A nível mundial a falta de conhecimento da dinâmica

física das zonas costeiras, tem levado as populações a construir suas habitações próximo do mar. Esse fator tem potencializado o fenômeno da erosão, causada pela ação energética de agentes físicos de naturezas oceanográficas e meteorológicas. As zonas costeiras mundiais são extremamente vulneráveis à ação energética do mar, devido a fatores como exposição direta aos agentes oceanográficos, áreas densamente povoadas e habitat de inúmeras espécies que formam milhares de ecossistemas (Gornitz, 1991; Tagliani *et al.*, 2006; Goosse, 2010; Muehe e Rosman, 2011).

Ao longo do litoral brasileiro os impactos da ação energética do mar, provocando principalmente erosão são bem documentados na literatura nacional. Autores como Souza *et al.* (2005), Muehe (2005, 2006), Muehe e Nicolodi (2008) e Souza (2009) fazem análise do processo erosivo no Brasil com base em fatores oceanográficos e características fisiográficas da costa, e consideram as marés, ondas e correntes como os principais agentes da dinâmica física. As mesmas análises apontam que os processos de retrogradação predominam sobre a progradação. Muehe (2006) destaca também que a principal causa desse predomínio é atribuída à intervenção do homem relacionada à urbanização e à interferência no balanço sedimentar em decorrência da construção de estruturas rígidas.

A problemática da erosão em costas urbanizadas conduz à respostas de contenção da orla, como muros, espigões, sacos de areia, entulho e pedras, árvores, etc. Ante ao paradoxo de causa e efeito, Muehe (2005) e Souza (2009), entendem que a erosão que essas estruturas sofrem, são indicadores de eventos erosivos mais intensos, provocados pela ação energética dos agentes físicos formadores e modeladores da costa. O mesmo

entendimento permeia o estudo do Ministério do Meio Ambiente do ano de 2006 (Muehe, 2006) ao analisar os processos de erosão e progradação do litoral brasileiro.

Na Zona Costeira Amazônica (ZCA) os impactos da ação antrópica sobre os sistemas naturais são potencializados pelas características de vulnerabilidade física da costa. Os principais fatores de vulnerabilidade física à ação energética do mar no litoral amazônico são: dissipação diferenciada de potência de ondas, altas amplitudes de marés, baixa cota topográfica, baixa declividade da costa, características geológico-geomorfológicas e configuração fisiográfica de alguns setores, como as “Rias” amazônicas. Verifica-se que grande parte do litoral amazônico ainda se encontra preservado (Prost *et al.*, 2013), no entanto, inúmeros setores apresentam grandes extensões em processo de retrogradação, causada pela erosão da linha consta (França e Souza Filho, 2003; Souza Filho, 2005; El-Robrini *et al.*, 2006)

De maneira geral, a vulnerabilidade física relaciona-se as principais causas da erosão costeira. As principais causas são: dinâmica das correntes costeiras, morfodinâmica praial, com presença de praias intermediárias e reflexivas ao longo do litoral, configuração fisiográfica costeira regional e localmente diferenciada, potencial energético das ondas na arrebentação, amplitudes de marés diferenciadas e outros, como os relacionados à elevação do nível do mar (Souza, 2009).

A vulnerabilidade dos setores costeiros é medida a partir da ação diferenciada dos agentes físicos responsáveis pela dinâmica do litoral. São as diferenciações regionais nas forçantes climatológicas e oceanográficas que impõem respostas diferenciadas aos variados ambientes geológico-geomorfológicos (Muehe, 2005). A ocupação da costa para moradias e para atividade turística, além de serem fatores de degradação de ambientes naturais, também sofrem com os impactos da erosão e da inundação provocados pela ação do mar.

A ação energética do mar sobre a orla costeira é determinada pela ação diferenciada dos agentes costeiros ao longo de uma determinada região (Coelho *et al.*, 2006), bem como, também influencia na evolução da posição da linha de costa (Lima e Coelho, 2017). A zona costeira absorve a ação energética do mar e reflete em forma de impactos. Visto seus ecossistemas serem naturalmente vulneráveis, qualquer alteração nas variáveis físicas, pode causar impactos com diferentes magnitudes.

Em Salinópolis, área de estudo, as particularidades regionais relacionadas à fisiografia da costa (litoral de reentrâncias) e as altas amplitudes de marés (segunda maior considerando os principais portos do Brasil), que materializam ao longo dos setores costeiros, diferentes dinâmicas e diferentes níveis de vulnerabilidade. Dessa forma, é objetivo deste artigo, mostrar aspectos

da vulnerabilidade à ação energética do mar na orla do Município de Salinópolis, Litoral de Rias da ZCA. O trabalho desenvolvido baseia-se nas proposições metodológicas da Ciência da Vulnerabilidade (Cutter, 2011) e adaptações do escopo metodológico e conceitual de Gornitz (1991), Coelho *et al.* (2006) e Pereira e Coelho (2013), nas Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE) (ICLEI, 2015, 2016; PNA/MMA, 2016) e na teoria sistêmica da paisagem geográfica (Bertrand, 1973).

O trabalho subdivide-se em quatro partes: na primeira é apresentada a localização da área de estudo, com os sete setores destacados e algumas características regionais. Nesta primeira porção, também são apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa. Na segunda parte são apresentados os resultados da análise da vulnerabilidade à ação energética do mar para cada variável estudada e a matriz de vulnerabilidade. Na terceira parte é feita a discussão dos resultados do trabalho. Na quarta parte elaboraram-se algumas considerações sobre os resultados e as principais propostas de adaptação e contenção de impactos nos sete setores costeiros a partir na análise da vulnerabilidade e de visitas a campo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo selecionada foi a costa do Município de Salinópolis. Na subdivisão dos macrocompartimentos propostos por Muehe (2003) para a ZCA, a área está inserida no Litoral de Reentrâncias ou de Rias Pará-Maranhão (Figura 1). O Município é um importante polo turístico na Amazônia Oriental. As quatro principais praias: Curvina, Maçarico, Farol Velho e Atalaia recebem em torno de 300.000 visitantes na alta temporada do mês de julho (SEMMA, 2015; Ribon *et al.*, 2017). No entanto, por estar sujeita a ação energética do mar tem apresentado forte tendência à erosão ao longo de alguns setores da orla (Melo, 2008; Ranieri e El-Robrini, 2015, 2016).

O Litoral de Reentrâncias ou Rias, no qual Salinópolis está inserida é resultante da progradação lamosa, que ressalta a irregularidade da linha de costa configurando um litoral afogado pela transgressão marinha, caracterizado por uma sucessão de pequenos estuários e acréscimos sedimentares que, em conjunto, dão um aspecto de rias, razão da denominação de “*reentrâncias*” (Muehe e Nicolodi, 2008).

A costa do Município de Salinópolis foi dividida em sete subsetores cujo cálculo da extensão foi realizado no Software ArcGis 10.3. A descrição dos setores e suas extensões são descritos na Tabela 1.

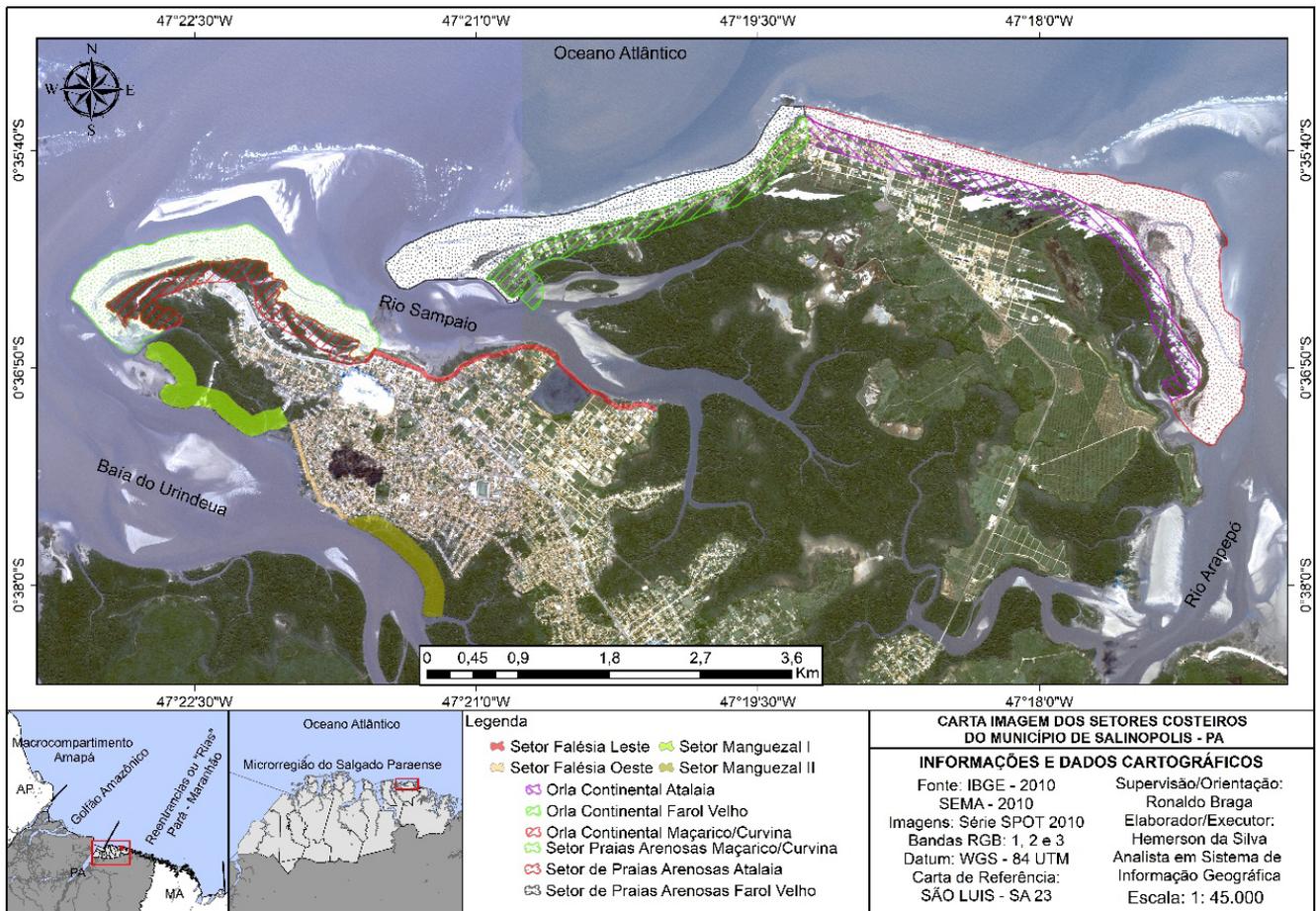


Figura 1. Localização da área de estudo com a subdivisão dos sete setores costeiros (Orla Costeira) em Salinópolis. Fonte: Elaborado pelos autores, com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE e imagens de satélite SPOT da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará-SEMA-PA.

Figure 1. Location of the study area with the subdivision of the seven coastal sectors (Coastal Orla) in Salinópolis. Source: Prepared by the authors, with data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics-IBGE and SPOT satellite images provided by the Environment Secretariat of the State of Pará-SEMA-PA.

Tabela 1. Setores e subsetores de Município de Salinópolis-Pará para análise de vulnerabilidade costeira. Fonte: elaborado pelos autores a partir de observações de imagens SPOT e rotinas de geoprocessamento no Software ArcGis.

Table 1. Sectors and subsectors of the municipality of Salinópolis-Pará to analyze coastal vulnerability. Source: elaborated by authors based on observations of SPOT images and geoprocessing routines in ArcGIS Software.

Setor do Maçarico/Curvina	Extensão (km)	Setor do Farol Velho/Atalaia	Extensão (m)
Setor de praia Maçarico/Curvina	5.186,19	Praia do Farol Velho	6.266,66
Costa de Falésias Leste	3.279,65	Praia do Atalaia	7.483,98
Costa de Falésias Oeste	1.221,30		
Setor de Manguezal I	2.288,97		
Setor de Manguezal II	1.525,66		

Para a avaliação da vulnerabilidade da área de estudo foram adaptadas as metodologias para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade Costeira-IVC proposto por Gornitz (1991), Coelho (2005), Coelho *et al.* (2006), Pereira e Coelho (2013) e Germani *et al.* (2015). A determinação da vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis foi realizada a partir da análise e caracterização das variáveis apresentadas na Tabela 2.

A análise dos parâmetros físicos recebe destaque neste artigo, no entanto, considera-se que as características socioeconômicas podem aumentar ou diminuir o grau de vulnerabilidade (Cutter, 2011). Para o estudo dessa temática na Amazônia, consultar proposição metodológica de Szlafsztein (2006) e outros trabalhos relacionados (Szlafsztein *et al.*, 2006, 2010). Neste artigo, o objetivo correspondeu à caracterização das variáveis físicas relacionadas com a ação energética do mar.

2.2 Geomorfologia e Geologia

A determinação e caracterização das unidades geomorfológicas em campo foram confirmadas com a análise de imagens de satélite SPOT/ano 2010 (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) de 2,5 metros de resolução espacial e com leituras de artigos relacionados ao tema, como Folha (South America) SA 23 do Projeto Radam Brasil (BRASIL, 1973), Melo (2008) e Ranieri e El-Robrini (2016). Com o levantamento altimétrico da área realizado por levantamento aerofotogramétrico

e observações em campo definiu-se a nomenclatura de falésias baixas, entre 0 até 2 metros; falésias médias, com topografia maior que 2 e inferiores a 5 metros e falésias altas, superiores a 5 metros, sendo as duas últimas de ocorrência mais frequente na área de estudo. Considerando a dinâmica costeira dos agentes oceanográficos sobre a costa, entende-se, que as falésias passivas em Salinópolis são escarpamentos de alturas variadas que não são na atualidade solapadas com a ação energética dos agentes exodinâmicos, tais como ondas, marés e correntes longitudinais. E as falésias ativas são escarpamentos atingidos e solapados diariamente pela ação dos agentes exodinâmicos, tais com ondas, correntes e marés.

2.3 Declividade (DC) e Cota Topográfica (CT)

A determinação da declividade da costa e da cota topográfica foi efetuada a partir da elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDT foi elaborado com rotinas de geoprocessamento utilizando as imagens da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) com quatro imagens unidas em mosaico com resolução espacial de 30 metros, obtidas do banco de dados da Embrapa (2016), tratadas seguindo metodologia proposta pelo Projeto TOPODATA do INPE, descritos por Valeriano e Rosseti (2008) e interpoladas por Krigagem com as cotas do aerolevante da Companhia de Habitação do Estado do Pará - COHAB (2000). Dois mapas foram elaborados: o de cotas topográficas e o de declividade.

Tabela 2. Variáveis e valores para a análise do Índice de Vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis. Fonte: adaptado de Gornitz (1991); Coelho (2005), Coelho *et al.* (2006); Pereira e Coelho (2013) e Germani *et al.* (2015).

Table 2. Variables and values for the analysis of the Vulnerability Index to the energy action of the sea in Salinópolis. Source: Adapted from Gornitz (1991), Coelho (2005), Coelho *et al.* (2006); Pereira e Coelho (2013) and Germani *et al.* (2015).

Variáveis	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geomorfologia (GM)	Costa de falésias alta passivas	Costa de Falésias médias passivas	Costa de Falésias baixas passivas	Costa de falésias ativas	Praias arenosas e planícies de marés,
Geologia (GL)	Rochas magmáticas	Rochas metamórficas	Rochas sedimentares	Rochas sedimentares sobrepostas por formação com sedimentos inconsolidados	sedimentos arenosos ou argilosos inconsolidados
Declividade da costa (DC) (%)	>1,2 Alta declividade	1,2 a 0,9 Alta declividade	0,9 a 0,6 Média declividade	0,6 a 0,3 Baixa declividade	< 0,3 Muito baixa declividade
Cota Topográfica (CT) (metros)	> 30	> 20 ≤ 30	> 10 ≤ 20	> 5 ≤ 10	≤ 5
Altura máxima significativa da onda (AO) (m)	<0,55	0,55 a 0,85	0,85 a 1,05	1,05 a 1,25	> 1, 25
Amplitude da Maré (AM) (m)	< 1	1 – 2	2 – 4	4 – 6	> 6

2.4 Altura Significativa da Onda

De acordo com Ranieri e El-Robrini (2016) ao longo da costa de Salinópolis as ondas variam de 0,6 a 1,2 metros. Em águas rasas, na zona de arrebentação das praias da Corvina e Maçarico alcança 0,6 metros, na praia do Farol Velho e Atalaia variam de 0,9 a 1,2, respectivamente. Nos setores de falésia e manguezais, localizados mais para o interior, a morfologia da costa dissipa a energia das ondas, que não ultrapassam 0,6 metros. Muehe e Nicolodi (2008), estudando as características oceanográficas do litoral brasileiro identificaram para esse setor costeiro alturas das ondas incidentes inferiores a 1,5 metros.

Para diferenciar a vulnerabilidade entre as praias do Maçarico, Curvina, Farol Velho e Atalaia foram utilizadas outras duas variáveis: energia potencial e de propagação das ondas no local e a velocidade da corrente longitudinal. Para o cálculo da energia potencial, recorreu-se à Equação (1) (Fernandes *et al.*, 2015).

$$P = \frac{1}{8} \rho g H^2 \cdot \sqrt{g \cdot h} \quad (1)$$

Onde: ρ é a densidade da água (kg/m^3), g é a aceleração gravítica ($9,8 \text{ m/s}^2$), H é a altura da onda em metros, e h é a profundidade/batimetria local em metros. Os valores de profundidade foram obtidos da análise da Carta Náutica 32 de Salinópolis ao Canal do Espadarte da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2017). Os valores de correntes de marés foram retirados de Ranieri e El-Robrini (2016), que utilizaram correntômetro para a determinação da velocidade da corrente costeira e os resultados foram utilizados para a classificação do estado morfodinâmico das praias.

2.5 Amplitude de Maré

Os dados sobre amplitude da maré foram calculados a partir das Tábuas de Marés do Departamento de Hidrografia e Navegação-DHN da Marinha do Brasil, dos anos de 2005 a 2016. Procedeu-se da seguinte forma: calculou-se o MHWS, da sigla em inglês Mean High Water Spring ou (Média das Preamar de sizígia ou altura da Preamar média de sizígia, deduzida de uma longa série de observações das alturas das Preamar de sizígia.) e MLWS da sigla Mean Low Water Spring ou (Média das Baixamar de sizígia ou altura da Baixamar média de sizígia, isto é, altura média, deduzida de uma longa série de observações, das alturas das Baixamar de sizígia.) médio do cada mês. Cabe ressaltar que os valores encontrados estão acima do Nível de Redução (NR-Corresponde ao nível médio das Baixa mares de sizígia (MLHS). É um nível em que o mar não desce ou

desce raramente) determinado pela Fundação de Estudo do Mar (FEMAR) e pela DHN. Em seguida fez-se a subtração dos valores ($\text{MHWS} - \text{MLWS} = \text{Amplitude de Maré}$) (Miguens, 1996). O mesmo procedimento foi realizado para a determinação da amplitude de maré entre os meses de novembro a março, considerados mais chuvosos e os meses de abril a outubro, menos chuvosos.

2.6 Cálculo da vulnerabilidade à ação energética do mar

Após a manipulação dos dados, confecção dos mapas necessários e perfis topográficos, foram determinadas as vulnerabilidades da área de estudo de acordo com cada uma das variáveis. Com o valor de cada variável foi determinado o Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG, calculado considerando a média aritmética da classificação dos parâmetros individuais de vulnerabilidade. A determinação do IVCG realizou-se conforme a classificação do modelo da Tabela 3, utilizando a Equação 2.

$$IVCG = \frac{GM + GL + DC + CT + AO + AM}{6} \quad (2)$$

Tabela 3. Valores para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Geral para o Litoral de “Rias” e Salinópolis, costa amazônica. Fonte: Elaborado pelos autores com dados modificados de Gornitz (1991), Coelho *et al.* (2006); Pereira e Coelho (2013) e Germani (2015).

Table 3. Values for the determination of the General Vulnerability Index for the Coast of “Rias” and Salinópolis, Amazon coast. Source: Elaborated by the authors with modified data of Gornitz (1991), Coelho *et al.* (2006); Pereira and Coelho (2013) e Germani (2015)

Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
≤ 1	> 1 e ≤ 2	> 2 e ≤ 3	> 3 e ≤ 4	> 4

2.7 Trabalho de Campo

Para a elaboração deste artigo, foram realizadas três visitas a campo. A primeira ocorreu no período de 29 a 30 de 09/2016, na qual realizou-se o reconhecimento das principais unidades geomorfológicas e validação das cotas topográficas, anteriormente processadas do levantamento aerofotogramétrico para delimitação dos setores costeiros, bem como observou-se áreas de ocorrência do processo erosivo. A segunda deu-se no período de 02 a 03 de 06/2018, onde se fez registo fotográfico e verificação da geologia, geomorfologia e do processo erosivo por setores de Orla costeira. A última visita de campo ocorreu entre 04 a 06 de 07/2018, fez-se registo fotográfico e análise dos resultados da pesquisa por Setores de Orla.

3. RESULTADOS

3.1 Geomorfologia (GM)

A geomorfologia (GM) permite a distinção entre a menor vulnerabilidade de zonas costeiras montanhosas, quando comparadas com praias ou dunas (Coelho *et al.* 2006). Diversas unidades de paisagem são encontradas no município, como planícies de marés, campos de dunas, falésias, lagos interdunares (Melo, 2008). Todas, no entanto, fazem parte das duas unidades geomorfológicas dominantes, o Planalto Costeiro e a Planície Costeira.

Em Salinópolis, a extensa planície de maré se formou ao longo das margens dos três principais canais: Urindeua, Sampaio e Arapepó. Sobre esta planície se coloniza extensa formação de manguezais, que ocupa grande porção do Município, principalmente a Norte. Também se destaca na paisagem, a unidade morfológica de praia. As principais praias são: praia do Maçarico, Curvina, Farol Velho e Atalaia. O cordão arenoso ocupa todo o litoral mais exposto à ação energética do mar, cuja morfodinâmica está ligada principalmente à dinâmica das ondas, marés e das correntes longitudinais (Ranieri e El-Robrini, 2015).

Outra unidade morfológica da Planície Costeira em Salinópolis são as dunas, que estão presentes entre as praias e as formações de mangues. Ao longo da praia do Maçarico e Curvina, as dunas dominam toda a extensão. No Farol Velho, as dunas ocupam principalmente a porção central e sul. Ao longo da praia do Atalaia são encontradas as mais extensas formações de dunas do Município, alcançando até 42 metros de altitudes, colonizadas por restingas e possuindo no seu interior lagos interdunares, que se formam devido ao afloramento dos lençóis freáticos durante o período chuvoso.

A área de planície de maré é caracterizada pela influência direta da ação energética do mar que, também por

esse motivo, se apresenta em constante dinâmica. A vulnerabilidade para a variável que caracteriza a geomorfologia foi classificada de acordo com o Tabela 4.

3.2 Geologia (GL)

As características geológicas permitem avaliar a natureza das rochas e dos sedimentos que constituem a região costeira, e fazer uma classificação baseada no comportamento desses materiais quando sujeitos a ação do mar. Por exemplo, as rochas magmáticas ou eruptivas são rochas de elevada dureza e por isso pouco vulneráveis, ao contrário dos sedimentos não consolidados de pequenas dimensões, que apresentam alta ou muito alta vulnerabilidade (Coelho *et al.*, 2006).

O Litoral Norte amazônico da foz dos rios Amazonas ao rio Gurupi, no Estado do Maranhão, apresenta um forte controle estrutural, seguindo as orientações das falhas normais NW-SE e falhas transcorrentes NE-SW, vinculadas à atuação de binário textural E-W, no Terciário-Quaternário (Costa *et al.*, 1993; Costa *et al.*, 1996).

O Município de Salinópolis apresenta evolução sedimentar correspondente à morfogênese regional, com três unidades litoestratigráficas que afloram ao longo da costa e do interior. A formação Pirabas, datada do Mioceno, cuja gênese é representada por calcários marinhos, compostos de micritos, bioclastitos, dolomicritos, biohermitos e margas intercalados com folhelhos cinza esverdeados a negros, contendo vegetais piritizados, tendo sido encontrados arenitos calcíferos nas camadas superiores (Góes *et al.*, 1990); a formação Barreiras, Plio-plestocênica, marcada também de características miocênicas e os sedimentos Pós-Barreiras não consolidados que são encontrados aflorando em todo o Município (Rossetti *et al.*, 1989; Góes *et al.*, 1990; Rossetti, 2000, 2006).

Tabela 4: Classificação da vulnerabilidade para a variável Geomorfologia em Salinópolis.

Table 4: Vulnerability classification for the variable Geomorphology in Salinópolis.

Setores costeiros	Unidades morfológicas	Vulnerabilidade
Costa de praias arenosas Maçarico / Curvina	Predominância de praia arenosa limitada por manguezais e dunas vegetadas	Muito Alta
Setor de Falésias Leste	Predominância de Falésias Altas e Médias Ativas	Alta
Setor de Falésias Oeste	Predominância de Falésia Altas passivas	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste I	Planície de maré	Muito Alta
Setor de Manguezais Leste II	Planície de maré	Muito Alta
Praia do Farol Velho	Praia arenosa limitada por falésias ativas baixas, médias e altas	Muito Alta
Praia do Atalaia	Praia arenosa limitada na extremidade Oeste por falésias ativas de altura variada e a Leste por dunas vegetadas e antropizadas.	Muito Alta

Nas falésias que circundam Salinópolis afloram principalmente a formação Barreiras e os sedimentos Pós-Barreiras, já a formação Pirabas apresenta ocorrência em poucos setores (Figura 2), com afloramento principalmente na porção central da praia do Atalaia, e nas praias do Maçarico e Farol Velho (Ranieri e El-Robrini, 2016).

Diante das características geológicas da zona de estudo, constata-se que todas as formações geológicas presentes ou que afloram em Salinópolis são de origem sedimentar. Tais características também podem ser constatadas em cartas geológicas do Projeto Radam Brasil (BRASIL, 1973) e foram confirmadas em trabalho de campo. Dessa forma, a vulnerabilidade local que caracteriza a geologia segue como mostra a Tabela 5.

3.3 Cota Topográfica (CT)

A cota topográfica (CT) é um parâmetro de vulnerabilidade que estabelece a distinção entre zonas costeiras planas e zonas costeiras com grande declive (Coelho *et al.*, 2006). Para estudos da elevação e da ação energética do mar, considera-se que locais com cotas até dez metros de altitude compõem o que Tagliani (2006), Williams *et al.* (2009) e Nicholls *et al.* (2013) denominam de Zona Costeira de Baixa Elevação (ZCBE), ou seja, áreas sujeitas a maiores impactos à ação energética e à subida do nível do mar (Gutierrez *et al.*, 2014).

O Litoral de Rias da Amazônia, que também inseri a área de estudo (Figura 3) possui grande parte de sua área na ZCBE, formada em sua maior extensão de planícies lamosas e praias. Essa característica faz com

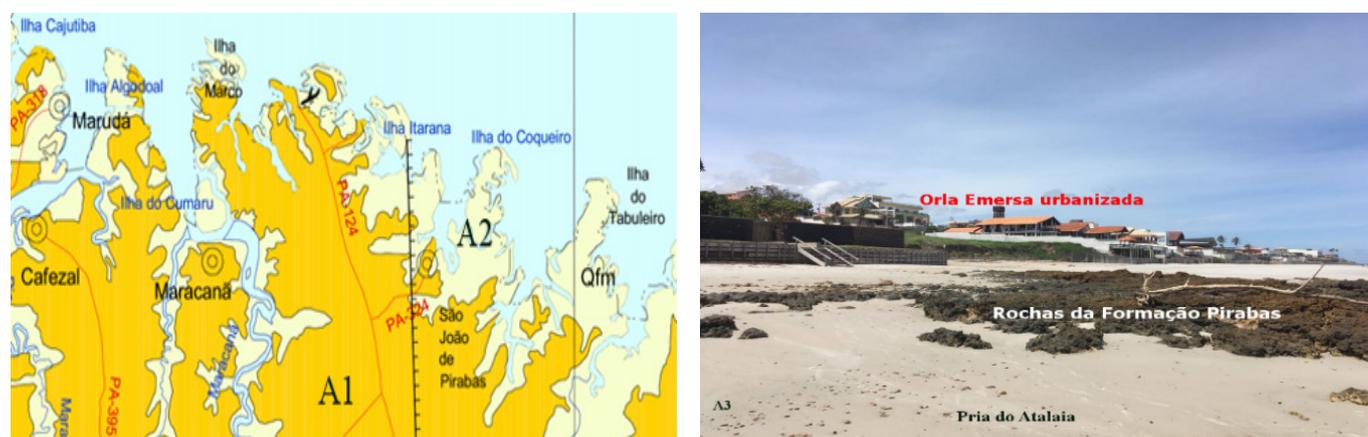


Figura 2. Principais formações geológicas da área de estudo: A1 (Grupo Barreiras: arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito); A2 (Depósitos flúvio-marinhos indiscriminados de pântanos e mangues, flúvio-lagunares e litorâneos). A3 Afloramento da Formação Pirabas (Formação Miocênica resultante de transgressão marinha) na praia do Atalaia. Fonte: Serviço Geológico do Brasil/CPRM e fotografia de Ronaldo Braga de março de 2016.

Figure 2. Main geological formations of the study area: A1 (Barreiras group: sandstone and conglomerate, siltite and argillite intercalations, A2 (Indiscriminate fluvial-marine deposits of marshes and mangroves, fluvial lagoons and coastal areas) A3 Outcropping of the Pirabas Formation (Miocene Formation resulting from marine transgression) at Atalaia beach. Source: Geological Survey of Brazil / CPRM and photograph of Ronaldo Braga from March 2016.

Tabela 5. Subsetores costeiros, características geomorfológico-geológicas e classificação da vulnerabilidade. Fonte: elaborado pelos autores.

Table 5. Coastal subsectors, geomorphological-geological characteristics and vulnerability classification. Source: prepared by the authors.

Subsetores Costeiros	Unidade geomorfológica/ Geológicas	Vulnerabilidade Geologia
Costa de praias arenosas Maçarico/Curvina	Sedimentos arenosos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Costa de Falésias Leste	Falésias de rochas sedimentares do Grupo Barreiras (arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito)	Moderada
Costa de Falésias Oeste	Falésias de rochas sedimentares do Grupo Barreiras (arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito)	Moderada
Setor de Manguezal Leste I	Sedimentos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Setor de Manguezal Leste II	Sedimentos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Setor Farol Velho	Sedimentos arenosos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta
Setor Atalaia	Sedimentos arenosos inconsolidados Holocênicos	Muito Alta

que grande extensão do litoral esteja a menos de dez metros de altitude, caracterizando vulnerabilidade Alta a Muito Alta. A ZCBE dessa porção das Rias do Nordeste paraense penetra para o interior do continente, seguindo os canais de marés, cuja baixa altimetria se intercala com maiores cotas topográficas do Planalto Costeiro Amazônico.

Na subdivisão por setores costeiros propostos nesse trabalho, a maioria de suas áreas estão inseridas na ZCBE. A variação das cotas topográficas que se verifica ao longo da costa Municipal (Figura 4) é devido à sucessão de canais e planícies de marés que recortam o litoral. Os três principais rios ou baías: Baía do Urindeua, Rios Sampaio e Arapepó, com desembocaduras superiores a 2 km de largura, somam juntos aproximadamente 50 canais ou afluentes, que caracteriza uma hierarquia fluvial que se ramifica para interior, justificando a baixa cota topográfica.

A ZCBE do Município é composta de planícies lamosas colonizadas por manguezais, por depósitos arenosos que formam as praias e por formações dunares. Ante a essas características topográficas, o Tabela 6 mostra a classificação da vulnerabilidade para o parâmetro cota topográfica em Salinópolis.

Devido a Muito Alta e Alta vulnerabilidade para todos os setores, as variáveis oceanográficas como ondas e marés dissipam suas energias sobre essas estruturas artificiais, causando erosão e alagamentos e obrigando ocupantes e

moradores a criarem estratégias de adaptação.

A Figura 5 mostra o perfil topográfico CD, abrangendo o setor de praia da Curvina, planície antropizada, setor de Manguezal I, setor de Falésia Oeste e setor de Manguezal II. Toda essa porção da orla está abaixo de cinco metros topográficos, ou seja, Muito Alta vulnerabilidade a ação energética do mar.

3.4 Declividade (DC)

Quanto menos íngreme a costa for, maior será sua vulnerabilidade, tanto à elevação do nível do mar quanto a ação energética do mar (Gonitz, 1991; Pereira e Coelho, 2013). A Figura 5 mostra a declividade da costa do Município de Salinópolis. A baixa declividade da costa facilita a penetração das marés e correntes oceânicas para o interior do continente.

Em Salinópolis a predominância da baixa declividade, principalmente nos setores de praias e manguezais, faz a ação do mar dissipar a energia das ondas sobre as estruturas artificiais e ambientes naturais. Para os setores de praias arenosas: Maçarico/Curvina, Farol Velho e Atalaia com declividade $< 3\%$, a vulnerabilidade é Muito Alta. As mesmas classificações apresentam os setores de Manguezais I e II. O setor de Falésia Leste apresenta declividade muito alta na maioria de sua extensão, dessa forma, possui Muito Baixa vulnerabilidade. No entanto, o depósito lamoso na base da falésia apresenta

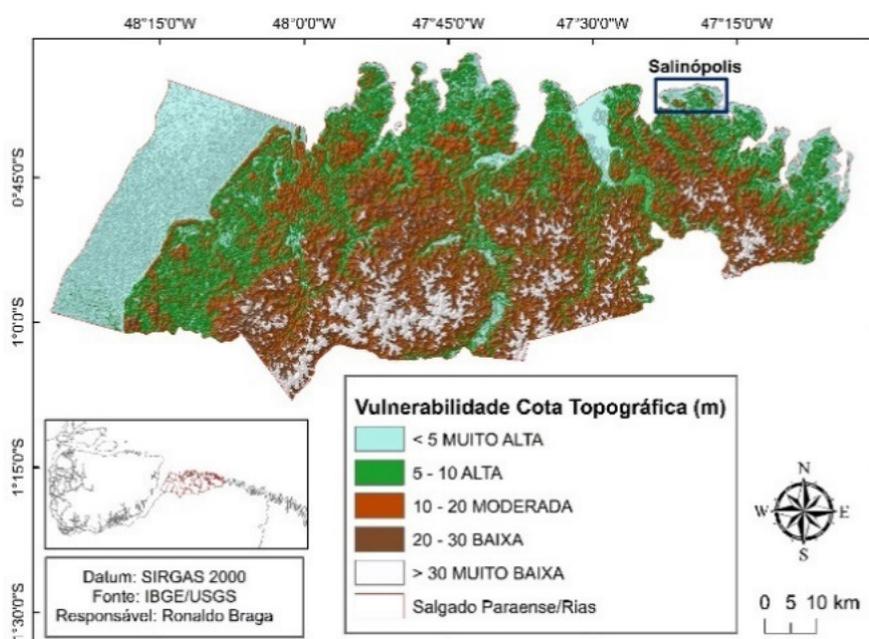


Figura 3: Mapa de Vulnerabilidade para a variável Cota Topográfica do Litoral de Rias paraense, NE da Amazônia. Fonte: Elaborada pelos autores.

Figure 3: Map of Vulnerability for the Variable Topographic Dimension of the Coast of Rias paraense, NE of the Amazon. Source: Prepared by the authors.

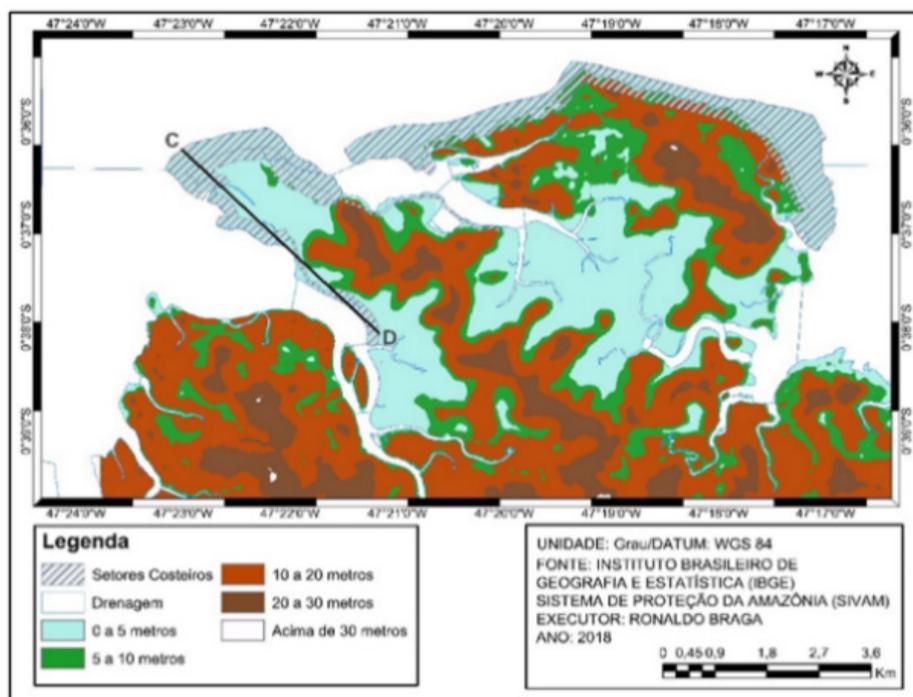


Figura 4: Mapas de Vulnerabilidade para a variável Cota Topográfica de Salinópolis, NE da Amazônia.

Figure 4: Vulnerability maps for the Variable Topographic Elevations of Salinópolis, NE of the Amazon.

Tabela 6: Vulnerabilidade do parâmetro cota topográfica por setores costeiros de Salinópolis

Table 6: Vulnerability of the parameter topographic dimension by coastal sectors of Salinópolis

Setores costeiros em Salinópolis	Vulnerabilidade Cota Topográfica (m)
Costa de praias arenosas Maçarico/Curvina	≤ 5 Muito Alta
Setor de falésias Leste	> 5 ≤ 10 Alta
Setor de Falésias Oeste	> 5 ≤ 10 Alta
Setor de Manguezais Leste I	≤ 5 Muito Alta
Setor de Manguezais Leste II	≤ 5 Muito Alta
Praia do farol Velho	≤ 5 Muito Alta
Praia do Atalaia	≤ 5 Muito Alta

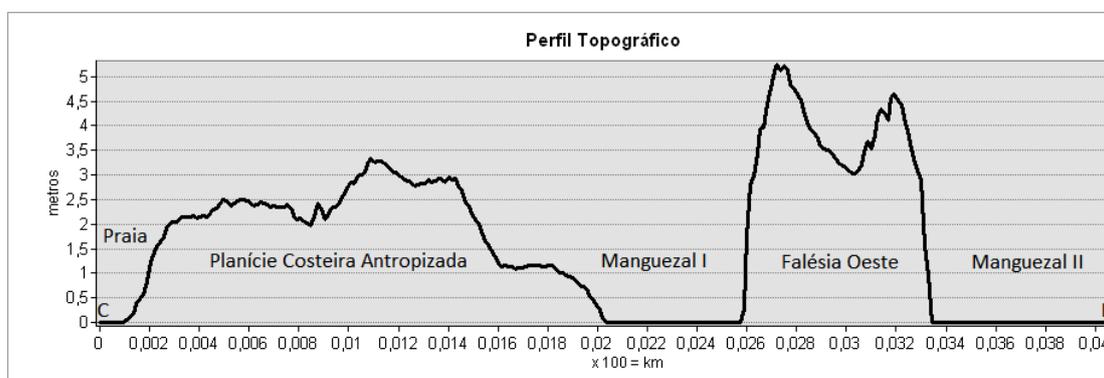


Figura 5: Perfil topográfico CD em Salinópolis, demonstrando grande extensão compoendo a Zona Costeira de Baixa Elevação ao longo dos setores costeiros.

Figure 5: CD topographic profile in Salinópolis, demonstrating a great extension composing the Coastal Zone of Low Elevation along the coastal sectors.

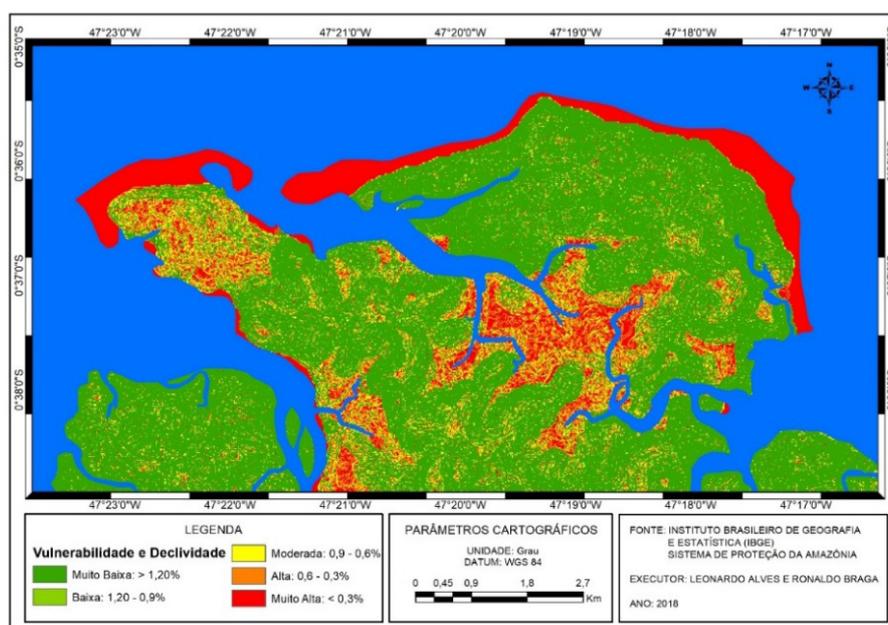


Figura 6: Vulnerabilidade para a variável Declividade em Salinópolis, Litoral NE da Amazônia.

Figure 6: Vulnerability for the variable Declivity in Salinópolis, NE Coast of Amazonia.

baixa declividade e consequentemente uma Muito Alta vulnerabilidade. O Setor de Falésia Oeste apresenta em sua maior área muito alta declividade, o que o configura em Muito Baixa vulnerabilidade.

3.5 Altura significativa da onda (AO)

A altura de ondas para os as quatro praias da área de estudo em águas rasas na zona de rebentação alcançam em média de 0,5 a 1 m de altura. Na face oceânica

desses setores costeiros praias, as ondas incidentes são inferiores a 1,5 m (Muehe e Nicolodi, 2008). Os valores da altura de ondas locais coletados por Ranieri e El-Robrini (2016) na praia da Corvina, Maçarico, Farol Velho e Atalaia são apresentados na Tabela 7. Os valores da altura de ondas nos setores de falésias e manguezais foram inferidos como menores que 0,6 m, pois são locais mais protegidos da ação direta das ondas e por se localizarem mais no interior dos canais.

Tabela 7: Valores de altura média de onda nas principais praias de Salinópolis coletados durante o período equinocial por Ranieri e El-Robrini (2006) (26, 27 e 28/04/2013 – estação chuvosa e 04, 05 e 06/10/2013 – período menos chuvoso) e suas respectivas vulnerabilidades.

Table 7: Mean wave height values in the main beaches of Salinópolis collected during the equinoctial period by Ranieri e El-Robrini (2006) (26, 27 and 28/04/2013 - rainy season and 04, 05 and 06/10 / 2013 - less rainy season) and their respective vulnerabilities.

Setores	Altura média das ondas (m)	Vulnerabilidade
Costa de praias arenosas Maçarico/Curvina	0,6	Baixa
Setor de falésias Leste	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Falésias Oeste	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste I	< 0,6	Muito Baixa
Setor de Manguezais Leste II	< 0,6	Muito Baixa
Praia do Farol Velho	0,9	Moderada
Praia do Atalaia	1,2	Alta

3.6 Amplitude de Maré (AM)

No Litoral de Rias da Amazônia, a amplitude de maré é de 5,5 m (Muehe e Nicolodi, 2008), valor que se aproxima ao calculado por El-Robrini *et al.* (2006), que assinalam para toda a costa do Atlântico do Salgado Paraense um valor aproximado da amplitude média de maré de 5,3 m, com influência direta das macromarés semidiurnas. Para Salinópolis a FEMAR apresenta amplitude de maré de 4,75 m, quando comparadas as médias da preamar e baixamar de sizígia. De forma geral as “Rias” amazônicas, especificamente na área de estudo, apresentam marés bem superiores a outros locais do país, quando comparado aos principais portos do país. O MHSW calculado para o período de 2005 a 2016 nas Tábuas de Marés foi de 5,04 m acima do Nível de Redução. Esse valor é praticamente igual ao valor oficial calculado pela FEMAR. Para a MLWS verificam-se diferenças nos valores, pois a FEMAR estipula o valor de 0,46 m e nas Tábuas, foi de 0,33 m. As amplitudes de marés foram calculadas para o período chuvoso e menos chuvoso no NE do Pará. Para o período conhecido como mais chuvoso, nos meses de novembro a março, a amplitude de maré foi de 4,75 m. Para os meses menos chuvosos, de abril a outubro, a amplitude de maré foi de 4,67 m (Figura 7). Importante destacar que a diferença de 0,12 m está relacionada com as marés altas equinociais de março e setembro.

Durante o período de sizígia em Salinópolis, as marés alcançam locais com maior altitude, que em conjunto com as ondas de altura entre 0,6 e 1,2 m, influenciam

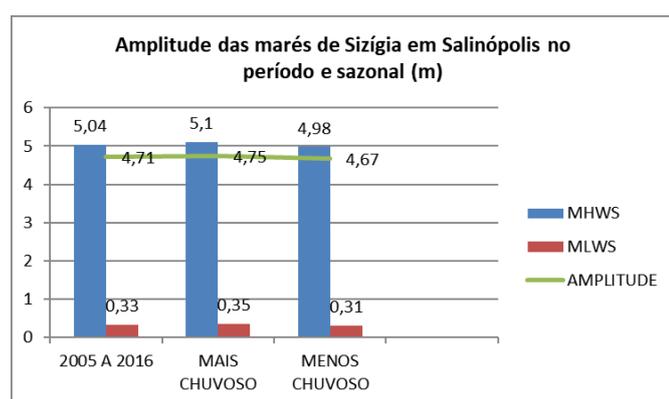


Figura 7: Marés e amplitude de marés no período de 2005 a 2016 e durante os meses mais e menos chuvosos amazônicos, para maré alta e baixa de sizígia em Salinópolis, Amazônia. Fonte: Elaborado pelos autores com dados das Tábuas de marés da Diretoria de Hidrografia Nacional-DHN de Salinópolis entre os anos de 2005 a 2016.

Figure 7: Tides and amplitude of tides in the period from 2005 to 2016 and during the more and less Amazonian rainy months, for high and low tide of syzygy in Salinópolis, Amazonia. Source: Elaborated by the authors with data from the Tide Table of the Salinópolis National Hydrographic Board-DHN between the years 2005 and 2016.

a dinâmica sedimentar, aumentando a capacidade de transporte ao longo da costa. Nos setores costeiros em estudo, a ocupação humana, com construções para habitação e para infraestrutura para o turismo sobre o estirâncio, pós-praia e orla continental, sofrem o impacto direto desses agentes físicos, que agem sobre essas estruturas, causando danos. Esses impactos são advindos da Alta vulnerabilidade do litoral de Salinópolis às amplitudes de marés, tanto para o período de 2005 a 2016 (4,71 m), como para os períodos sazonais mais chuvosos (4,75 m).

4. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA GERAL (IVCG)

Os valores da vulnerabilidade para cada variável estão descritos no Tabela 8. Cada setor apresenta características singulares de vulnerabilidade quando expostas a ação energética do mar.

No setor de praias Maçarico/Curvina o IVCG à ação energética do mar foi determinada como Muito Alta (4,33). Os parâmetros geomorfológicos/geológicos (Geomorfologia, Geologia, Declividade da Costa e Cota topográfica) apresentaram valor de vulnerabilidade Muito Alta, enquanto que o parâmetro oceanográfico Altura da Onda apresentara valor menor.

Os setores de falésias Leste e Oeste apresentam IVCG Moderado, com valores de 2,83 e 2,33, respectivamente. O parâmetro Geomorfologia é o que os diferencia. No setor Leste grande parte da costa é composta de falésias ativas, fato que o classifica em Alta vulnerabilidade, enquanto no setor Oeste as falésias são passivas, o que classifica este parâmetro neste setor em Muito Baixa vulnerabilidade.

Os setores de Manguezais I e II apresentam os mesmos valores de vulnerabilidade para os parâmetros geomorfológicos/geológicos e oceanográficos, apresentando Muito Alto IVCG para a média dos valores de vulnerabilidade. Por não serem contínuos, optou-se pela classificação separada dos dois setores.

Os setores de praias do Farol e Velho e Atalaia apresentam IVCG Muito Alto, 4,50 e 4,66, respectivamente. Com exceção dos valores de Altura de Ondas, todos os parâmetros nesses setores apresentam vulnerabilidade a ação energética do mar semelhante.

Das quatro praias analisadas verificou-se IVCG Muito Alto em todas. O único parâmetro que as diferencia é a Altura das Ondas. Dessa forma, calculou-se a energia potencial das ondas que chegam em cada praia, objetivando encontrar alguma diferença que justifique os diferentes índices de vulnerabilidade e o processo erosivo

Tabela 8: Matriz de vulnerabilidade e Índices de Vulnerabilidade Costeira Geral à ação energética do mar por setores em Salinópolis, Amazônia. Fonte: elaborado pelos autores.

Table 8: Vulnerability matrix and General Coastal Vulnerability Indexes to the energy action of the sea by sectors in Salinópolis, Amazônia. Source: prepared by the authors.

Setores costeiros	Parâmetros de Vulnerabilidade						Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG
	GM	GL	DC	CT	AO	AM	
Costa de praias arenosas Maçarico / Curvina	5	5	5	5	2	4	4,33 (Muito Alto)
Setor de Falésias Leste	4	3	1	4	1	4	2,83 (Moderado)
Setor de Falésias Oeste	1	3	1	4	1	4	2,33 (Moderado)
Setor de Manguezais I	5	5	5	5	1	4	4,16 (Muito Alto)
Setor de Manguezais II	5	5	5	5	1	4	4,16 (Muito Alto)
Praia do Farol Velho	5	5	5	5	3	4	4,50 (Muito Alto)
Praia do Atalaia	5	5	5	5	4	4	4,66 (Muito Alto)

diferenciado na orla das praias já identificado por Ranieri e El-Robrini (2016) e confirmados nesse trabalho em pesquisa de campo. Para o cálculo da Energia Potencial considerou-se a densidade (ρ) da água do mar com valor de 1.030 kg/m^3 (APRH/Glossary, 2007)

Constatou-se que a praia do Atalaia é a mais energética, dissipando $11.387,91 \text{ w/m}$. A praia do Farol Velho é a segunda mais energética, com energia de onda de 6.405 w/m . As praias do Maçarico e Curvina possuem 2.013 W/m de energia potencial cada, sendo consideradas com menos dinamismo com relação à energia potencial das ondas.

A velocidade das correntes costeiras é outro parâmetro que diferencia as praias. De acordo com Ranieri e El-Robrini (2016), na praia do Atalaia as correntes são fortes, em média, maiores que $0,4 \text{ m.s}^{-1}$. Nas praias do Farol Velho e Maçarico as correntes são moderadas, com velocidade média superior a $0,3 \text{ m.s}^{-1}$. A praia da Curvina apresenta correntes fracas, com velocidades inferiores a $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ (Tabela 9).

A Figura 8 mostra a síntese do cálculo dos valores de cada variável analisada, destacando o Índice de Vulnerabilidade Geral para toda a Orla de Salinópolis.

5. DISCUSSÃO

Ostrês setores de praias arenosas (Maçarico/Curvina, Farol Velho e Atalaia) apresentam Muito Alta vulnerabilidade, com todos os seis parâmetros apresentando elevados valores individuais. A vulnerabilidade elevada das praias à ação energética do mar se expressa, principalmente, pela ação diária e constante das correntes costeiras, amplitudes de marés anuais superiores a quatro metros, ondas que dissipam energia potencial sobre a costa, erodindo estruturas artificiais e removendo sedimentos arenosos inconsolidados que formam a praia e construções sobre a faixa emersa da Orla.

Os setores de praias arenosas, mesmo apresentando Muito Alta vulnerabilidade para o total das variáveis, possuem diferença quanto à potência das ondas incidentes no local e à velocidade das correntes costeiras. Na praia do Atalaia e do Farol Velho as ondas dissipam energia potencial de $11.387,91 \text{ w/m}$ e $6.405,48 \text{ w/m}$, respectivamente. Uma das consequências é a erosão da costa, que na orla se materializa pela destruição de estruturas como bares e restaurantes construídos sobre a pós-praia e estirâncio e ameaçam hotéis e residências. As correntes que alcançam as praias são fortes, maiores que $0,4 \text{ m.s}^{-1}$ para o Atalaia e

Tabela 9: Valores de profundidade local e altura da onda para o cálculo da energia potencial e de propagação das ondas nas quatro praias em análise. E velocidade das correntes. Fonte: Produzido com dados de Ranieri e El-Robrini (2016), da Carta Náutica da Diretoria de Hidrografia Nacional revisada em 2017 e do APRH/Glossary (2007) do Journal of Integrated Coastal Zone Management.

Table 9: Local depth and wave height values for the calculation of potential energy and wave propagation in the four beaches under analysis. And speed of chains. Source: Produced from Ranieri and El-Robrini (2016), the Nautical Chart of the National Hydrography Board revised in 2017 and the APRH / Glossary (2007) from the Journal of Integrated Coastal Zone Management

Praia	Profundidade (h)	Altura (H)	Potência (w/m)	Velocidade da Correntes
Setor Praia do Maçarico	2 m	0,6 m	2013,67	Correntes moderadas (em média maiores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$).
Setor Praia da Curvina	2 m	0,6 m	2013,67	Correntes fracas (em média menores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$)
Setor Praia do Farol Velho	4 m	0,9 m	6405,48	Correntes moderadas (em média maiores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$)
Setor Praia do Atalaia	4 m	1,2 m	11387,91	Correntes fortes (em média maiores que $0,4 \text{ m.s}^{-1}$)

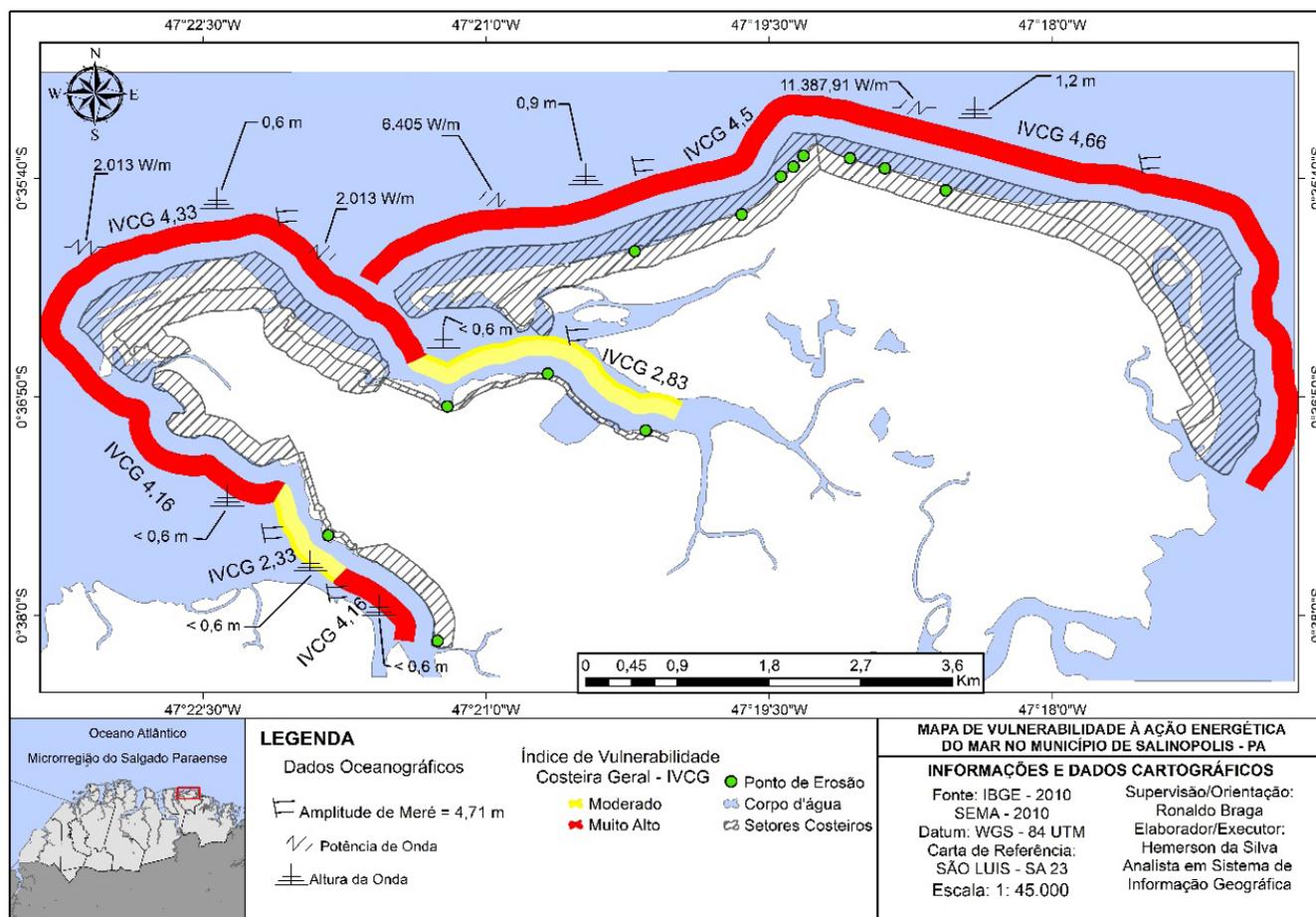


Figura 8: Mapa síntese do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral (IVCG) à ação energética do mar em Salinópolis, Pará.

Figure 8: Summary map of the General Coastal Vulnerability Index (IVCG) to the energy action of the sea in Salinópolis, Pará.

moderadas (maiores que $0,3 \text{ m.s}^{-1}$) para o Farol velho. A ação dessas correntes é responsável pelos deslocamentos de sedimentos longitudinalmente à praia, formando banco e calhas e erodindo falésias. A dissipação da energia potencial das ondas e ação das correntes locais, são dois dos principais agentes oceanográficos atuantes em Salinópolis e responsáveis pela erosão.

O setor de praias do Maçarico/Curvina é menos energético dentre as praias, apresentando energia potencial de ondas de $2013,67 \text{ w/m}$. Sobre a face praial dissipativa formam-se trem de ondas que vão dissipando sua energia e atingem as dunas ou a pós-praia com menos energia (Ranieri e El-Rbrini, 2016). As praias são pouco frequentadas pelo turismo e são limitadas por dunas colonizadas por vegetação de restinga e mangue. Para aqueles autores as correntes que atuam no local são moderadas e fracas, variando em torno de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$. Pelo fato de as praias não serem muito dotadas de infraestrutura para turismo, a pós-praia, estirâncio e as dunas não sofrem impactos intensos provenientes da ocupação e os danos sobre estruturas construídas não são muito observados.

A principal estrutura para o turismo do local, conhecida como a “Orla do Maçarico” (Figura 9), construída sobre os manguezais e dunas nos anos de 1997 a 2000 (Souza, 2014), até o presente, não tem sofrido impacto da energia potencial das ondas, visto que estas dissipam a energia sobre as dunas vegetadas. No entanto, a obra tem provocado mudanças nas áreas de migração de dunas e desenvolvimento da vegetação de mangue (Reis e Mendes, 2001; Mendes *et al.*, 2013).

Os setores de falésias Leste e Oeste apresentam vulnerabilidade Moderada. Estas classificações estão relacionadas, principalmente, à altura das falésias no local, que alcançam cotas superiores a 17 metros, à sua localização mais protegida, visto estarem localizadas mais no interior dos canais e pela deposição lamosa em suas bases. Tais fatores limitam a ação energética do mar sobre o continente. Uma das consequências da energia do mar sobre as falésias é a erosão, que provoca perdas de ambientes e, em alguns locais, como no Setor de Falésias Leste, tem causado preocupação às populações residentes.



Figura 9: Orla turística do Maçarico (B). Para a construção de aproximadamente 2 km de orla, foi derrubado vegetação de mangue e restinga e a compactação do solo com aterro e concreto. A vegetação de mangue e as dunas que se formaram paralelamente à “Orla” tem funcionado como barreiras de proteção da estrutura ao ataque das ondas. Foto: COHAB, 2000.

Figure 9: Curlew tourist border (B). For the construction of approximately 2 km of waterfront, vegetation of mangrove and restinga was demolished and the compaction of the soil with embankment and concrete. The mangrove vegetation and the dunes that formed parallel to the “Orla” have functioned as barriers to protect the structure from attack by waves. Photo: COHAB, 2000.

Para os setores de manguezais que foram classificados como Vulnerabilidade Muito Alta, observou-se que a ação do mar é um fator preponderante. Diariamente no local, as marés semi-diurnas inundam as planícies, depositando sedimentos e facilitando a colonização de espécies típicas do ecossistema de manguezal. A diminuição da energia das ondas não justifica uma baixa vulnerabilidade nos mangues, visto que sua dinâmica é dominada pelas marés, fato que comprova sua Muito Alta Vulnerabilidade, principalmente por sua baixa topografia. A Figura 10 mostra três setores de Muito Alta vulnerabilidade sob a ação energética do mar.

5.1 Proposta metodológica de estratégias de intervenção em Salinópolis

Na literatura internacional há diversos trabalhos que tratam do tema da adaptação, cujas metodologias podem ser ajustadas ou aplicadas em diversas realidades costeiras (Odeku, 2004; Musa *et al.*, 2016; Ekström *et al.*, 2016).

Em Salinópolis a determinação da vulnerabilidade à ação energética do mar requer respostas de intervenção, tanto advindas de governantes como da comunidade local. Dessa forma, em função da avaliação da vulnerabilidade e das características atuais dos setores costeiros, com vistas à minimização dos impactos, principalmente à erosão, a estratégia metodológica sugerida para a área de estudo é a Adaptação baseada em Ecossistema (AbE), ou seja, o uso dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade como parte de uma estratégia de adaptação para auxiliar as pessoas e as comunidades a se adaptarem aos efeitos negativos das mudanças climáticas em nível local, nacional, regional e global (ICLEI, 2015, 2016). A AbE tem como finalidade diminuir os impactos da ação do mar sobre a costa, utilizando infraestrutura verde, ou seja, áreas naturais interconectadas, como corredores verdes, parques, zonas úmidas, reservas florestais e comunidades de plantas nativas, e áreas marinhas que naturalmente regulam o regime de chuvas, a temperatura, o risco de inundações e a qualidade da água, do ar e do ecossistema, que juntas aumentam a saúde e a resiliência dos ecossistemas, contribuem para a conservação da biodiversidade e beneficiam populações humanas por meio da manutenção e aprimoramento dos serviços ecossistêmicos. (ICLEI, 2015, 2016; PNA/MMA, 2016).

Em determinados setores da costa de Salinópolis, como nas praias do Farol Velho e Atalaia, as habitações e estruturas comerciais estão sob ataque direto do mar em maré alta, para esses locais, não se descarta a possibilidade de instalação de infraestrutura cinza, aquelas relacionadas às estruturas convencionais, como barreiras de concreto, madeira e concreto, metal, metal e concreto. Atualmente, são essas as principais formas de contenção do processo erosivo em Salinópolis. O que se constata, é que tais iniciativas possuem caráter imediatista e paliativa, sem estudo ambiental detalhado prévio. A tabela 10, mostra as possíveis estratégias de adaptação e intervenção por setores de Orla em Salinópolis, com base em análise de campo e (ICLEI, 2015, 2016; PNA/MMA, 2016).

Intervenções do poder público Municipal e da população podem ser vistas ao longo da orla de Salinópolis (Figura 11). No setor de Falésia Leste a Defesa Civil protocolou pedido à Prefeitura Municipal por meio do Ministério Público para interditar uma parte desse setor.



Figura 10: Ação das ondas e correntes longitudinais e de marés sobre estruturas artificiais: (C) Setor da praia do Atalaia, em Muito Alta Vulnerabilidade, sofrendo ataque das ondas; (D) Setor da praia do Farol Velho em Muito Alta vulnerabilidade, apresentando intenso processo erosivo; (E e F) Setor de Falésia Leste, a ação, principalmente das correntes de marés tem provocado erosão nas vias de circulação. Fonte: Fotos de Ronaldo Braga (08/04/2018).

Figure 10: Action of waves and longitudinal currents and tides on artificial structures: (C) Atalaia beach sector, in Very High Vulnerability, suffering waves attack; (D) Sector of the beach of the Old Lighthouse in Very High vulnerability, presenting intense erosive process; (E and F) East Cliff Sector, the action, mainly of the tidal currents has caused erosion in the circulation ways. Source: Photos of Ronaldo Braga (04/08/2018).



Figura 11: Medidas de contenção da erosão em Salinópolis: (G) parte central do Setor de Falésia Leste interditado; (H) estrutura de contenção da erosão em madeira e rochas destruídas na praia do Atalaia.

Figure 11: Erosion containment measures in Salinópolis: (G) central part of the Eastern Closing Sector, (H) erosion containment structure in wood and destroyed rocks on the beach of Atalaia.

Tabela 10: Estratégia de adaptação local para Salinópolis.

Table 10: Local adaptation strategy for Salinópolis.

Setores costeiros	Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral-IVCG	Estratégia de adaptação à ação energética do mar
Costa de praias arenosas Maçarico / Curvina	4,33 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar desmatamento de vegetação de mangues e restingas; • Manter dunas vegetadas; • Não interromper a conexão de vegetação de mangues e restingas entre as duas praias; • Controlar a atividade turística nas praias; • Impedir retirada de areia das praias.
Setor de Falésias Leste	2,83 (Moderada)	<ul style="list-style-type: none"> • Plantio de árvores de grande porte para evitar a erosão de falésias; • Interditar áreas de falésias altas em erosão.
Setor de Falésias Oeste	2,33 (Moderada)	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção e plantio de árvores próximo às falésias habitadas; • Utilização do depósito lamoso na base das falésias para facilitar a colonização de vegetação, com vistas a dissipar a energia principalmente das correntes de marés.
Setor de Manguezais Leste I	4,16 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Preservar a vegetação ainda existente através da aplicação da legislação ambiental de Área de Preservação Permanente, Lei nº 12.727/2012 (BRASIL, 2012); • Melhorar as condições de saneamento e moradia das populações.
Setor de Manguezais Leste II	4,16 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar a Lei sobre Área de Preservação Permanente (BRASIL, 2012) para impedir a urbanização que avança sobre a vegetação; • Melhorar as condições de saneamento e moradia das populações.
Praia do Farol Velho	4,5 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Construir estrutura de contenção para diminuir os danos causados pela erosão; • Impedir novas construções sobre a pós-praia; • Propor retirada de estruturas comerciais ou de habitações de áreas de erosão mais severa.
Praia do Atalaia	4,66 (Muito Alta)	<ul style="list-style-type: none"> • Construir estrutura de contenção para diminuir os danos causados pela erosão; • Impedir novas construções sobre a pós-praia; • Propor retirada de estruturas comerciais ou de habitações de áreas de erosão mais severa; • Impedir a circulação de carros na praia; • Preservar as dunas, que funcionam como fonte de sedimentos para a praia; • Impedir retirada de areia das dunas e da praia.

6. CONCLUSÕES

O estudo da ação energética do mar no litoral de Salinópolis demonstra um cenário atual onde a maioria da costa se apresenta em Muito Alta vulnerabilidade para a maioria das variáveis, devido às características físicas regionais particulares, tais como configuração e formação geomorfológica da costa, altas amplitudes de maré, baixa cota topográfica e diferencial de potencial energético das ondas.

As ondas dissipam energia potencial diferentes sobre as praias, devido às distintas características físicas da altura das ondas e da batimetria. Parte do processo erosivo evidenciado ao longo da Orla costeira é resultante dessa energia das ondas.

A metodologia utilizada para a determinação do Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral, IVCG, em Salinópolis, importante cidade litorânea amazônica, pode ser replicado para o restante da Zona Costeira Amazônica, podendo ser instrumento de conhecimento da dinâmica física de umas das mais importantes regiões

do Planeta. Também serve como subsídio para a previsão de impactos ambientais na costa, podendo ser utilizado por gestores em diferentes instâncias de poder.

A ocupação da zona de maior dinamismo das praias (estirâncio) e da zona de depósito sedimentar (pós-praia) nas praias do Farol Velho e Atalaia, provocam destruição das estruturas comerciais e residenciais e impedem que os sedimentos o transporte de sedimentos entre as zonas praias, provocando erosão.

Por falta de conhecimento suficiente, da Esfera Pública, sobre a dinâmica física dos principais agentes oceanográficos responsáveis pela geomorfologia costeira em Salinópolis, há a permissão para as construções domiciliares e de hotelaria em setores da Orla Costeira em Alta ou Muito Alta Vulnerabilidade à ação energética do mar, como acontece nas orlas continentais dos setores das praias do Farol Velho e Atalaia.

A classificação por setores da vulnerabilidade à ação energética do mar em Salinópolis, seguiu-se de uma proposição metodológica para adaptação. As estratégias

propostas basearam-se em experiências positivas destacadas pela ICLEI (2015, 2016) e no Plano Nacional de Adaptação em Zonas Costeiras (PNA/MMA, 2016). Para cada setor, de acordo com a vulnerabilidade foram propostas medidas de adaptação e contenção.

De acordo com a teoria geográfica dos sistemas (Bertrand, 1973) a paisagem é resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. Ab'Saber (2006) e Muehe (2005, 2006) afirmam que as paisagens costeiras se formam e se modificam a partir da interrelação dos agentes físicos e antrópicos. A classificação da vulnerabilidade em Salinópolis considerou a análise sistêmica entre os agentes geológico/geomorfológico e oceanográficos.

De acordo com Neves e Muehe (2008), os setores costeiros em estudo se caracterizam como os de maior susceptibilidade socioeconômica diante da ação do mar. Esta consideração foi reafirmada por Szlafsztein (2006), em estudo sobre as estratégias e medidas contra desastres naturais na zona costeira da Amazônia.

A constatação da elevada vulnerabilidade atual à ação energética do mar, em Salinópolis lança subsídios para a necessidade de melhoria das políticas públicas que considerem o equilíbrio dinâmico das diferentes paisagens e de mais pesquisas sobre os impactos que a ação energética do mar pode provocar na Zona Costeira Amazônica. Também se entende que a metodologia apresentada pode ser replicada noutros setores da costa amazônica.

REFERÊNCIAS

- Ab'sáber, A. (2000) - Fundamentos de Geomorfologia Costeira do Brasil atlântico inter e subtropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 1 (1): 27-43. DOI: DOI: 10.20502/rbg.v1i1.67
- Ab'sáber, A.N (2003) - Amazônia brasileira: um macrodomínio. In: Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo, pp. 65-82, *Ateliê Editorial*, SP, Brasil. ISBN: 85-780-099-6.
- Ab'sáber, A.N (2004) - Amazônia do discurso à práxis. 319p., *Edusp*, São Paulo. ISBN: 85-314-0091-0.
- Ab' Saber, A. N. (2006) - Brasil Paisagens de exceção, o litoral e o Pantanal Mato-Grossense: Patrimônios básicos. 182p., *Ateliê Editorial*, Cotia, SP, Brasil. ISBN: 978-85-7480-754-0.
- APRH/Glossary. (2007) - Associação Portuguesa de Recursos Hídricos. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/aguadomar.html>.
- Becker, B.K. (2004) - Amazônia: geopolítica na virada do terceiro milênio. 168p., *Garamond*, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN: 85-7617-042-6.
- Brasil. (2012) - Lei Federal nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre alterações no Código Florestal. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm
- Brasil. (1973) - Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto Radam*. Folha SA 23 São Luís e parte da Folha SA 24 Fortaleza: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Usopotencial da terra. Rio de Janeiro, v. 3. <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=adebiblioteca=CPACebusca=autoria:%22PROJETO%20RADAMBASIL.%22>.
- Coelho, C. (2005) - Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. 405p., Dissertação de Doutorado, *Universidade de Aveiro*, Aveiro, Portugal. Disponível em <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/2405/1/2005001720.pdf>. 2005.
- Coelho, C.; Silva, R.; Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F. (2006) - Avaliação de Riscos. Modelos de Previsão da Evolução da Configuração Costeira. Recursos Hídricos e Ambiente 1^{as} Jornadas de Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, pp. 17-25. ISBN 978-989-95557-0-9.
- Cohab. (2000) Companhia de Habitação do Estado do Pará. Erolvamento de Salinópolis.
- Costa, J.; Borges, M.; Bemerguy, R.; Fernandes, J.; Costa Jr., P.; Costa, M. (1993). A evolução cenozoica da região de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará, *Geociências* 12 (2), São Paulo, Brasil. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=614>.
- Costa, J.B.S.; Bemerguy, R.L.; Hasui, Y.; Borges, M.S.; Ferreira Júnior, C.R.P.; Bezerra, P.E.L.; Costa, M.L.; Fernandes, J.M.G. (1996) - Neotectônica da região Amazônica: aspectos Tectônicos, Geomorfológicos E Depositionais. *Geonomos*, 4 (2): 23-44. DOI: 10.18285/geonomos.v4i2.199.
- Cprm. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (s/d) Serviço Geológico do Brasil. Cartas Geológica do Brasil ao milionésimo. <http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Carta-Geologica-do-Brasil-ao-Milionesimo-298.html>.
- Cutter, S. A. (2011) - Ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista crítica de Ciências Sociais*, 93: 59-69. DOI: 10.4000/rccs.165.
- DHN. Diretoria de Hidrografia Nacional. Tabua de Marés de Salinópolis dos anos de 2005 a 2016 (s/d). *Marinha do Brasil*. <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/index.htm>.
- DHN. Diretoria de Hidrografia Nacional. (2017) - Carta Náutica 32 de Salinópolis ao Canal do Espadarte. www.marinha.mil.br/dhn/.
- El-Robrini, M.; Silva, M. A. M. A.; Souza Filho, P. W. M.; Silva Júnior, O. G.; França, C. F. (2006) - Erosão e progradação no Pará. In: Muehe, D (org.), *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, Brasil. ISBN 85-7738-028-9. <http://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/80-gestao-costeira-g-erosao-e-progradacao.html>.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. (2016) - <https://www.cnpm.embrapa.br/Projetos/Relevobr/Download/Pa/Pa.Htm>.
- Ekström, M.; Grose, M.; Heady, C.; Turner, S.; Teng, J. (2016) - The method of producing climate change datasets impacts the resulting policy guidance and chance of mal-adaptation. *Climate Services* 4: 13–29. DOI: 10.1016/j.cliserv.2016.09.003

- Fernandes, E.H.L.; Junior, O.O.M.; Cuchiara, D.P. (2015) - Ondas. In: Castello, J.P e Krug, L.C (org.), Introdução às ciências do mar, Pelotas, pp. 196-225, Ed. Textos, RS, Brasil. ISBN: 978-85-68539-00-2. https://www.researchgate.net/publication/295546141_Introducao_as_Ciencias_do_Mar/download
- França, C. F., Souza Filho, P. W. M. (2003) - Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de marajó (pa) em imagem landsat. *Revista Brasileira de Geociências* (ISSN: 0375-7536), 33, 127-136, São Paulo, Brasil. <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9877>
- Góes, A.M., Rossetti, D.F., Nogueira, A.C.R., Toledo, P.M. (1990) - Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* (ISSN 1981-8122), Série Ciências da Terra, 2, 3-15, Belém, PA, Brasil. <https://biblat.unam.mx/pt/revista/boletim-do-museu-paraense-emilio-goeldi-serie-ciencias-da-terra/2>
- Germani, Y.F.; Figueiredo, S.A.; Calliari, L.J.; Tagliani, C.R.A. (2015) - 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* 15(1):121-131. DOI:10.5894/rgci540
- Gonçalves, C. W. (2008) - Amazônia, amazônias. 178p., *Contexto*, São Paulo, Brasil. ISBN-13: 978-8572441667.
- Gornitz, V. (1990) - Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Global and Planetary Change Section/Elsevier Science), 379-398. DOI: 10.1016/0031-0182(91)90173-O.
- Goosse, H. Barriat, P.Y.; Lefebvre, W.; Loutre, M.; Zunz, V. (2010) - Introduction to climate dynamics and climate modeling, *Université catholique de Louvain*, Louvain-la-Neuve Belgium. <http://www.climate.be/textbook>.
- Gutierrez, B, Plant, N., Pendleton, E.; Thieler, E. (2014) - Using a Bayesian Network to predict shore-line change vulnerability to sea-level rise for the coasts of the United States. *U.S. Geological Survey*, Reston, Virginia, USA. <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20141083>
- ICLEI. Governos Locais pela Sustentabilidade. (2015) - Adaptação baseada em Ecossistemas: Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. 82p., *ICLEI/Boticário*, Curitiba, PR, Brasil. 2ª ed. <http://goo.gl/zpAg8H>.
- ICLEI; Programa Cidades Sustentáveis. (2016) - Guia de Acción Local por el Clima. 47p., *ICLEI*, São Paulo, SP, Brasil. ISBN 978-85-99093-30-6
- Júnior, W. R. N. (2016) - Análise da dinâmica das áreas de manguezal no litoral norte do Brasil a partir de dados multisensores e hidrossedimentológicos. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, PA, Brasil. Unpublished.
- Lima, M.; Coelho. C. (2017) - O modelo de evolução da linha de costa LTC: pressupostos, evolução, validação e aplicação. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 17(1): 5-17. DOI:10.5894/rgci-n44
- Melo, P.A. (2008) - Apropriação da natureza e sensibilidade ambiental de paisagens costeiras: proposições para a gestão ambiental da urbana de Salinópolis-PA. Belém, 96p. Dissertação de Mestrado, IFCH, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. Unpublished.
- Mendes, A.C. Silva, M.S; Santos, V.F. (2013) - Análise do meio físico para gestão ambiental das ilhas de Algodual e Atalaia (NE do Pará). In: Pros, M.T.; Mendes, A.C. (org.), *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*, pp. 103-111, *Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém, PA, Brasil. ISBN: 978-85-61377-66-3. <https://www.museu-goeldi.br/assuntos/publicacao/catalogo-de-publicacoes/ecossistemas-costeiros-impactos-e-gestao-ambiental>
- Miguens, A.P. (1996) - Navegação: a ciência e a arte. v. 1 – Navegação Costeira, estimada e em Águas Restritas. 538p., *Diretoria de Hidrografia e Navegação*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/npublicacoes>
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. (2008) - Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil, *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, Brasil ISBN 978-85-7738-112-8. <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/7562?Itemid=866>
- Muehe, D. (2003) - O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: Guerra, A.; Cunha, S. (Org.), *Geomorfologia do Brasil*, pp.273-349, *Bertrand Brasil*, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN: 8528606708. <https://www.saraiva.com.br/geomorfologia-do-brasil-419925.html>
- Muehe, D. (2005) - Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator* (ISSN: 1984-2201), 4/7: 97-110, Fortaleza, CE, Brasil. <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/113>
- Muehe, D. (2006) - Erosão e progradação no litoral brasileiro. 476p., *Ministério Meio Ambiente*, Brasília, Brasil. : 2006. 476 p. ISBN 85-7738-028-9.
- Muehe, D., Nicolodi, J. (2008) - Geomorfologia. In: MMA (Org), *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, pp.23-40, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília, Brasil. ISBN 978-85-7738-112-8.
- Muehe, D.; Rosman, P. A. (2011). Orla costeira da região metropolitana do Rio de Janeiro: impactos das mudanças climáticas sobre o meio físico. In: Megacidades, vulnerabilidades e mudanças climáticas: região metropolitana do Rio de Janeiro. *CST/INPE e NEPO/UNICAMP*. https://www.researchgate.net/publication/264383509_Vulnerabilidades_das_megacidades_basileiras_as_mudancas_climaticas_Regiao_Metropolitana_de_Sao_Paulo_-Relatorio_Final.
- Musa, Z. N.; Popescu, I.; Mynett, A. (2016) - Assessing the sustainability of local resilience practices against sea level rise impacts on the lower Niger delta. *Oceane Coastal Management*, 130 (221-228). DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2016.06.016
- Neto, M. (1976). O dilema da Amazônia. 232p., *Vozes*, Petrópoli, RJ, Brasil.
- Neves, C.F.; D. Muhe. (2008) - Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças do clima: a zona costeira, In: *Mudanças do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação*. *CGEE/Parcerias Estratégicas* (ISSN: 2176-9729), 13 (27): 217-296. http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/325
- Nicholls, R.; Hanson, S.; Lowe, J.; Warrick, R.; Lu, X.; Long, A. (2013) - Sea-level scenarios for evaluating coastal impacts. *WIREs Clim Change*, 5: 129–150. DOI: 10.1002/wcc.253
- Odeku, K.O. (2004) - Climate change: strengthening mitigation and adaptation in south africa, *University of Fort Hare*, 54 (2): 159-183. DOI: org/stable/41149808
- Pereira, C; Coelho C. (2013a). Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar (Coastal Risk Maps DuettoWavesAction). *Revista da Gestão Costeira Integrada* 13(1): 27-43. DOI:10.5894/rgci325

- Pereira, C. e Coelho, C. (2013b). Mapping Erosion Risk Map under different Scenarios of Climate Change for Aveiro Coast, Portugal. *Natural Hazards, Springer*; DOI: 10.1007/s11069-013-0748-1.
- PNA/MMA. (2016) Zonas costeiras. In: Ministério do Meio Ambiente, O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, pp. 237-262, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil. ISBN: 978-85-7738-273-6. <http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>
- Prost, M. T.; Mendes, A. C.; Faure, J. F.; Berrêdo, J. F.; Sales, M. E. C.; Furtado, L. G.; Silva, M. G. S.; Silva, C. A.; Nascimento, I.; Gorayeb, I.; Secco, M. F. V. E Luz, L. M. (2013) – Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental. (Prost, M. T. e Mendes, A. Orgs.), *Museu Paraense Emílio Goeldi* (ISSN: 978-85-61377-66-3): 75-87, Belém, PA, Brasil. <https://www.museu-goeldi.br/assuntos/publicacao/catalogo-de-publicacoes/ecossistemas-costeiros-impactos-e-gestao-ambiental>
- Ranieri, L.; El-Robrini, M. (2015) - Evolução da linha de costa de Salinópolis, nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, 42 (3): 207-226. DOI: [org/10.22456/1807-9806.78121](https://doi.org/10.22456/1807-9806.78121)
- Ranieri, L. A.; El-Robrini, M. (2016) - Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina – Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 16 (2): 133-146. DOI: [org/10.5894/rgci565](https://doi.org/10.5894/rgci565)
- Reis, M.C; Mendes, A.C. (2001) - Análise crítica do plano de urbanização da orla do maçarico (Salinópolis). *Traços* (ISSN: 1516-0025), 4, (7): 17-21, Belém, PA, Brasil.
- Ribon, H. C., Souza, I. C. M., Silva, I. M., Pfeiff G. K. (2017) - Turismo como potencial para promoção do desenvolvimento local sustentável no Atalaia, em Salinópolis/PA. *Revista Grifos*, 43: 96-132. DOI: [http://dx.doi.org/10.22295/grifos.v26i43](https://dx.doi.org/10.22295/grifos.v26i43)
- Rossetti, D.; Truckenbrodt, W.; Góes, A. (1989) - 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)* (ISSN:), 1 (1): 25-74. <http://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/623>
- Rossetti, D. (2000) - Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wavedominated estuary (Miocene), São Luís Basin, northern Brazil. *Sedimentary Geology*, 133(3-4): 295-324. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00046-4](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00046-4)
- Rossetti, D. (2006) - Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e maranhão. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)* (ISSN: 2316-9595), 6(4), São José dos Campos, SP, Brasil. <http://www.revistas.usp.br/gusp/article/view/27420/29192>
- SEMMA. Secretaria Municipal de Meio de Ambiente de Salinópolis. Salinópolis, 2015.
- Sioli, H. (1985) - Amazônia: fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais. *Vozes*, Petrópolis, RJ, Brasil. 72p.
- Souza, C.R., 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., Suguui, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E. (Orgs), Quaternário do Brasil, pp. 130-152, *ABEQUA/Holos*, São Paulo, Brasil. ISBN: 85-86699-47-0. <https://holoseditora.websiteseuro.com/index.php?area=produtoeprodid=58ecat=36>
- Souza, C.R. (2009) - A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 9(1):17-37. DOI: 10.5894/rgci147
- Souza Filho, P. (2005) - Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica* 23 (4): 427- 435. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2005000400006>
- Souza, D.L. (2014) - Urbanização Turística, Políticas Públicas e Desenvolvimento: O Caso e Salinópolis/PA, *Geografia em Questão* (ISSN: 21750234), 7(1): 65-86. <http://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/9443>
- Stemberg, H. (2012) - Reflexões sobre o desenvolvimento e o futuro da Amazônia. In: Ribeiro, H (Org.), *Estudos Amazônicos: dinâmica natural e impactos socioambientais*, pp. 35-52, *Edusp*, São Paulo, Brasil. ISBN: 9788531412578
- Szlafsztein, C. (2006) - Metodologia de análise e mapeamento da vulnerabilidade na Amazônia. In Chang M.; Goés, K.; Fernandes, L.; Freitas, M.; Rosa, L (Orgs.), *Metodologias de estudo de vulnerabilidade à mudança do clima*. Pp. 107-126, *Interciência*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 9788571933620 <https://www.editorainterciencia.com.br/index.asp?pg=prodDetalhado.aspeidprod=353etoken=>
- Szlafsztein, C.; Sterr, H; Lara, R. (2006) - Estratégias e medidas de proteção contra desastres naturais na zona costeira da região amazônica, Brasil. *Terra Livre* (ISSN: 0102-8030), 1(26): 109-125, Goiânia, GO, Brasil. <http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/view/210/194>
- Szlafsztein, C.; Marques, O.; Maia, H.; Prette, M.; Fischenich, P.; Altieri, F. (2010) Referências Metodológicas para mapeamento de Riscos Naturais na Amazônia: Mapeando as vulnerabilidades. Brasília, *Ministério do Meio Ambiente/GTZ*. 60 p.
- Tagliani, C.; Conterato, M.; Antiquiera, J.; Calliari, L.; Tagliani, P.; Soares, M. (2006) - Construção de um modelo digital de elevação digital de terreno para Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com uso de DGPS e rotinas de geoprocessamento. *Gravel* (ISSN: 1678-5975), 4: 89-98, Porto Alegre, RS, Brasil. <http://www.ufrgs.br/gravel/portugues/publica.htm>
- Valeriano, M.; Rossetti, D. (2008) - Topographic modeling of Marajó island with srtm data. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 9 (1): 53-64. DOI: [org/10.20502/rbg.v9i1.101](https://doi.org/10.20502/rbg.v9i1.101)
- Williams, S.J.; B.T. Gutierrez.; J.G. Titus.; K.E. Anderson.; S.K. Gill.; D.R. Cahoon.; E.R. Thieler.; D.B. Gesch. (2009). Implications of sea-level rise to the nation. In: K.E. Anderson.; D.R. Cahoon.; D.B. Gesch.; S.K. Gill.; B.T. Gutierrez.; E.R. Thieler.; S.J. Williams (orgs.), *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*, pp. 179-184, *U.S. Environmental Protection Agency*, Washington, E.U.A. https://www.researchgate.net/publication/272293967_Coastal_Sensitivity_to_Sea-Level_Rise_A_Focus_on_the_Mid-Atlantic_Region

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal
Zone Management

