

• REVISTA DE
**GESTÃO COSTEIRA
INTEGRADA**

Journal of Integrated Coastal Zone Management

VOL. **18**(2): Setembro **2018**
September

<http://www.aprh.pt/rgci/>

GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA

Journal of Integrated Coastal Zone Management



Journal of Integrated Coastal Zone Management *Revista de Gestão Costeira Integrada*

**Volume 18, Issue 2
September 2018**

Editorial Board

Francisco Taveira Pinto

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

André Fortunato
Associate Editor
<afortunato@lnec.pt>

Marcus Pollete
Associate Editor
<mpollete13@gmail.com>

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

RGCI/JICZM (ISSN: 1646-8972) is published quarterly
by an editorial pool composed by APRH, CIMA, UNIVALI, UFRN, FEUP/PORTO 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 Itajaí, Rua Uruguai, 458 - Centro, Itajaí, 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, nº 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

Formatting and pagination

André Cardoso (APRH)

web page

André Cardoso (APRH)

SciELO DTD markup

André Cardoso (APRH)

Cover design

Flatland Design

ISSN: 1646-8872

GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA

Journal of Integrated Coastal Zone Management

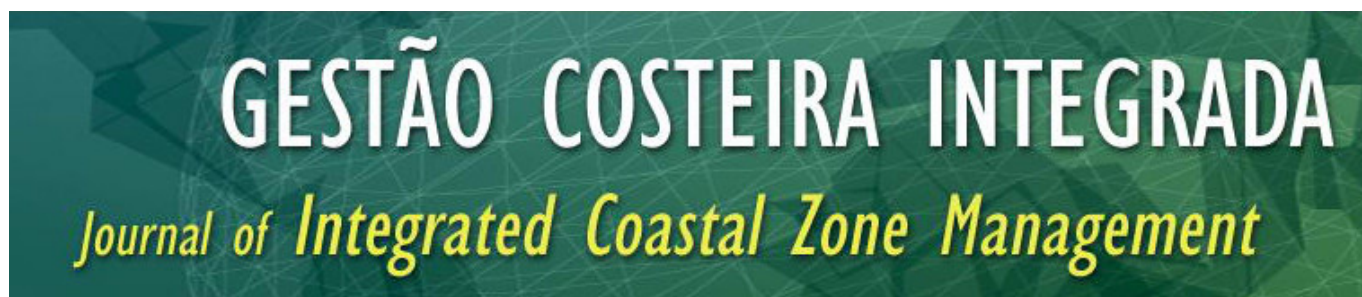
Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista da Gestão Costeira Integrada

18(2) – September 2018

Table of Contents

Articles

Milena Marília Nogueira de Andrade Pedro Walfir Martins e Souza-Filho Claudio Fabian Szlafsztein	73-84	Sensibilidade Ambiental a Derramamento de Óleo e Mapeamento de Unidades de Paisagem na Região Portuária do Maranhão
Flavia Moraes Lins-de-Barros Leonardo Klumb-Oliveira Rafael de França Lima	85-102	Avaliação histórica da ocorrência de ressacas marinhas e danos associados entre os anos de 1979 e 2013 no litoral do estado do Rio de Janeiro (Brasil)
Carlos Henrique Rocha Gladston Luiz Silva Lucijane Monteiro de Abreu	103-109	Analysis of the evolution of Brazilian ports' environmental performances
Lúis Rebêlo Sílvia Nave	111-133	Evolução recente da baía do Portinho da Arrábida: Contributos da geologia para uma correta gestão ambiental



Sensibilidade Ambiental a Derramamento de Óleo e Mapeamento de Unidades de Paisagem na Região Portuária do Maranhão

Environmental Sensitivity to oil spill and Landscape Units mapping in the Maranhão Port region

Milena Marília Nogueira de Andrade¹, Pedro Walfir Martins e Souza-Filho²,
Claudio Fabian Szlafsztain³

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia. Email: milenamarilia.andrade@gmail.com

² Universidade Federal do Pará, Instituto Tecnológico Vale. Email: pedropwm@gmail.com

³ Universidade Federal do Pará. Email: iosele@ufpa.br

RESUMO: Os diversos casos de derramamento de óleo ocorridos no mundo incentivaram os órgãos e as entidades envolvidos a aperfeiçoarem os métodos, tanto preventivos como corretivos. O mapeamento da sensibilidade ambiental deve ser realizado para a minimização dos danos gerados pelo impacto ambiental potencial. Desse modo, o objetivo deste trabalho é aplicar o Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA), a partir do mapeamento das unidades de paisagem. As unidades de paisagem (17 no total) foram identificadas com recurso de interpretação visual de imagens de alta resolução Ikonos, trabalho de campo e inserção dos dados em um Sistema de Informação Geográfica. Posteriormente foi aplicado o ISA, representado numericamente de 1 a 10, em escala operacional. A área de estudo corresponde à região portuária de Itaqui na ilha de São Luís, Maranhão, onde há um intenso fluxo portuário e iminente ameaça de derramamento de óleo. Os resultados apontam para a presença de índices de alta a baixa sensibilidade ambiental nos seguintes ambientes: manguezal (ISA 10D), planície de maré lamosa (ISA 9A), escarpas protegidas em leitos sedimentares (paleofalésias) (ISA 8A), planície arenosa e bancos arenosos/lamosos (ISA 7), escarpas expostas com declives íngremes em areia (ISA 3B), praia com granulometria fina a média (ISA 3A), plataforma de abrasão (ISA 1C), e estruturas artificiais (ISA 1B).

Palavras-chave: Derramamento de óleo, Geomorfologia, Risco Ambiental, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT: Several cases of oil spills in the world have encouraged the agencies and entities to improve methods, both preventive and corrective. In order to minimize the damage generated by the potential environmental impact, the environmental sensitivity mapping must be performed. Thus, the objective of this work is to apply the Environmental Sensitivity Index (ESI), from the mapping of the landscape units. The landscape units (17 in total) were identified by visual interpretation of Ikonos high-resolution images, fieldwork and a Geographic Information System. Subsequently, the ESI was applied, numerically represented by 1 to 10, on an operational scale. The corresponding study area is the port region of Itaqui on the island of São Luís, Maranhão, where there is an intense port traffic and an imminent threat of oil spills. The results point to the presence of high to low environmental sensitivity indices in the following environments: mangroves (ISA 10D), low banks and tidal flats (ISA 9A), sheltered scarps in bedrock (Paleo-cliff) (ISA 8A), exposed sand tidal flats (ISA 7), scarps and steep slopes in sand (ISA 3B), fine to medium grained sand beaches (ISA 3A), exposed rocky cliffs with boulder talus base (ISA 1C), exposed, solid man-made structures (ISA 1B).

Keywords: Oil Spill, Geomorphology, Environmental Risk, Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

O mapeamento da sensibilidade ambiental é um instrumento de planejamento fundamental em situações de execução de medidas de contingência ao derramamento de óleo e derivados. Nas últimas décadas, os avanços em modelagem da trajetória do óleo na superfície da água e o uso extensivo de sensoriamento remoto para identificação de recursos, tem auxiliado na prevenção e minimização dos impactos ambientais (Kankara e Prabhu, 2016; Santos e Andrade, 2009; Vethamony *et al.*, 2007). Os impactos são prognosticados a partir da identificação dos ambientes costeiros, das ameaças portuárias e do reconhecimento dos recursos socioeconômicos existentes na área (MMA, 2004). Estes recursos são melhores visualizados a partir de imagens de alta resolução radiométrica (Andrade *et al.*, 2009) que possibilita a visualização e identificação de alvos em locais de alta ou baixa frequência radiométrica (Hese e Schmulius, 2009).

As cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento do óleo (Cartas SAO) no Brasil remontam à década de 90 quando foi divulgado o primeiro mapa de sensibilidade produzido pela Petrobrás (Martins *et al.* 2013). Em 1996 se iniciou um processo de padronização dos produtos cartográficos, nos moldes da metodologia NOAA, a partir de um documento de referência nacional (MMA, 2004; Araújo *et al.*, 2006). Desse modo, o mapeamento da sensibilidade ao óleo é composto por informações do meio físico, biótico e socioeconômico (Jensen *et al.*, 1993).

Durante a década de 2000 o Projeto Piatam Mar foi responsável pela geração de conhecimento relacionado com os ambientes costeiros da zona costeira amazônica com uso extensivo de sensoriamento remoto e geoprocessamento (Souza Filho *et al.*, 2009a). O uso de sensores de média resolução espacial e de radar permitiu o reconhecimento de diversos ambientes

estuarinos (Cardoso *et al.*, 2014; Rodrigues e Souza-Filho, 2011a), a identificação de mudanças na extensa faixa de manguezais (Nascimento *et al.*, 2013), a delimitação geomorfológica da zona costeira amazônica (Teixeira e Souza-Filho, 2009), e a aplicação dos Índices de Sensibilidade Ambiental (ISA) (Rodrigues e Souza-Filho, 2012; Boulhosa e Souza-Filho, 2009; Souza-Filho *et al.*, 2009a; 2009b; 2009c).

O ISA apresenta particularidades para a região costeira amazônica justificadas pela existência neste bioma de relações hidrodinâmicas estuarinas complexas por conta da dimensão dos processos fluviais e marinhos da bacia do rio Amazonas (Souza-Filho *et al.*, 2009c). Além disso, as características geomorfológicas dos ambientes costeiros de clima tropical úmido dominados por macromaré possuem peculiaridades tais como: a formação de extensas áreas baixas, devido à dinâmica da planície de macromaré; fortes modificações nos limites dos ambientes sedimentares costeiros em resposta às elevadas amplitudes e correntes de maré, com variações em torno de 6 m; e as rápidas e intensas modificações geomorfológicas (Boulhosa e Souza Filho, 2009).

O mapeamento da sensibilidade ambiental para a zona costeira amazônica foi realizado em escala estratégica (de abrangência regional/bacia marítima) e tática (de escala intermediária/todo o litoral da bacia) para a bacia marítima da foz do Amazonas e para a do Pará-Maranhão (IEPA, 2016; Rodrigues e Souza-Filho, 2011a; Rodrigues e Souza-Filho, 2011b; Boulhosa e Souza-Filho, 2009; Gonçalves e Souza-Filho, 2005, Souza Filho *et al.*, 2009b). A primeira refere-se a mapeamentos do litoral amapaense e a costa oeste do Pará, enquanto que a segunda se refere ao litoral do leste do Pará e Maranhão. Os mapeamentos em escala operacional foram realizados para as principais cidades portuárias de cada estado, Macapá no Amapá, Belém e Barcarena no Pará e São Luís no Maranhão (IPEA, 2016; MMA, 2016). Previamente,

a delimitação de ambientes já havia sido proposta em escala tática por Teixeira e Souza-Filho (2009) e Novaes *et al.*, (2007) que identificaram os ambientes sensíveis de manguezais inseridos na costa de manguezais de macromaré da Amazônia dentro do Golfão Maranhense. Este litoral está sujeito a um regime de macromarés semidiurnas, com amplitudes em torno de 4 m na Baía de Guajará, em Belém, e de 7,5 m na Baía de São Marcos (DHN, 2004).

Em São Luís há um complexo portuário de importância estratégica para o estado em termos de geração de receita, movimentação de cargas e pessoas (Cutrim *et al.*, 2015). A movimentação de cargas no Porto de Itaqui permanece acima de 11 milhões de toneladas desde 2001 e em 2017 foi superior a 17 milhões de toneladas (EMAP, 2018), enquanto que o Porto Ponta da Madeira é constituído por um terminal de uso privado propriedade da VALE S.A e que em 2014 foi o maior porto em volume embarcado do Brasil (ANTAQ, 2014).

Nas zonas próximas aos complexos portuários, os derramamentos de óleo e de derivados relacionados com as atividades de transporte, procedimentos de exploração, limpeza, e estocagem são um perigo potencial para as populações e biomas (Noernberg e Lana, 2002). Os maiores acidentes que ocorreram no Complexo Itaqui-Bacanga foram registrados em setembro de 2005 com derramamentos de óleo que impactaram, na sua totalidade, cerca de 5 km de praia da Ilha de São Luís (Lobo *et al.*, 2005). Desse modo, são necessários estudos detalhados para os locais na proximidade portuária com vulnerabilidade ambiental e social alta (Andrade *et al.*, 2010). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é mapear a sensibilidade ambiental na área portuária do Porto de Itaqui a partir do detalhamento das unidades de paisagem.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde ao setor oeste do município de São Luís, estado do Maranhão (Brasil), onde está localizado o complexo portuário com os terminais de Ponta da Madeira, da Vale, o terminal da Alumiar e os terminais de *Ferroa* da Ponta da Espera e do Cujupe, para travessia da Baía de São Marcos. Contextualmente localiza-se no Golfão Maranhense entre as Baías de São Marcos e São José (Figura 1).

A região insere-se no domínio geomorfológico dos tabuleiros costeiros sendo seccionados pelas reentrâncias formadas pelas baías e estuários (IBGE, 2011a). Os tabuleiros consistem em formas de relevo tabulares, planos e sustentados por rochas sedimentares do Grupo Barreira (Dantas *et al.*, 2013). Teixeira e Souza-Filho (2009) delimitaram os ambientes costeiros do Golfão Maranhense em quatro unidades morfológicas: planalto

costeiro, planície fluvial, planície estuarina e planície litorânea.

A planície costeira é marcada por estuários e reentrâncias com presença de vegetação de manguezal (Teixeira e Souza-Filho, 2009). As espécies correspondem a *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinaus*, sendo esta última encontrada entre as regiões hipersalinas de nível de maré alta e nível de maré alta de sizígia (Kjerfve e Lacerda, 1993). A dinâmica costeira é marcada por características da linha de costa com extensos rios, áreas de elevadas amplitudes de maré, elevada precipitação e correntes de marés máximas superiores a 4 m/s (Rebelo-Mochel, 1997).

O clima da área de estudo é do tipo Aw de acordo com a classificação Köppen. A pluviosidade média anual é de 1896 mm, estando o período chuvoso compreendido entre janeiro e junho (Alvares *et al.*, 2014). A temperatura média anual é de 26°C (INMET, 2018). As características antrópicas são marcadas por loteamentos que se iniciaram na década de 60. Transformações industriais e portuárias significativas ocorreram na década de 80 com a instalação dos grandes projetos e escoamento de produtos da mineração (ZCEMA, 2003).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram adquiridas duas imagens Ikonos com resolução espacial de 4 m e dimensão do mapeamento de 13 x 13 km cada uma, num período de baixa nebulosidade na região, em junho de 2007. Foi realizada uma correção geométrica a partir da aquisição de pontos de controle no terreno (*Ground Control Points* - GCPs) utilizando um Sistema de Posicionamento Global Diferencial (*Differential Global Position System* - DGPS) através de um acompanhamento cinemático em campo, no mesmo ano. O processamento dos pontos de controle do terreno foi realizado a partir de dados fornecidos pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) com um erro quadrático médio (RMS) em torno de 1 pixel (1m) (IBGE, 2011b). O sistema de referência utilizado foi a projeção Universal Transversa de Mercator e o datum horizontal WGS 84 no fuso 23. Adicionalmente, para melhor eficiência na visualização da imagem, foi aplicado um realce para o aumento do contraste por uma transformação linear.

Em seguida foi feito um mosaico com as imagens adjacentes e uma composição nos canais de cor 3R2G1B. A fotointerpretação contou com uma classificação manual das unidades de paisagem no ArcGis 9.2 nas dependências do Laboratório de Análises do Trópico Úmido. Os critérios da fotointerpretação incluíram análise de padrão, tonalidade, cor, textura, forma e tamanho (Moreira, 2001) para um mapeamento

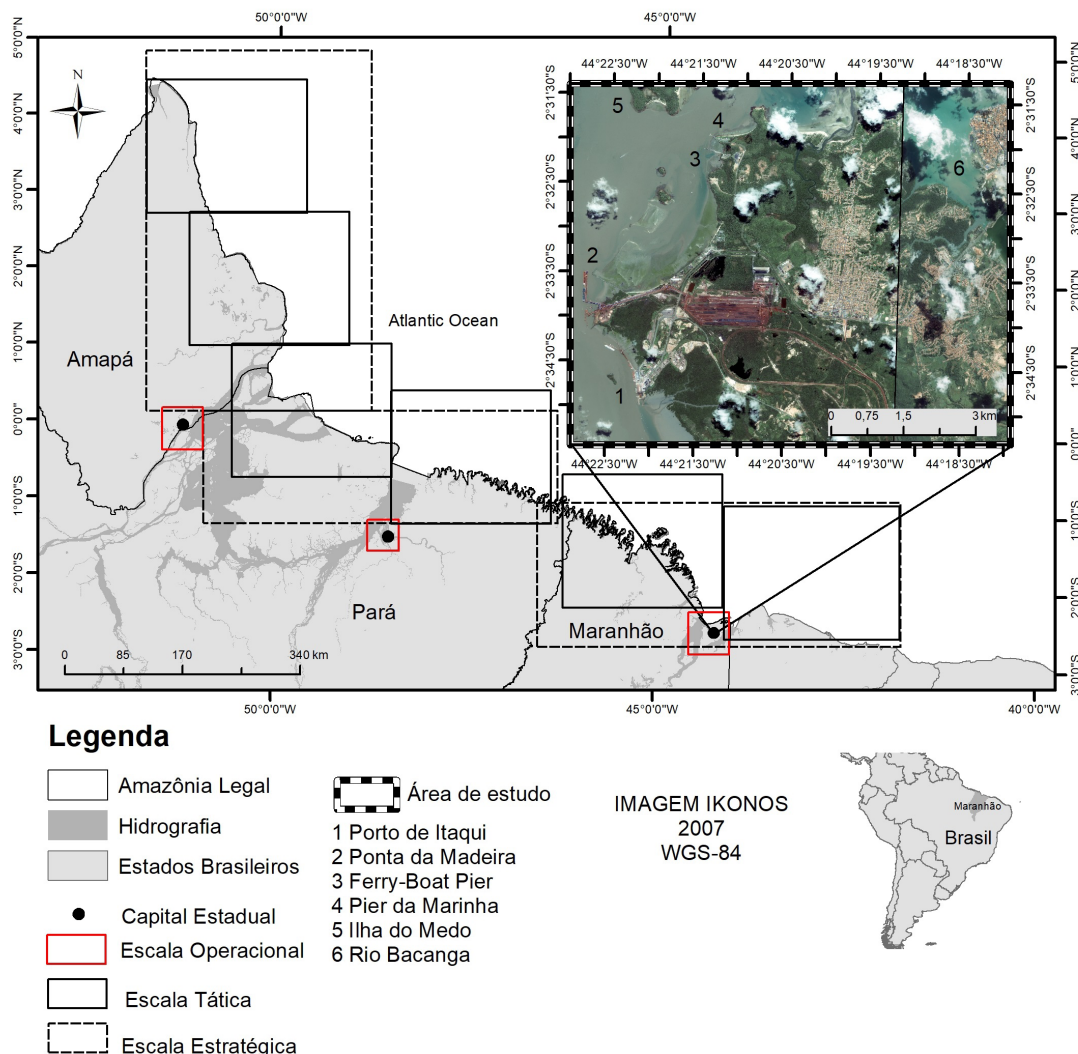


Figura 1 - Localização da área de estudo com demarcação esquemática das escalas estratégica, tática e operacional.

Figure 1 - Location map with schematic delimitation of strategic, tactic and operational scale.

preliminar. As informações visuais obtidas a partir das assinaturas espectrais permitiram a individualização e posterior reconhecimento das unidades de paisagem (Jensen *et al.*, 1993).

Estudos anteriores dos ambientes costeiros elaborados por Teixeira e Souza-Filho (2009) e Andrade *et al.*, (2010), juntamente com dados topográficos de cartas planialtimétricas na escala de 1:10.000 disponibilizadas pela Diretoria de Serviços Geográficos do governo do Maranhão foram utilizados para a delimitação das unidades de paisagem da área de estudo.

O reconhecimento da morfologia dos ambientes previamente mapeados na classificação das imagens foi realizado durante um trabalho de campo. Na ocasião foram coletados pontos de localização das unidades de paisagem através do GPS (*Global Positioning System*) modelo GARMIN e realizado um registro fotográfico.

A construção do mapa de sensibilidade ambiental baseou-se nas unidades de paisagem. Estas foram classificadas a partir do ISA que classifica os diversos tipos de segmentos litorâneos em uma escala que varia de 1 a 10, sendo o índice tanto mais alto quanto maior a sensibilidade (MMA, 2004). Este índice é baseado nos seguintes fatores: grau de exposição à energia de ondas e marés; declividade do litoral e tipo do substrato. Para a região amazônica o índice passou por adaptações de acordo com Souza-Filho *et al.*, (2009c).

Os mapas finais foram construídos com a utilização de geoprocessamento a partir da vetorização das unidades de paisagem em polígonos. Para cada polígono foi atribuído uma descrição e um valor de ISA. No final a representação cartográfica foi realizada à escala de 1:10.000.

4. RESULTADOS

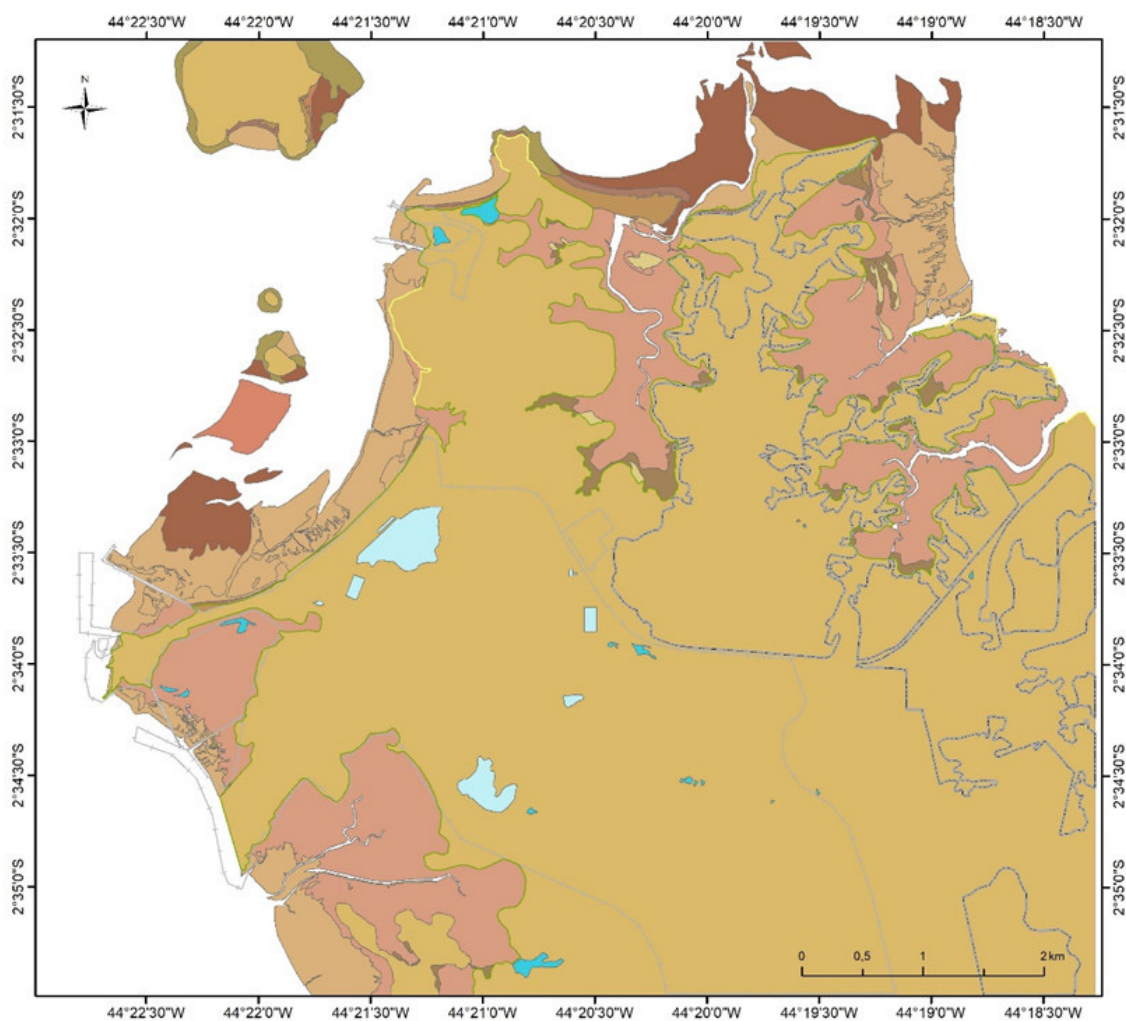
4.1 Reconhecimento e mapeamento das unidades de paisagem

A área de estudo apresenta fatores naturais e antrópicos que interagem para a formação da paisagem atual. Foram identificadas 17 unidades de paisagem divididas em quatro domínios: planalto costeiro, planície estuarina, planície litorânea, e sistema antropogênico (Figura 2).

Planalto costeiro

O planalto costeiro apresenta-se como uma superfície suavemente ondulada e fortemente dissecada, com limites abruptos. Esta unidade é recoberta por vegetação, na qual são abundantes as palmeiras e vegetação de porte arbóreo. São identificadas 4 unidades de paisagem nesse domínio: falésias, lagos intermitentes, tabuleiro costeiro e plataforma de abrasão.

A falésia divide-se numa falésia ativa e inativa. A linha de



Legenda

Planalto Costeiro

- Falésia Ativa
- Falésia Inativa
- Lago Intermitente
- Plataforma de Abrasão
- Tabuleiro Costeiro

Planície Litorânea

- Duna Frontal
- Duna Vegetada
- Paleoduna
- Praia

Planície Estuarina

- Bancos Arenosos/Lamosos
- Manguezal
- Planície Supramaré
- Planície de Maré Arenosa
- Planície de Maré Lamosa

Sistema Antropogênico

- Área Residencial
- Distrito Industrial
- Lago Artificial

Figura 2 - Mapa de unidades de paisagem da área de estudo.

Figure 2 - Landscape units map of the study area.

falésia ativa ocorre no contato direto do tabuleiro costeiro com a baía de São Marcos e o Rio Bacanga, estando a sua origem relacionada com a ação das ondas e das correntes de maré. Corresponde aproximadamente a cota de 5 m, com extensão de aproximadamente 3,4 km ao longo do litoral e apresenta na sua base depósitos de talude que formam as plataformas de abrasão com material rochoso laterítico. A linha de falésia inativa está em contato com os manguezais e as planícies de supramaré. São antigas falésias esculpidas pela ação das ondas e das correntes de maré, que atualmente se encontram inativas e a uma distância de cerca de 1 km do litoral.

Os lagos intermitentes situam-se entre os manguezais e a planície litorânea, e a sua característica principal é apresentar água apenas no período chuvoso. O tabuleiro costeiro é sustentado por sedimentos do Grupo Barreiras e Formação Itapecuru (CPRM, 2004). Na parte central encontram-se as áreas mais altas, com 45 m de altitude, enquanto que em direção ao estuário as cotas baixam até nos 10 m.

A plataforma de abrasão corresponde à rocha exposta em forma de lateritas erodidas do Grupo Barreiras, dispersas sobre depósitos arenosos e lamosos, que apresentam um declive inferior a 30°. Esta plataforma está frequentemente exposta a ondas de um ou mais metros de altura e/ou a fortes correntes de maré. Situam-se a norte e a noroeste, bordejando todas as ilhas.

Planície Estuarina

Esta unidade morfológica é limitada pelo planalto costeiro na porção mais próxima e é constituída pelos corpos de água e pelas unidades formadas por processos estuarinos dominados pela maré. As unidades de paisagem identificadas nesse domínio foram: bancos arenosos/lamosos, manguezal, planície de maré arenosa, planície de maré lamosa e planície de supramaré arenosa.

Os bancos arenosos/lamosos ocorrem a oeste e a norte da área e correspondem a sedimentos de fundo da baía de São Marcos com granulometria típica de areia e silte, que formam extensas planícies ou bancos na maré baixa com mega-ondulações. Esta unidade é correlacionável com a unidade descrita por Teixeira e Souza-Filho (2009).

Os manguezais ocorrem a cotas inferiores a 5 m, são a unidade de paisagem mais expressiva da planície estuarina e estão dispostos nas direções N-S, W-E e NNE-SSW. Este ambiente é caracterizado por sedimentos lamosos colonizados por uma cobertura vegetal específica em que há o predomínio de espécies de *Rhizophora sp.* e *Avicenia sp.*, com árvores de até 30 m de altura em média (Teixeira e Souza-Filho, 2009).

A planície de maré arenosa ocorre no limite norte da área e caracteriza-se pela deposição de sedimentos arenosos,

e pelo reduzido declive (menor que 3°), apresentando mega-ondulações e marcas de onda. A planície de maré lamosa apresenta largura métrica à quilométrica, está abrigada da ação das ondas e possui substrato sub-horizontal lamoso (declive inferior a 3°). Ocasionalmente essa planície é colonizada por vegetação do tipo gramínea (*Spartina sp.*). A planície de supramaré arenosa ocorre entre os manguezais e o tabuleiro costeiro. Caracteriza-se por ser uma área atingida pelo nível de maré alta de sizígia, a acumulação de sal, e por ter a sua área alagada apenas nas marés de sizígia equinociais.

Planície Litorânea

Esta unidade é limitada pela planície estuarina e pelo planalto costeiro. Os processos eólicos foram predominantes para a formação das seguintes unidades: duna, paleoduna e praia.

As dunas podem ser frontais ou vegetadas. As dunas frontais são móveis e sofrem a influência do transporte eólico. Ocorrem numa área restrita à Ilha do Medo a norte da região de Itaquí-Bacanga e apresentam formas alongadas na direção NE-SW. As dunas vegetadas possuem formas alongadas na direção NE-SW e são colonizadas por vegetação arbustiva.

As paleodunas estão localizadas entre às áreas de manguezal e de tabuleiro costeiro, e possuem orientação NNW-SSE e W-E. São recobertas por vegetação arbustiva e estão localizadas a mais de 1 km do litoral atual. As praias apresentam forma retilínea e têm uma largura de cerca de um 1 km e possuem um declive de face praial suave (3 a 5°) e amplas zonas intermarés (~500 m). Os sedimentos são arenosos finos a muito finos, bem selecionados e geralmente compactos.

Sistema Antropogênico

O sistema antropogênico corresponde às intervenções humanas no meio natural e é constituído pelas áreas industriais e residenciais. A área industrial ocupa a área sudoeste e está implantada sobre o tabuleiro costeiro, na fronteira com as áreas de manguezal. Esta área corresponde ao Complexo da Empresa Vale, a Fábrica de Butano, ao Porto de Itaquí e a área do Ferry-Boat. Nesta unidade são observados lagos artificiais. As áreas residenciais ocorrem na região central e sudeste da área e apresenta loteamentos e vias de acesso. Cada unidade de paisagem descrita possui uma identificação visual de interpretação (Figura 3).

4.2 Mapeamento da sensibilidade ambiental

O mapa de sensibilidade ambiental possui unidades de paisagem de todos os domínios (Figura 4, Figura 5). As informações sobre os impactos e os métodos de limpeza

Unidade de Paisagem		Área (ha)	Descrição		Área (ha)	Descrição
Planalto Costeiro	Falésia	-	Faixa enegrecida que bodeja tabuleiro	Plataforma de abrasão	39	Coloração marrom, aspecto poroso
	Lagos Intermitentes	0,12	Coloração verde escura e marrom intercalados	Tabuleiro Costeiro	3401	Coloração marro-alaranjada, curvas de nível acima de 10m
Planície Estuarina	Bancos arenosos /lamosos	24	Coloração esverdeada esbranquiçada	Manguezal	682	Cor verde escuro e textura rugosa
	Planície de maré arenosa	222	Tonalidades de cinza claro a branco	Planície de maré lamosa	434	Coloração esverdeada e textura lisa
	Planície de supramaré arenosa	41	Coloração alaranjada, feições alongadas			
Planície Litorânea	Dunas	21	Cor branca, forma alongada uniforme, e textura lisa	Paleoduna	13	Cor branca, forma retilínea
	Praia	14	Cor branca, forma alongada e retilínea			
Sistema Antropogênico	Área Industrial	1300	Forma retilíneas, diversidade de cores	Área Residencial	1300	Forma geométrica, diversidade de cores

Figura 3 - Unidades de paisagem da área de estudo e respectivas imagens de interpretação.

Figure 3 - Landscape units of the study area and the respective images for interpretation.

para cada ISA foram descritas a partir das informações contidas em Petersen *et al.*, (2002) e MMA (2004).

Os manguezais (ISA 10D) são ambientes ricos em matéria orgânica, de baixa energia, com substrato plano, lamoso e com amplas zonas intermarés. Juntamente com a planície de maré lamosa (ISA 9A) formam um ambiente de remoção natural extremamente lento, em caso de derramamento de óleo e derivados, devido à sua baixa permeabilidade. Nos manguezais o tempo necessário para remoção se agrava devido aos baixos níveis de energia e de biodegradação pela condição anaeróbia do substrato. O óleo é transportado até a linha de maré alta e a operação de limpeza tende a introduzir o óleo nas camadas mais profundas, o que dificulta a limpeza. Os impactos na biota para esses ambientes, e os seguintes, caracterizam-se pela asfixia dos organismos bênticos.

As paleofalésias (ISA 8A) são escarpas protegidas em leitos sedimentares e formadas predominantemente

por rochas sedimentares permeáveis com um declive superior a 50°. A percolação do óleo ocorre apenas na base e caso haja presença de blocos de rocha, o material viscoso tende a permanecer no ambiente. A taxa de remoção natural é muito lenta e a limpeza é difícil, principalmente em função do acesso. Diferentemente, para a planície arenosa e os bancos arenosos/lamosos (ISA 7) a situação diante de um derramamento de óleo e derivados é de não percolação, tendendo os mesmos a serem transportados para a zona de alcance máximo da maré alta ou transportados ao longo da costa pelas correntes de maré. As atividades de limpeza tendem a transferir o óleo para camadas mais profundas através do pisoteio ou de outras ações.

As escarpas expostas com declives íngremes em areia (ISA 3 B) possuem substratos semipermeáveis e se formam ao longo dos cursos fluviais, de falésias e de praias estuarinas a partir da ação das ondas. Juntamente com as praias de granulometria fina a média (ISA 3A)

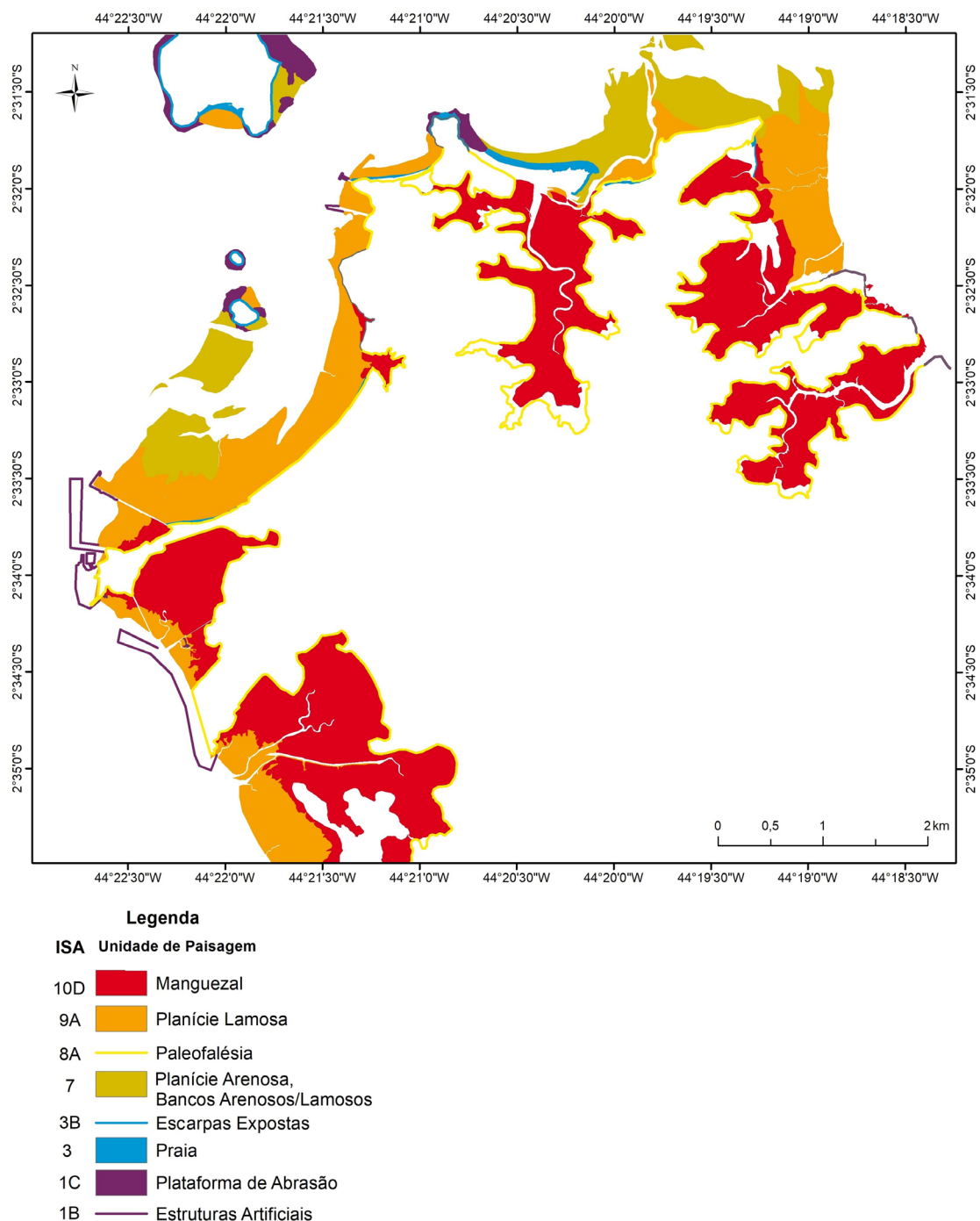


Figura 4 - Mapa de sensibilidade ambiental da área de estudo.

Figure 4 - Environmental sensitivity map of the study area.

formam um ambiente em que a penetração de óleo e derivados é pequena, inferior a 10 cm, devido à frequente ação das ondas e marés e a possibilidade de soterramento é mínima devido à lenta mobilidade da massa sedimentar. Geralmente a limpeza é necessária, sendo comumente possível o tráfego de veículos, respeitando o ciclo de marés e as eventuais restrições ambientais locais.

A plataforma de abrasão (ISA 1 C) e as estruturas artificiais (ISA 1B) possuem a superfície impermeável e

sem rugosidades, podendo apresentar uma fina cobertura de sedimentos mobilizáveis. Não há penetração de óleo e a ação de resposta ocorre com a remoção pela ação das ondas com uma altura superior a 1 m e/ou a fortes correntes de maré com tendência reflectiva. A ação de resposta tende a ser rápida e a ocorrer naturalmente. No caso de uso intensivo da faixa da maré alta para recreação ou proteção de espécies animais, a remoção de óleo é necessária.



Figura 5 - Fotografias das unidades de paisagem classificadas de acordo com o ISA (Milena Andrade e Pedro Walfir).

Figure 5 - Photos from the landscape units classified according to ESI (Milena Andrade and Pedro Walfir).

5. DISCUSSÃO

Os ambientes mais sensíveis a derramamento de óleo coincidem com as áreas nacionais prioritárias para a conservação da biodiversidade. Ao longo de toda a costa norte do Brasil existem quelônios, mamíferos e ainda grupos de aves que estão ameaçados de extinção (MMA, 2010). A zona costeira do Maranhão apresenta um regime de macro marés, enquanto no resto do Brasil predominam os regimes de meso e micromarés. Isso implica um litoral plano e extenso e com influência no volume de sedimentos lamosos depositados.

Essa hidrodinâmica associada com áreas planas possibilita o desenvolvimento de uma diversidade de ambientes na planície estuarina, dentre eles os deltas de maré vazante, os lagos intermitentes, os manguezais, os pântanos de água doce e salinos, e uma variedade de planícies de maré e de supramaré em função da sedimentação (Teixeira e Souza-Filho, 2009). O volume de sedimentação, as propriedades físico-químicas de regiões tropicais, e a quantidade de matéria orgânica

tem influência na formação de extensos manguezais (Hossain e Nuruddin, 2016). A composição florística na região da Baía de São Marcos varia de espécies de baixa a alta salinidade, tais como a *Rhizophora*, *Avicennia*, e a *Laguncularia*, além de uma diversidade de espécies de outros grupos (Gonçalves *et al.*, 2018).

Os estudos anteriores com sensores de média resolução espacial já apontavam para extensas áreas de manguezais nas proximidades da área portuária (Teixeira e Souza-Filho, 2009; Novaes *et al.*, 2007). Contudo, além das atividades industriais, os ambientes de maior sensibilidade ambiental são utilizados por populações locais de forma direta e indireta.

De acordo com Andrade *et al.* (2010), algumas das famílias que residem em áreas residenciais adjacentes aos manguezais possuem uma dependência quanto ao uso pesqueiro para subsistência familiar. Desse modo, as áreas de maior sensibilidade ambiental, caso venham a ser afetadas por um derramamento de óleo e derivados, possuem uma população de alta vulnerabilidade em

relação a dependência do recurso pesqueiro, baixa escolaridade e baixa renda. Além disso, o uso dos manguezais por essa população está relacionado com o desenvolvimento de atividades econômicas (Andrade et al., 2009). Ainda de acordo Andrade et al. (2010), a pesca ocorre na planície estuarina e nesta unidade a remoção do óleo seria difícil. Assim, os locais de maior prioridade de ação são as áreas de manguezais pela sua característica de sensibilidade ambiental, vulnerabilidade natural e relação com a vulnerabilidade socioeconômica. Contudo, apenas o mapeamento da sensibilidade ambiental não é suficiente. Assim, estudos de modelagem hidrodinâmica e de monitoramento dos ambientes sensíveis aos impactos tecnológicos e antropogênicos, devem dar suporte a melhores estratégias de conservação dos ambientes costeiros.

6. CONCLUSÕES

A metodologia de identificação das unidades de paisagem aplicada para geração do mapa de sensibilidade ambiental mostrou-se adequada. O trabalho de campo foi essencial para a verificação das unidades mapeadas. A utilização de dados de sensores remotos orbitais de alta resolução através da imagem Ikonos permitiu a produção do mapa de unidade da paisagem em detalhe, com maior rapidez, precisão e médio custo. Uma das limitações na utilização de imagens de sensores óticos é a necessidade de aquisição de imagens com uma cobertura de nuvem inferior a 25%. Assim, locais com alta nebulosidade, como a região Amazônica, dificultam a aquisição dessas imagens, principalmente no período chuvoso (Março a Junho). É importante ressaltar que devido à dinâmica da zona costeira, as imagens de alta resolução auxiliam no monitoramento de áreas com influência de sedimentação arenosa e lamosa que originam extensas planícies e bancos arenosos e lamosos.

Os produtos deste trabalho são de grande importância para decisores na hora de definir as áreas prioritárias para a conservação e para os planos e ações de resposta a derramamentos de óleo. No entanto, recomenda-se a realização de estudos do comportamento do óleo nos ambientais de maior sensibilidade ambiental para auxiliar na contenção e remoção de óleo derramado em ambientes de macromaré. Os manguezais possuem a maior sensibilidade ambiental e são áreas importantes para as populações extrativistas que usam os recursos naturais e vivem da subsistência deste ambiente de elevada importância econômica, ecológica e social.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo projeto PIATAM mar, com apoio da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras), do Conselho Nacional de

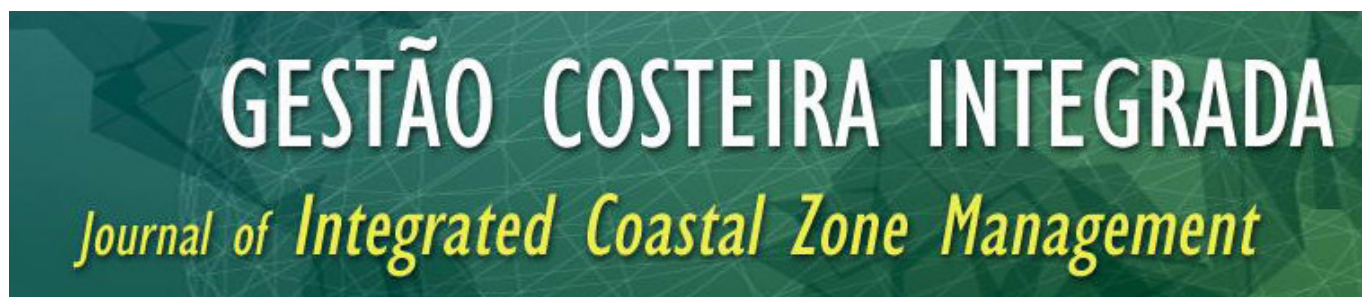
Desenvolvimento Científico e Tecnológico e do Projeto Rede 05 / Petromar /Petrorisco (CtPetro/FINEP/Petrobras/CNPq).

REFERÊNCIAS

- Alvares, C.A.; Stape, J.L., Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. (2014) - Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologisch Zeitschrift*, 22(6): 711-728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Andrade, M.M.N.de; Szlafsztein, C.F.; Souza-Filho, P.W.; Araújo, A.; Gomes, M. (2010) - A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: A case study using GIS and remote sensing. *Journal of Environmental Management*. 91, 1972-1980. DOI :10.1016/j.jenvman.2010.04.016
- Andrade, M.M.N.de; Souza-Filho, P.W.M.; Szlafsztein, C.F. (2009) - Imagens de alta resolução para reconhecimento da susceptibilidade dos recursos sócio-econômicos à ameaça de derrame de petróleo no Complexo Portuário Itaqui-Bacanga, Maranhão, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 9: 127-133. E-ISSN: 1646-8872
- ANTAQ Agência Nacional de Transportes Aquaviários (2014) - *Anuário de Transportes 2014*. <http://www.antaq.gov.br/anuario/>. Acessado em 12 de setembro de 2014.
- Araujo, S.I.; Silva, G.H.; Muehe, D.; Carvalho, M.T.M.; Menezes, P.M.L.; Alcântara, A.V.; Vargas, M.A.M.; Takahashi, L.T. (2006) - Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. 168p. Petrobrás, Rio de Janeiro.
- Boulhosa, M.B.M.; Souza Filho, P.W.M. (2009) - Reconhecimento e mapeamento de ambientes costeiros para geração de mapas de índice de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geofísica (Impresso)*, 27: 23-37. ISSN 0102-261X
- Cardoso, G.F.; Souza, C.; Souza-Filho, P.W.M. (2014) - Using spectral analysis of Landsat-5 TM images to map coastal wetlands in the Amazon River mouth, Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, 22: 79-92. DOI: 10.1007/s11273-013-9324-4
- Cutrim, S.S.; Robles, L.T.; Pereira, N.N. (2015) - *Tópicos estratégicos portuários*. 262p., EDUFMA, São Luís, Maranhão ISBN: 978-85-7862-473-6. Disponível online <http://www.ufma.br/portalUFMA/arquivo/NMzzkp157qtQfA7.pdf>
- CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2004) - *Carta geológica do Brasil ao milionésimo- Folha SA-23.1*. Disponível em formato CD-ROM. 2004
- Dantas, M.E.; Shinzato, E.; Bandeira, I.C.N.; Souza, L.V.; Renk J.F.C. (2013) -Compartimentação Geomorfológica. In: Bandeira, I.C.N. (Org), *Geodiversidade do Estado do Maranhão*. pp. 33-62, CPRM, Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral.
- EMAP Empresa Maranhense de Administração Portuária (2018) - *Dados sobre operações portuárias de movimentação de carga*. Governo do Maranhão. Disponível online <http://www.portodoitaqui.ma.gov.br/porto-do-itaqui/operacoes-portuarias/movimentacao-de-carga>
- Gonçalves, A. L.; Cruz, V. M. S. da.; Campos, J. R. dos P., Souza, D. V. (2018) - Composição florística e fitossociológica do manguezal da zona portuária de São Luís, Maranhão, Brasil, *BIOFIX Scientific Journal* 3(1): 01-07 2018.

- Gonçalves, F.; Souza-Filho, P.W. (2005) - Classificação de imagens Radarsat-1 e Landsat-7 para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na zona costeira amazônica. Anais do 3º Congresso Brasileiro de PeD em Petróleo e Gás, Salvador.
- Hese, S.; Schmulius, C. (2009) - High spatial resolution image object classification for terrestrial oil spill contamination mapping in West Siberia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11: 130–141. DOI: 10.1016/j.jag.2008.12.002
- Hossain, M.D.; Nuruddin, A.A., (2016) - Soil and Mangrove: A Review. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9: 198-207. DOI: 10.3923/jest.2016.198.207
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011a) - *Geomorfologia: mapa geomorfológico do estado do Maranhão*. Rio de Janeiro: IBGE.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011b) - *Análise dos Dados da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS – 2001 a 2005*. Rio de Janeiro: IBGE.
- INMET Instituto Nacional de Meteorologia (2018) - *Gráficos Climatológicos*. Disponível online <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>
- IEPA Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (2016) - *Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima da Foz do Amazonas* 106p., Valdenira F. dos Santos, Amílcar C. Mendes, Odete F. M. da Silveira (in memoriam) (coordenadores), Macapá, IEPA. ISBN 978-85-87794-29-1
- Jensen, J.R.; Murday, M.; Sexton, W.J.; Green, C.J. (1993) - Coastal environment sensitivity mapping for oil spills in the United Arab Emirates using remote sensing and GIS technology. *Geocarto International*, 2: 5-13. DOI: 10.1080/10106049309354404
- Kankara R.S.; S. Arockiaraj, P.K. (2016) - Environmental sensitivity mapping and risk assessment for oil spill along the Chennai Coast in India. *Marine Pollution Bulletin*, 106: 95–103. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.022
- Kjerfve B.; Lacerda LD. (1993) - Mangroves of Brazil. In: Lacerda LD (Ed.), *Conservation and sustainable utilization of mangrove forest in Latin America and Africa regions*. Part I - Latin America,. Mangrove Ecosystem Technical Report No. 2. ITTO/ISME, Okinawa, 272 pp.
- Lobo, J.C.; Gaspar, R.B.; Neves, E.M.; Ferreira, A.T. (2005) - Risco, previsão e apoio: As políticas compensatórias empregadas face ao derrame de óleo. In: Rivas, A. A. F. (ed.), *Anais do 1º Congresso Internacional PIATAM*. Manaus, Editora da UFAM. p.308.
- Martins, P.T.deA.; Riedel, P.S.; Milanelli, J.C.C. (2013) - Environmental sensitivity map for oil spill: origin, evolution and trends. *Ciência e Natura*, 35(2): 163-175.
- MMA Ministério do Meio Ambiente (2010) - *Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil*. 148p., Brasília, MMA/SBF/GBA. ISBN 978-85-7738-142-5
- MMA Ministério do Meio Ambiente (2016). *Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo das Bacias Marítimas do Pará-Maranhão e Barreirinhas*. 127p., Souza-Filho, P. W. M. (Org), Brasília, MMA, SMCQ. ISBN 978-85-63728-46-3
- MMA Ministério do Meio Ambiente (2004) - *Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo*. 107p., Ministério do Meio Ambiente, Rio de Janeiro. http://www.mma.gov.br/estruturas/projeto/_arquivos/cartassao2007port.pdf
- Moreira, M.A. (2001) - *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. 250 p., INPE, São José dos Campos. ISBN: 9788572693813
- Nascimento, W.R.; Souza-Filho, P.W.M.; Proisy, C.; Lucas, R.M.; Rosenqvist, A. (2013) - Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science (Print)*, 117: 83-93. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.10.005
- Noernberg, M.A., Lana, P., (2002) - A sensibilidade de manguezais e marismas a impacto por óleo: fato ou mito? Uma ferramenta para avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo. *Geografares* 3: 109-122. DOI: 10.7147/GEO3.1120
- Novaes, R. C., Tarouco, J.E.; Rangel, M.E.; Dias, L.J.B.S. (2007) - *Análise da Sensibilidade Ambiental da parte Ocidental da Ilha do Maranhão*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 4089-4096.
- Petersen J.; Michel J.; Zengel S.; White M.; Lord C.; Plank C. (2002) - Environmental sensitivity index guidelines. 192p., National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), NOAA Technical Memorandum NOS OReA 11, version 3.0, Seattle. http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI_Guidelines.pdf
- Rebello-Mochel F. (1997) - Mangroves on São Luís Island, Maranhão Brazil. In: Kjerfve B., Lacerda L.D. e Diop E.H.S. (Ed.), *Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*; UNESCO, Paris, pp.145–154.
- Rodrigues, Suzan W.P. ; Souza-Filho, Pedro W. M. (2012) - Environmental sensitivity index mapping to oil spill from Landsat TM images: a study case in the amazon coastal plain. *Revista Brasileira de Geofísica (Impresso)*, 30:1-12. DOI: 10.22564/rbgf.v30i4.240
- Rodrigues, S.W.P.; Souza-Filho, P. W. M. (2011) - Use of Multi-Sensor Data to Identify and Map Tropical Coastal Wetlands in the Amazon of Northern Brazil. *Wetlands*, 31:11–23. DOI: 10.1007
- Rodrigues, Suzan W.P.; Souza-Filho, Pedro W. M. (2011b) - Índice de sensibilidade ambiental (ISA) a partir do processamento de imagens Landsat TM para o noroeste do Pará (Curuçá - Pa, Brasil). Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5070
- Santos, C.F., Andrade, F. (2009) - Environmental sensitivity of the Portuguese coast in the scope of oil spill events-comparing different assessment approaches. *Journal of Coastal Research*, 885–889. ISSN 0749-0258
- Souza Filho, P. W. M.; Silva, C. G.; Miranda, F.P.; Borges, H. V. (2009a) - Sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na zona costeira e marinha amazônica: reconhecimento, princípios e aplicações. *Revista Brasileira de Geofísica (Impresso)*, 29: 5-6. DOI: 10.1590/S0102-261X2009000500001
- Souza Filho, P. W. M.; Gonçalves, F.D.; Rodrigues, S.V.P.; Costa, F.R.; Miranda, F.P. (2009b) - Multi-sensor data fusion for geomorphological and environmental sensitivity index mapping in the Amazonian mangrove coast, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 56: 1592-1596. ISSN 0749-0258

- Souza-Filho, P.W.M., Prost, M.T.R.C., Miranda, F.P., Sales, M.E.C., Borges, H.V., Costa, F.R., Almeida, E.F., Nascimento Junior, W.R. (2009c) - Environmental sensitivity index (ESI) mapping of oil spill in the amazon coastal zone: the PIATAM Mar project. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27: 07-22. DOI: 10.1590/S0102-261X2009000500002
- Teixeira, S. G.; Souza Filho, P. W. M. (2009) - Mapeamento de ambientes costeiros tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) utilizando imagens de sensores remotos orbitais. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27: 69-82.
- Vethamony, P., Sudheesh, K., Babu, M.T., Jayakumar, S., Manimurali, R., Saran, A.K., Sharma, L.H., Rajan, B., Srivastava, M., 2007. Trajectory of an oil spill off Goa, eastern Arabian Sea: field observations and simulations. *Environment Pollution*. 148, 438–444. DOI: 10.1016/j.envpol.2006.12.017
- ZCEMA Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão (2003) - *Produto 3: Diagnóstico do Meio Sócio-Econômico*. 90p. Governo do Maranhão. <http://www.zee.ma.gov.br/Portal/publicacoes>



Avaliação histórica da ocorrência de ressacas marinhas e danos associados entre os anos de 1979 e 2013 no litoral do estado do Rio de Janeiro (Brasil)

Historical evaluation of marine storm occurrence and associated damage between 1979 and 2013 in the coast of the state of Rio de Janeiro (Brazil)

Flavia Moraes Lins-de-Barros¹, Leonardo Klumb-Oliveira², Rafael de França Lima³

¹ Laboratório de Geografia Marinha - Departamento de Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Email: flaviamb@gmail.com

² NEIM/UFRB (Núcleo de estudos de impacto da mineração/ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia).

³ Estudante de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

RESUMO: O presente trabalho apresenta uma avaliação histórica da ocorrência de ressacas marinhas e dos danos associados no litoral sul-sudeste do estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1979 e 2013. As características das ondas associadas a cada evento foram analisadas visando caracterizar as condições de mar que levam a danos e prejuízos nas praias. Dois estudos de caso, incluindo os municípios de Maricá e Saquarema, no primeiro, e Macaé, no segundo, destacam os impactos na orla urbanizada. Os dados de ondas para o período entre 1979 e 2013 para o litoral do Rio de Janeiro foram obtidos através da reanálise de ventos em escala global disponibilizado pela NOAA. O inventário do registro de danos associados aos eventos extremos de condições do mar no litoral do Rio de Janeiro foi realizado através da análise do acervo do Jornal O Globo. Foram encontrados, entre 1979 e 2013, 120 dias com notícias de ressaca em praias do estado do Rio de Janeiro. O maior número de eventos ocorreu entre abril e setembro, quando se observa a maior frequência de frentes frias no estado. Na maioria destes eventos foram registrados danos em avenidas, quiosques, calçadões e casas construídas próximas à linha de costa. Apesar do alinhamento litorâneo mais exposto a ondas provenientes de sul, isto é, do Rio de Janeiro a Cabo Frio, ter apresentado valores de incidência de ondas mais elevados do que o alinhamento ao norte de Cabo Frio, ambos os setores apresentaram registros de danos nas estruturas da orla. A análise das características das ondas relacionadas com os registros de danos na orla mostrou um intervalo variado de alturas de ondas, de menos de 1 m até mais de 4 m, com direções de proveniência

de SE a SW. Este resultado levou à discussão sobre as características das ondas capazes de gerar impactos e danos na orla. Os estudos de caso analisados revelaram importantes danos e prejuízos relacionados com as ressacas estudadas, apontando a importância de se conhecer melhor o comportamento e os efeitos desses eventos, visando uma melhor gestão da orla costeira.

Palavras-chave: ressacas marinhas; danos costeiros; gestão costeira.

ABSTRACT: The paper presents a historical assessment of the occurrence of marine storms and associated damages in the coast of the state of Rio de Janeiro between 1979 and 2013. The wave characteristics associated to each event were analyzed to characterize the storm conditions that lead to damages on the beaches. Two case studies, one including the municipalities of Maricá and Saquarema, and the other at Macaé, were used to highlight the impacts of storms on urbanized beaches. Wave data between 1979 and 2013 for the coast of Rio de Janeiro were obtained through the wind reanalysis available from NOAA. The inventory record of damages associated with extreme sea conditions events on the coast of Rio de Janeiro was obtained from the database of the newspaper O Globo. The results showed 120 days between 1979 and 2013, with the occurrence of storm damages on beaches. The major number of storms occurred between May and September, when cold fronts are more frequent. Most data reported was associated to damage on streets, bars, boardwalks and houses built close to the coastline. Despite the more exposed coastal alignment to S wave energy, from Rio de Janeiro to Cabo Frio, the coastal sector located north of Cabo Frio is also associated to news of damage to structures on the coastal border. The analysis of wave height records relating to damage on the beaches showed an extensive range of heights, since less than 1 m to more than 4 m, from SE to SW directions. This result raises issues concerning the establishment of a wave height threshold “harm-inducing”. The case studies results revealed significant damages and losses related to the studied storms, pointing the importance of better understanding the behavior and the effects of these events regarding to a better management and planning of coastal areas.

Keywords: coastal storms; coastline damage; coastal management.

1. INTRODUÇÃO

As praias arenosas constituem um dos ambientes mais dinâmicos da zona costeira podendo ser definidas como depósitos de material sedimentar desagregado e permeável em contato direto com o mar, funcionando como área de dissipação de energia das ondas. A morfodinâmica das praias está em constante ajuste com as condições oceanográficas de determinado litoral. Ou seja, o perfil de uma praia sofre modificações associadas ao transporte dos sedimentos para o mar ou para a costa na zona de arrebentação e para além dessa zona em condições climáticas e oceanográficas diferentes.

À medida que as zonas costeiras foram sendo cada vez mais urbanizadas e valorizadas para atividades de lazer e turismo, as praias passaram a sofrer modificações nesta dinâmica, ocasionando, em muitos casos, um desequilíbrio do seu perfil, levando à danos nas construções durante eventos de tempestade. Ainda no século XIX uma das maiores preocupações dos engenheiros costeiros era elaborar intervenções, como muros, espigões, molhes e outros, para conter a energia das ondas e estabilizar a linha de costa, permitindo assim uma ocupação mais segura. No entanto, sabe-se que muitas destas obras não obtiveram sucesso gerando, em alguns casos, alterações no balanço sedimentar das praias. É importante destacar, como ressalta Muehe

(2006), que a urbanização em si não provoca erosão, no entanto, a construção de edificações dentro da faixa de resposta dinâmica da praia às tempestades tende à retomada pelo mar da área construída. Evidentemente, a erosão também pode estar relacionada com processos naturais de déficit de balanço sedimentar, podendo estar associada a diversos fatores, tais como esgotamento do aporte natural, transporte lateral dos sedimentos por correntes costeiras, por retenção de sedimentos nos rios, por perda na formação de dunas, entre outros (Komar, 1998; Bird, 2008).

O prejuízo anual decorrente de danos causados em praias nos EUA foi estimado, na década de 1970, entre US\$ 24 e US\$ 150 milhões (Mitchell, 1974). Este valor máximo (US\$ 150 milhões) é o mesmo que foi referido mais recentemente num relatório da NOAA como sendo o custo anual para alimentação artificial de praias nos EUA (NOAA, 2013). Em Portugal estima-se um investimento anual em obras de defesa costeira em zonas baixas entre 1995-2014 de 167 milhões de euros (Santos *et al.*, 2017) Na Região dos Lagos, no Rio de Janeiro, diversos eventos de tempestade causaram danos em avenidas e edificações tendo sido calculado o prejuízo de aproximadamente R\$ 1.5 milhões para um único episódio no município de Maricá (Lins-de-Barros, 2005). Na cidade do Rio de Janeiro, nos anos de 2016 e 2017 destacam-se três

ressacas que provocaram a queda de parte da ciclovia da Niemeyer em São Conrado, matando duas pessoas; a destruição do recém inaugurado quiosque do “Orla Rio” no Leblon; e a erosão da praia da Macumba, na zona oeste, que está atualmente avançando sobre o calçadão e a avenida beira-mar, construídos no ano de 2005. Além destes impactos, Lins-de-Barros e Parente-Ribeiro (2018) apontam para os prejuízos na economia diretamente relacionada com a praia (quiosques, vendedores ambulantes e tendas) causados pela diminuição da faixa de areia durante ressacas, tomando como exemplo a praia de Ipanema.

Assim, tendo em vista, de um lado, a frequente ocorrência de eventos de ressaca com danos e prejuízos no litoral do estado do Rio de Janeiro e, de outro lado, a falta de dados de ondas observados e medidos para o litoral do Rio de Janeiro, acredita-se que o presente trabalho contribua para uma melhor compreensão das características das ondas associadas a eventos de ressaca no litoral em questão.

Como ressaltam Candella e Candella (2010), as ondas são consideradas um parâmetro importante em engenharia costeira, já que os projetos de estruturas se baseiam em condições extremas que poderão ser enfrentadas, considerando em geral a altura de onda significativa (H_s) como parâmetro principal. Assim, espera-se também que o conhecimento das características das ondas associadas a eventos de ressaca possa contribuir para ações de prevenção, mitigação e planejamento da orla.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo identificar as características das ondas associadas às ressacas de mar que atingiram as regiões sudeste, leste e norte do litoral do estado do Rio de Janeiro no período entre os anos de 1979 e 2013. Com isso pretende-se compreender melhor as condições de mar que têm potencial para gerar danos no litoral em questão. Serão apresentados dois estudos de caso de praias na Região dos Lagos e Macaé, no litoral leste e norte do estado, respectivamente, associando a monitoramentos de praias que vem sendo realizados pelo Laboratório de Geografia Marinha da UFRJ desde a década de 1990.

3. ÁREA DE ESTUDO

A zona costeira do estado do Rio de Janeiro abrange uma área de aproximadamente 19.000 km² e envolve 33 municípios litorâneos. O litoral estende-se por aproximadamente 1.160 km, onde vive aproximadamente 83% da população fluminense (11 milhões de pessoas), com uma densidade demográfica de 585 hab/km² (INEA, 2015).

O inventário das ressacas e danos associados no período entre 1979 e 2013 considerou os registros encontrados para todo o estado do Rio de Janeiro. A análise das características das ondas, por sua vez, foi restrita às áreas de influência de dois pontos de saída dos dados do modelo de ondas NWW3 (*National Oceanic Atmospheric Administration – NOAA*), localizados na zona frontal das praias de Saquarema e Macaé (figura 1). Para análise detalhada dos impactos na orla foram selecionados os municípios de Maricá, Saquarema e Macaé.

Trabalhos realizados sobre o clima de ondas para a costa sudeste do Brasil e Bacia de Campos (Parente, 1999; Violante-Carvalho, 1998; Candella *et al.*, 1999), apontam para um clima de ondas prevalecente de tempo bom, com ondas de menor altura e períodos provenientes do quadrante NE (1 – 2 m; 2 – 6 s), sob influência do Anticiclone semi-permanente do Atlântico Sul, predominantemente nos meses de verão (JFM) e exposto a eventos mais energéticos provenientes dos quadrantes SO e SE, associados aos ciclones, frentes frias e altas migratórias, com ondas acima de 2 m e frequentemente períodos acima de 10 s, correspondentes aos meses de inverno (MJJ). Klumb-Oliveira *et al.* (2015) identificaram ondas acima de 4 m em episódios esporádicos em frente ao alinhamento Maricá-Cabo Frio em análise multidecadal do clima de ondas, sobretudo nos meses de maio, julho e setembro. De acordo com a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), esta região da costa brasileira é caracterizada pelo regime de micromaré, com amplitudes de sizígia de até 1,5 m.

4. MÉTODOS

Os dados de ondas para o período entre 1979 e 2013 para o litoral sudeste do Rio de Janeiro foram obtidos através do modelo Reanálise de ondas (conjunto de dados globais referentes ao estado da atmosfera terrestre do passado através de compilação de informações de medições ao redor do mundo, agrupados em uma grade com espaçamento regular) disponibilizado pela NOAA, o qual foi simulado no modelo computacional WAVEWATCH III (WW3), utilizando como dados de entrada a reanálise de ventos do *Forecast System Reanalysis Reforecast da National Oceanic Atmospheric Administration (CFSRR/NCEP)* (Chawla *et al.*, 2012). Os dados foram tratados estatisticamente permitindo a obtenção da altura de onda (H_s , m), direção de pico (D_p°) e período de pico (T_p , s) em escala temporal diária para todo o intervalo considerado. Os dados apresentavam resolução temporal de 3 h e espacial de 0,5°, sendo reduzidos a médias diárias para uma melhor facilidade de seu tratamento estatístico. Como se trata de uma Reanálise em escala global, a resolução da

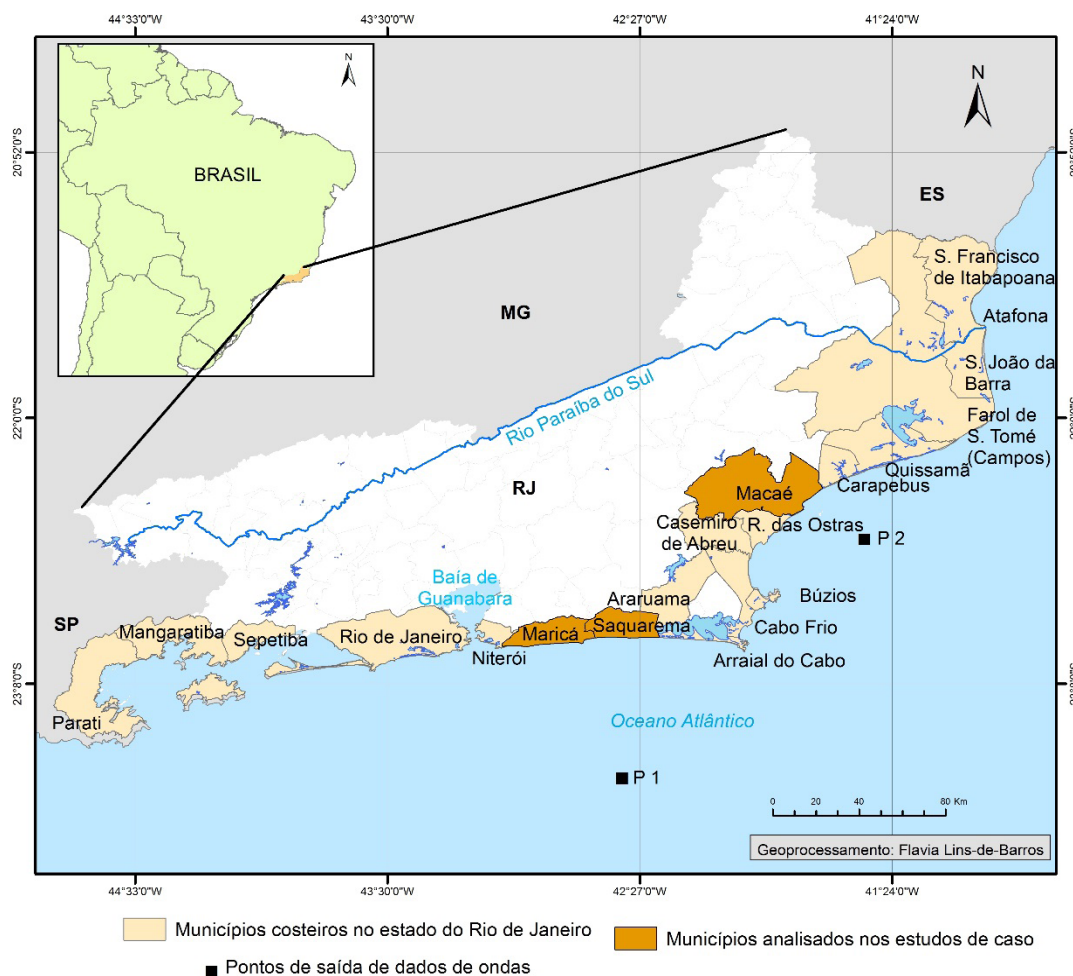


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, indicando os municípios que foram abordados nos estudos de caso e os pontos de saída dos dados de ondas do modelo NWW3.

Figure 1 - Map of location of the study area, indicating the cities that were approached in the case studies and the output points wave data of the NWW3 model.

malha do modelo é adequada a uma interpretação do comportamento de ondas em águas profundas, geradas por diferentes sistemas atmosféricos na escala sinótica em questão. Foram escolhidos dois pontos de saída de dados do modelo (*outputs*) para obtenção dos dados de onda, denominados P1 (23,5° S, 43,5° W) e P2 (22,5° S, 42,5° W) (Figura 1). A validação destes dados foi realizada por Klumb-Oliveira *et al.*, (2015) a partir da comparação com dados da boia oceanográfica ancorada nas proximidades da cidade de Arraial do Cabo, tendo obtido correlações de $r = 0,76$ para altura significativa de onda e $0,62$ para o período de pico de onda. Os autores encontraram superestimação dos dados do modelo em relação aos dados de campo.

O inventário do registro de danos associados aos eventos extremos de condições do mar no litoral do Rio de Janeiro foi realizado através da análise de artigos científicos e

do Acervo do Jornal O Globo, através de uma pesquisa de todas as notícias que continham as palavras-chave “ressaca” e “mar”. A partir dos resultados encontrados com a aplicação deste filtro foi possível encontrar notícias que relatam algum tipo de consequência gerada por ressacas do mar nas praias fluminenses. Informações como o nome das praias que aparecem nas notícias, características gerais da ondulação e a descrição dos danos e prejuízos causados foram colocadas em uma tabela. Foram então acrescentados os parâmetros de ondas obtidos pelo modelo acima descrito (H_s , T_p e D_p) para as datas correspondentes ao evento de ressaca noticiada. Dados e informações encontrados em artigos científicos sobre o tema foram também utilizados para enriquecer tal inventário.

Vale ressaltar que um evento de ressaca do mar só é noticiado quando algum tipo de impacto fica evidente

e se torna de interesse para a sociedade. Assim, podem ocorrer casos de eventos extremos que não geraram impacto significativo nas praias e, portanto, não foram noticiados pelo jornal. Assim, o cruzamento das informações de parâmetros de ondas geradas pelo modelo com as notícias de ressaca permitiu conhecer as características das ondulações que geram algum tipo de impacto na orla costeira.

Finalmente, foram selecionados dois estudos de caso nas regiões leste e norte do litoral do estado do Rio de Janeiro onde foram registrados fortes danos causados por ressacas do mar, de forma a analisar as condições oceanográficas associadas a tais consequências. O primeiro estudo de caso destaca os efeitos nos municípios de Maricá e Saquarema onde a tempestade de 2001 causou a destruição da avenida litorânea, de diversas residências e quiosques (Lins-de-Barros *et al.*, 2003, Lins-de-Barros, 2005). O segundo estudo de caso trata da orla do município de Macaé onde diferentes eventos de ressaca levaram à necessidade de se construir obras de contenção. Através de pesquisas em jornais locais, internet e prefeituras locais destes dois casos específicos, foram analisados também de forma mais aprofundada os dados de danos e prejuízos gerados e as respostas governamentais e da população.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa no acervo do Jornal O Globo para o período estudado, ou seja, entre 1979 e 2013, resultou em 120 dias com notícias de ressaca em praias do estado do Rio de Janeiro. Tal número representa uma média de quase 3,5 notícias por ano.

Do total de notícias, 100 se referem à cidade do Rio de Janeiro, exclusivamente. Esta forte predominância da cidade do Rio de Janeiro é certamente influenciada pela importância desta cidade, capital do estado, e onde estão localizadas as praias mais densamente ocupadas e mais conhecidas de todo o estado, resultando em maior destaque nas notícias de jornal. Enquanto isso, apenas 7 notícias do total se referem ao litoral norte do estado, tendo sido mencionadas praias do município de Macaé e da localidade de Atafona, esta última conhecida por severa erosão costeira. Praias da Região dos Lagos também apareceram nos textos das notícias do jornal em dezessete dias, sendo um dos mais fortes eventos o que ocorreu em maio de 2001. A cidade de Niterói foi mencionada em 5 notícias, das quais se destaca o evento de 1 de junho de 1997, quando as alturas de ondas no ponto 1 foram estimadas em 4,15 m. Nesta data em função da direção da ondulação SSE (157°), as praias com maiores efeitos foram as que se localizam na entrada da Baía de Guanabara, como as praias do

Flamengo, Marina da Glória e Copacabana, no Rio de Janeiro e Charitas, Gragoatá e Icaraí, em Niterói. Santos *et al.* (2004), em pesquisa sobre ressacas nas praias do litoral de Niterói, também realizaram um inventário a partir de notícias publicadas em diversos jornais para o período entre os anos de 1892 e 1999, tendo encontrado 13 notícias relevantes com menção a praias localizadas na cidade de Niterói.

A figura 2 apresenta o número de vezes em que cada praia ou localidade é citada nas notícias, revelando a distribuição espacial dos eventos. Em muitas notícias cita-se mais de uma localidade atingida pela ressaca. Assim, apesar de serem 100 notícias referentes à cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, o número de praias atingidas é maior (185). Na maioria das situações registraram-se danos em avenidas, quiosques, calçadões e casas construídas próximas à linha de costa. Em algumas ocasiões foram registrados danos em embarcações e nas instalações da Marina da Glória e do Iate Clube. No entanto, casos mais graves foram também citados, com registro de algumas mortes por afogamento. Nas praias que compreendem a Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro, como Ipanema, Leblon e Copacabana, muitos dos danos referem-se ao avanço do mar com a consequente migração de sedimentos para as principais ruas da orla, como, por exemplo, a Avenida Delfim Moreira, no Leblon. Além disso, noticiou-se também a destruição da ciclovia do Flamengo e na Zona Oeste foram noticiadas a quebra de um muro no canal da Joatinga, bem como a destruição de um poste no quebra-mar da praia da Barra da Tijuca.

Nas praias localizadas em Niterói, Região dos Lagos, e no Norte Fluminense, também há registros de danos nas construções próximas à linha de costa. Em Niterói, a praia de Piratininga é mencionada em função da retirada de areia da praia, exposição do antigo calçadão e queda de muro; em Maricá, foram noticiados os severos efeitos com destruição das casas e da avenida beira-mar; e em Saquarema, foi registrado o avanço do mar na rua principal do município. Já em Atafona, foi noticiada a destruição de casas pelo avanço do mar.

As principais consequências dos danos recaem na mobilidade das principais vias litorâneas que passam na orla. O avanço da areia e do mar obriga o poder público a fazer a limpeza das vias, dificultando assim o acesso às mesmas, tanto pelos transportes de passeio e coletivo, como pelos pedestres. Além disso, somam-se prejuízos aos proprietários dos imóveis que foram destruídos por estes eventos.

A figura 3 representa o número de ressacas por ano noticiadas pelo jornal. Os anos de 1988, 1990, 1999 e 2007 foram os que tiveram o maior número de eventos noticiados. É interessante notar que tal padrão se repetiu

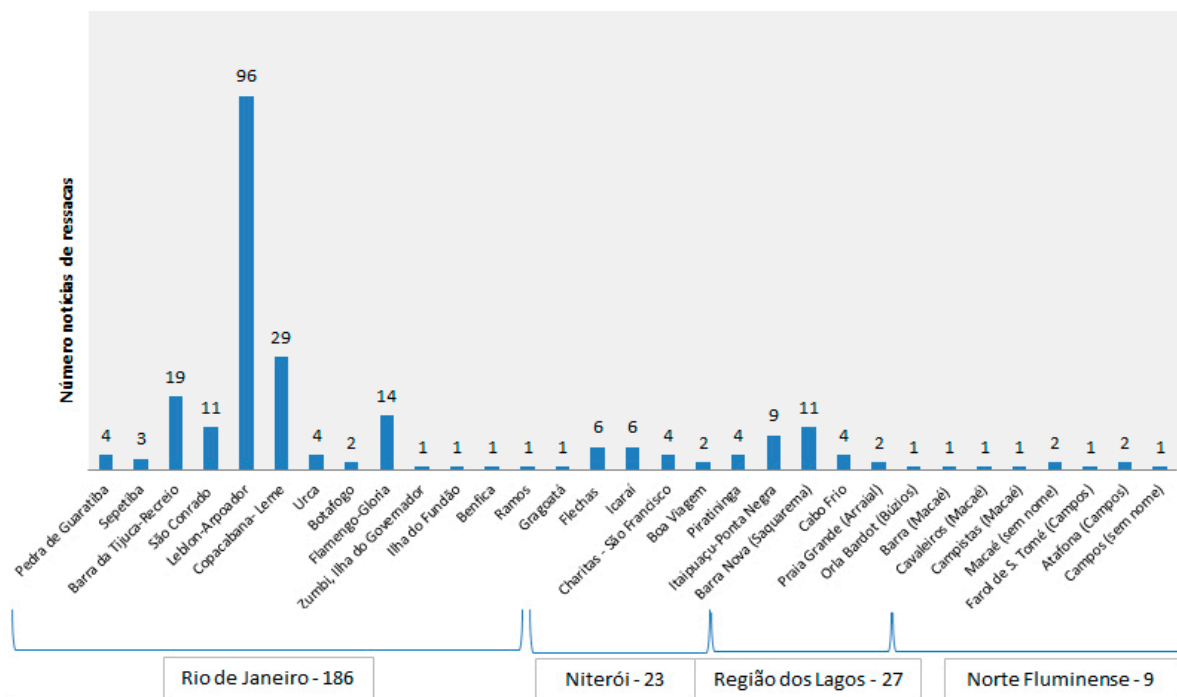


Figura 2 - Número de vezes em que cada praia ou localidade é citada nas notícias de ressacas segundo pesquisa no acervo do jornal o Globo entre 1979 e 2013.

Figure 2 - Number of times each beach or locality is cited in the storm news as per the survey of the newspaper O Globo between 1979 and 2013.

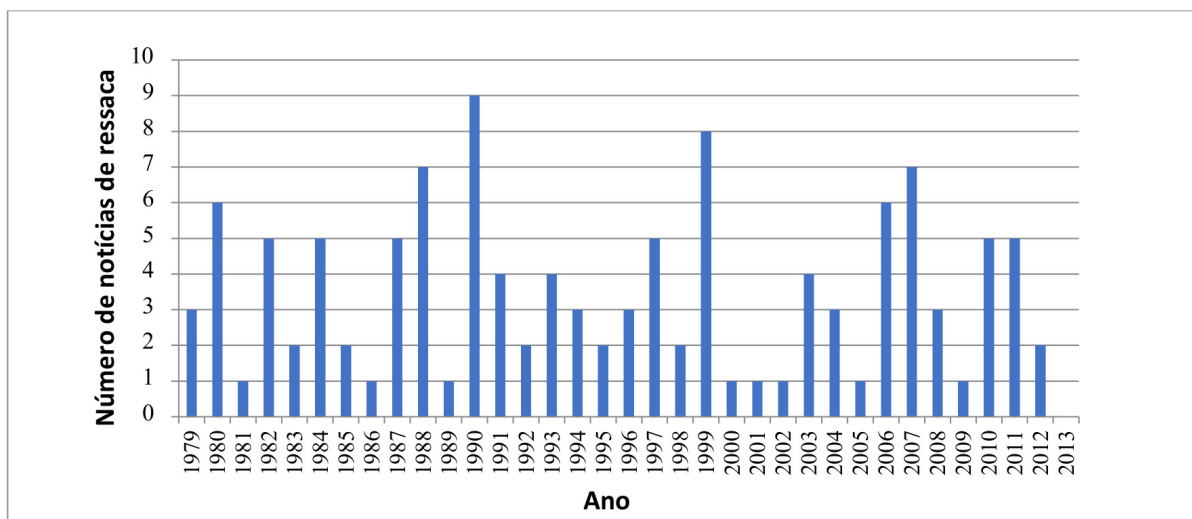


Figura 3 - Número de notícias sobre ressacas por ano no estado do Rio de Janeiro segundo pesquisa no Acervo do jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 3 - Number of storm news per year in the state of Rio de Janeiro as per the survey of the newspaper o Globo between 1979 and 2013.

aproximadamente de 9 em 9 anos. Seria necessário, no entanto, um histórico mais longo para se iniciar uma discussão sobre a recorrência de anos com mais eventos de ressaca. Alguns anos apresentaram, por outro lado, apenas um evento de ressaca noticiado, ficando abaixo da média. O ano de 2013 não teve nenhuma notícia de ressaca no jornal.

Em relação aos meses com eventos de ressaca noticiados, o resultado seguiu o esperado, ou seja, o maior número de eventos ocorreu entre abril e setembro (Figura 4), ou seja, no outono, inverno e início da primavera, quando se observa a maior frequência de frentes frias no estado do Rio de Janeiro. Este mesmo resultado foi encontrado por Bulhões *et al.* (2014) que denominaram tal período de “temporada de ondas de tempestade”, e por Klumb-Oliveira *et al.* (2015) que sugerem a temporada de alta energia entre os meses de abril a novembro para a região de Macaé, verificando-se perda de volume de praia associada à dinâmica das ondas. Este padrão está relacionado com a frequência e magnitude dos ventos no litoral do Rio de Janeiro, como apontado por Parente *et al.* (2014), que mostraram que os ventos mais frequentes durante o ano são oriundos dos quadrantes NE e E, que ocorrem entre Setembro e Fevereiro, e as maiores intensidades médias são apresentadas pelo vento oriundos do quadrante SW, entre Março e Agosto.

Os resultados demonstraram ainda que a maior parte das notícias corresponde a dias em que as ondas atingiram alturas entre 2 e 3 m no ponto 1 (Figura 5). Do total de

120 notícias, 43 foram em dias em que a altura de onda prevista pelo modelo de reanálise de ondas da NOAA era superior a 3,0 m neste ponto, e aproximadamente 62% das notícias correspondem a dias com ondas acima de 2,5 m.

Em relação ao ponto 2 (figura 6), a maioria das notícias (67%) corresponde a dias com alturas entre 2 e 3 m. Apenas oito dos dias noticiados tiveram ondas acima de 3 m neste ponto de observação. Nestes oito eventos mais fortes a direção da ondulação variou entre 141° e 173°, ou seja, ondulações de SSE. Tal resultado, ou seja, valores mais baixos de altura de ondas e direção SSE neste ponto, era esperado, uma vez que este ponto de saída de dados está localizado numa região do estado do Rio de Janeiro mais abrigada às ondulações com origem nos quadrantes SSW.

É interessante ressaltar que Klumb-Oliveira (2015) ao analisar as alturas de ondas de toda a série de dados do modelo de reanálise para o mesmo período detectou 228 eventos de tempestades com ondas acima de 3 m no ponto 1. Deste total de eventos considerados pelo autor como extremos, apenas 43 resultaram em algum tipo de dano na orla noticiado no jornal segundo a presente pesquisa. Souza *et al.* (2015), por sua vez, encontraram 75 dias com ondas acima de 3 m no litoral Norte Fluminense (próximo ao P2) apenas para o período entre 2003 e 2014 a partir de dados diários do modelo WW3. Tais constatações estimulam a reflexão sobre a diferença entre os conceitos de ressaca do mar, tempestade marítima e

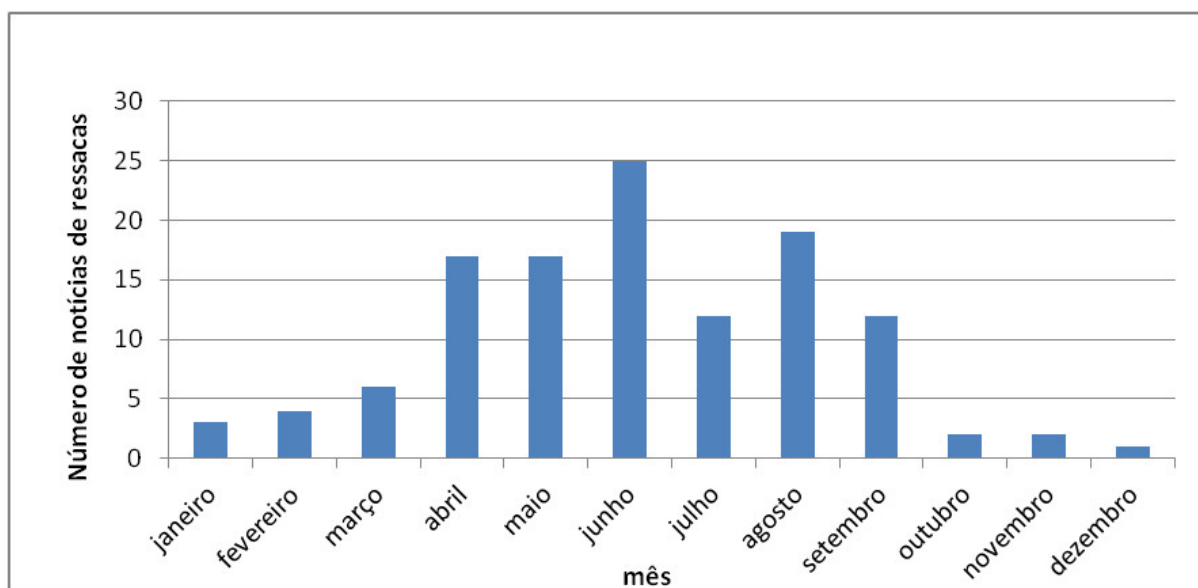


Figura 4 - Número de notícias de ressaca por mês no estado do Rio de Janeiro segundo pesquisa no Acervo do jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 4 - Number of storm news per month in the state of Rio de Janeiro as per the survey of the newspaper O Globo between 1979 and 2013.

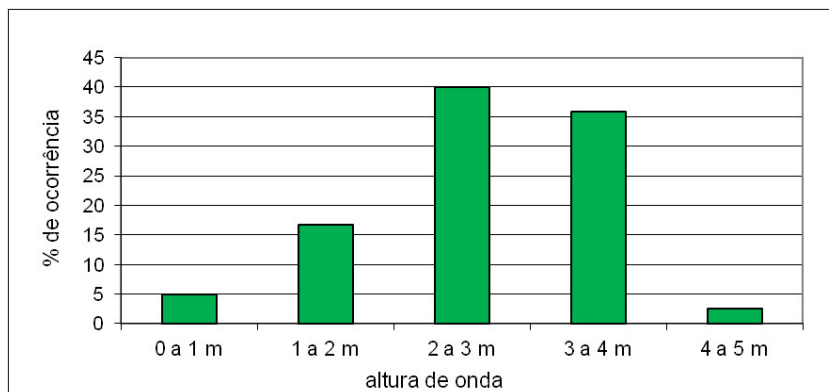


Figura 5 - Frequência da ocorrência das alturas de onda no ponto P1 considerando apenas os registros associados à eventos de ressacas noticiadas no Jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 5 - Frequency of occurrence of wave heights recorded (m) at point P1 considering only the records associated with the storms events reported in the O Globo Journal between 1979 and 2013.

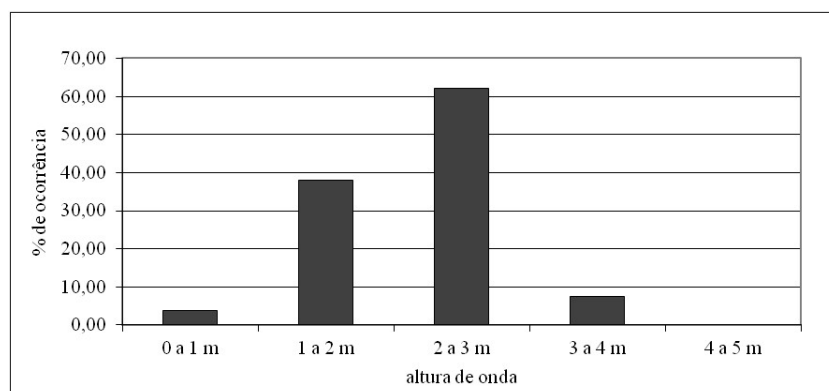


Figura 6 - Frequência da ocorrência das alturas de onda no ponto P2 considerando apenas os registros associados à eventos de ressacas noticiadas no Jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 6 - Frequency of occurrence of wave heights (m) at point P2 considering only the records associated with the storm events reported in the O Globo Journal between 1979 and 2013.

evento extremo associado à ondulação. Este último vem sendo associado a eventos em que ocorrem ondas de altura extrema, ou seja, ondas cujas alturas significativas ultrapassam as alturas significativas associadas ao período de retorno de 20, 50 ou 100 anos (onda centenária) (Sterl e Caires, 2005). Candella e Candella (2010), por sua vez, definem o conceito de ondas anormais como aquelas que excedem a altura máxima prevista estatisticamente. Já o conceito de tempestade marítima (*storm*) está associado à ocorrência de ondulações de marulho que alcançam a costa geralmente acompanhadas de fortes ventos e chuvas. Podem ou não ter a presença de ondas extremas, se tornando assim um evento extremo. Já as ressacas são entendidas no presente trabalho como um fenômeno

associado à ação de ondas que gera algum tipo de efeito negativo na costa, ou seja, o termo ressaca é função da ocorrência de danos ou outros efeitos sentidos no litoral. Estas podem ocorrer mesmo em situações de ausência de tempestades, associadas, por exemplo, à acumulação de água na costa gerada por maré meteorológica. Por outro lado, podem acontecer tempestades sem necessariamente ocorrer ressacas. Assim, apesar de terem ocorrido muitas tempestades na proximidade do litoral do Rio de Janeiro no período analisado, apenas uma parte causou efeitos negativos na costa. Por outro lado, os dados analisados revelaram também a ocorrência de ressacas noticiadas em dias com ondas abaixo de 2 m de altura em ambos os pontos. Mais especificamente, foram encontradas

notícias em 17 dias cujas alturas de onda eram inferiores a 1,5 m em ambos os pontos, e 6 notícias com alturas de onda abaixo de 1 m. Assim, a ocorrência de tempestades não pode ser assumida como fator determinante da ocorrência de ressacas. Tal fato revela a dificuldade em se estabelecer uma altura de onda relacionada com eventos que atingem a orla, pois mesmo em condições de alturas de onda relativamente baixas pode ocorrer algum tipo de efeito nas praias. As alturas de onda estimadas pelo modelo de reanálise da NOAA e a redução dos dados para médias diárias no tratamento estatístico deste trabalho podem ter mascarado eventos mais discretos potencialmente erosivos. Outro ponto que é evidente nesta discussão é o uso do banco de dados da reanálise. Tais dados representam valores probabilísticos, em uma malha de resolução espacial global, adequada à interpretação de ondas de águas profundas, podendo não representar de maneira satisfatória o comportamento destas ondas de águas rasas, onde a influência do fundo se faz sentir.

Os danos registrados na costa devem-se a um conjunto de fatores, que incluem amplitude da maré no momento de pico da tempestade, magnitude do acúmulo de água na costa, do estado morfodinâmico prévio das praias e ainda, à direção predominante das ondas e da persistência da tempestade. Nota-se que pouco mais da metade dos eventos de ressacas com ondas de altura inferior à 1,5 m ocorreram durante ondulações com origem no quadrante leste ou sudeste atingindo regiões do estado que são mais abrigadas às ondas vindas de sul. Deste modo, a altura de onda e, conseqüentemente sua energia, não deve ser considerada isoladamente para a análise do padrão de ondulações associadas à eventos de ressaca.

Em relação ao período das ondas (figura 7), nota-se uma forte predominância de períodos acima de 10 s, representativos de ondas de marulho, consequência dos sistemas meteorológicos geradores, como frentes frias, ciclones extratropicais e altas pressões polares migratórias, que predominam no outono e no inverno no litoral do RJ. Tais sistemas associam-se a ondulações de longo período e alta energia, provenientes de Sudoeste, Sul e Sudeste.

Considerando as datas com notícias de ressaca, verifica-se que as direções de ondas predominantes foram sudoeste e sul no ponto 1 e ondulações com origem no quadrante sul no Ponto 2 (figuras 10 e 11). A direção das ondas nos dias com alturas acima de 3 m variou de 144° a 205°, tendo sido observados 19 dias com ondulações de Sudoeste, 21 dias com ondulações de Sul e apenas 5 dias com ondulações de Sul/Sudeste. No entanto, três destes dias (12/08/1988, 01/06/1997 e 26/09/1999) com ondulações de SSE registraram ondas de 4 m de altura ou mais. Os outros dois dias com ondas acima de 4 m no Ponto 1 corresponderam à ondulações de Sul. No Ponto 2 apenas dois dias tiveram ondas acima de 3,5 m e os dois correspondem aos mesmos dias citados acima (01/06/1997 e 26/09/1999).

5.1. Condições oceanográficas relacionadas à ocorrência ressacas do mar

Como esperado, a análise dos parâmetros de ondas durante eventos de ressaca demonstrou que o alinhamento litorâneo mais exposto, isto é, do Rio de Janeiro ao Cabo Frio, apresentou valores de altura de onda mais elevados do que o alinhamento ao norte de

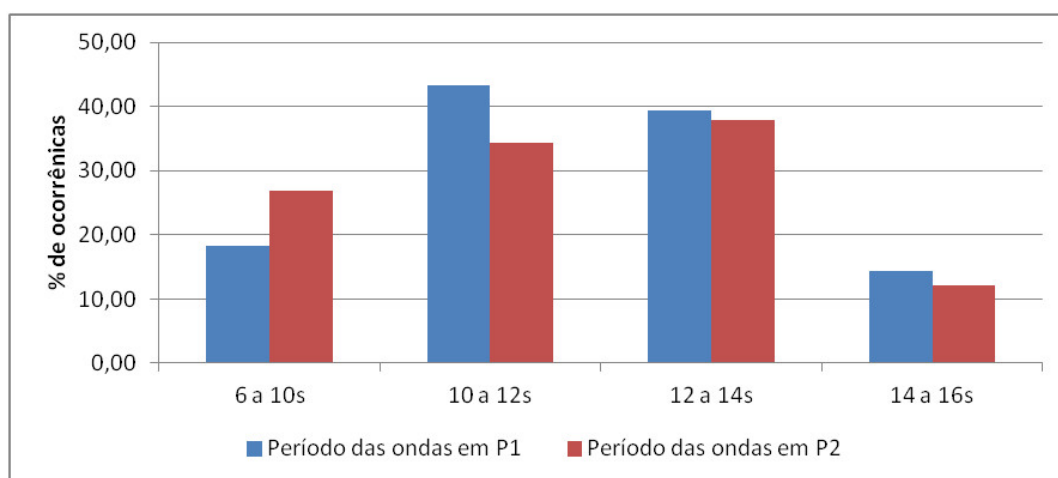


Figura 7 - Período(s) das ondas nos pontos 1 e 2 segundo dados de reanálise do modelo WW3 nos eventos de ressacas noticiadas pelo jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 7 - Wave period(s) in points 1 and 2 according to reanalysis data of the NWW3 model in the storm events reported by the newspaper O Globo between 1979 and 2013.

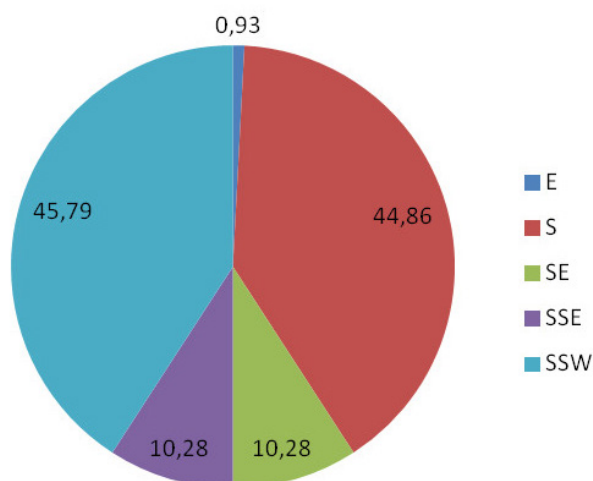


Figura 8 - Frequência (%) de ondas segundo a direção em graus no Ponto 1 com registro de ressacas noticiadas pelo Jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 8 - Frequency (%) of waves according to direction in degrees in Point 1 with record of storms reported by O Globo newspaper between 1979 and 2013.

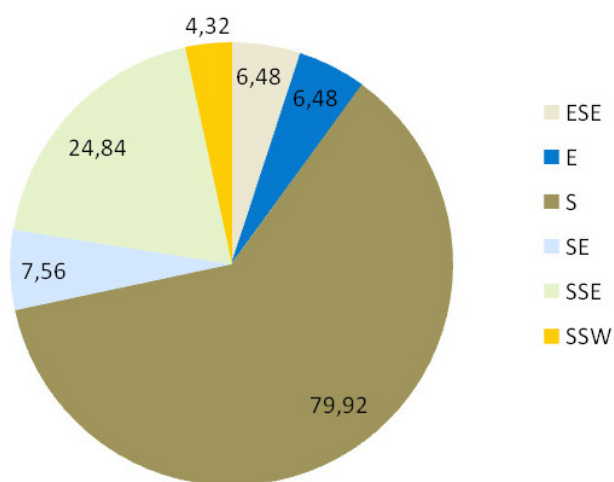


Figura 9 - Frequência (%) de ondas segundo a direção em graus no Ponto 2 com registro de ressacas noticiadas pelo Jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 9 - Frequency (%) of waves according to direction in degrees in Point 1 with record of storms reported by O Globo newspaper between 1979 and 2013.

Cabo Frio. Esta diferença do grau de exposição ao clima de ondas é considerado um parâmetro fundamental para a compreensão da magnitude e dinâmica da resposta morfológica das praias da região à eventos de ressaca, conforme já sugerido para outras partes do mundo por Shepard (1950) e Komar (1976), entre outros.

Conforme já vem sendo discutido na literatura por diversos autores, a ocorrência de danos nas praias

associados à ação de ondas depende de muitas variáveis intrínsecas à praia que determinam a sua vulnerabilidade e resiliência. Assim, além dos parâmetros oceanográficos como altura, direção, período da onda e altura da maré, as condições geomorfológicas de cada praia são elementos fundamentais para a compreensão da ocorrência destes eventos. Os parâmetros texturais dos sedimentos, o estado modal das praias, a geometria do arco praiial, a altitude do pós-praia e as condições morfodinâmicas anteriores aos eventos registrados são alguns dos parâmetros mais citados na construção de índices de vulnerabilidade ou suscetibilidade das praias.

No litoral do estado do Rio de Janeiro trabalhos anteriores contribuíram com a análise da vulnerabilidade e resiliência das praias à erosão costeira (Lins-de-Barros, 2011; Lins-de-Barros, 2010; Lins-de-Barros e Muehe, 2010; Muehe *et al.*, 2011; Bulhões *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2015). No entanto, tais análises não avaliaram em que condições e com que frequência ocorrem os eventos que potencialmente podem gerar danos. Assim, o presente trabalho tem como contribuição apresentar novos elementos para se compreender as condições oceanográficas que têm potencial de gerar danos às praias, embora se saiba que cada uma delas irá apresentar suscetibilidade e resiliências distintas.

No presente trabalho, a análise das alturas de onda relacionadas com os registros de danos na orla mostrou um intervalo variado de alturas, de menos de 1 m até pouco mais de 4 m, embora a maioria dos eventos esteja relacionado com as ondas maiores que 2,5 m. Além disso, não apenas o litoral sul mais exposto, mas também o litoral leste mais abrigado ao norte de Cabo Frio apresentaram registros de danos nas estruturas na orla. No litoral leste, ondas provenientes predominantemente de Sul/Sudeste, as quais incidem ortogonalmente à linha de praia representam as situações em que se registraram efeitos erosivos nas praias, mesmo apresentando ondas de alturas significativas mais baixas. Tal aspecto levanta a hipótese de que as características oceanográficas relacionadas à eventos de ressaca são relativas e não absolutas, ou seja, elas variam de acordo com o clima de ondas, com a exposição do litoral, tempo de duração da tempestade e com a topografia das praias. Ou seja, num litoral mais abrigado, por exemplo, as praias estão ajustadas às condições do mar de menor energia (em consequência da refração/difração das ondas) e ao serem ultrapassadas estas condições tal ajuste poderá ser afetado, mesmo que não se trate de eventos com alturas de ondas elevadas.

A análise de série temporal de 34 anos de dados de onda realizado por Pereira e Klumb-Oliveira (2015) permitiu inferir que o valor médio das alturas de onda

para a plataforma sudeste do RJ é de $1,8 \pm 0,51$ m, com períodos médios de $9,8 \pm 2,2$ s. Deste modo, é possível inferir que ondas acima de 2,31 m já representam valores acima do desvio padrão sobre o qual a costa está exposta sazonalmente, o que representa, em certa medida, um valor crítico para análise. De fato, aproximadamente 68% dos registros de ressacas obtidos pelo jornal O Globo apresentavam valores de alturas de onda superiores a 2,3 m. Possivelmente o valor de altura onda significativa de 2,3 m no banco de dados da Reanálise utilizada neste trabalho pode ser um bom indicativo de eventos hidrodinâmicos mais severos na costa sudeste do Rio de Janeiro, e da mesma forma, um bom critério para modelagem computacional e critérios de gestão. Outros fatores como o período de pico e o tempo de permanência das ondas acima de um determinado valor são, do mesmo modo, de grande influência sobre a geração de danos na costa. Acrescenta-se ainda a importância da maré astronômica e meteorológica no acúmulo de água junto à costa. Tal parâmetro deverá ser incluído em análises futuras.

Outro aspecto pertinente à análise é o tempo de duração do evento de tempestade. Neste sentido, You e Lord (2008) sugerem o tempo mínimo de ondas incidindo acima do valor crítico de 1 h. Já Rangel-Buitrago e Anfuso (2011) sugerem 12 h constantes de incidência de ondas para caracterizar um evento de tempestade, com base nos ciclos de maré. No presente artigo não foram investigados os tempos de duração de cada evento encontrado, de maneira que não é possível mensurar os danos a partir de tal parâmetro.

Soma-se a estes fatores o padrão de urbanização que muitas vezes desrespeita a faixa dinâmica das praias, invadindo a berma da praia em diversos segmentos

do litoral, aumentando assim a sua vulnerabilidade e, conseqüentemente, os seus efeitos.

De acordo com a análise da severidade da tempestade a partir da metodologia *Storm Power Index* proposta por Dolan e Davis (1992), Klumb-Oliveira (2015) identificaram seis eventos considerados como severos: setembro de 1983, agosto de 1988, maio 1997, maio de 2001, abril de 2010 e agosto de 2011 (figura 10). Tais eventos foram bem reconhecidos ao longo da costa brasileira, quando apareceram em estudos de caso nos trabalhos de Innocentini e Caetano Neto (1996), Innocentini *et al.* (2003), Santos *et al.* (2004), Lins-de-Barros (2005), Muehe (2011) e Fernandez *et al.* (2011). Nas notícias de jornais estes eventos também aparecem com destaque conforme se observa nas descrições das reportagens (ver a tabela 1 nas informações complementares).

5.2. Estudo de Caso 1 - Orlas de Maricá e Saquarema - ressaca de maio de 2001

Em maio de 2001 o sudeste do Brasil foi atingido por uma forte tempestade, considerada por Muehe (2001) e por outros autores como sendo o segundo evento meteorológico mais forte entre os anos 2000 e 2004, ficando atrás apenas do Ciclone Catarina ocorrido em fevereiro de 2004. Ao atingir o litoral do Rio de Janeiro, tal tempestade gerou forte ressaca no mar o que, em combinação com os fortes ventos e, principalmente, com a ocorrência de uma maré de sizígia, teve grande impacto na orla.

A análise das condições hidrodinâmicas da costa em relação ao evento revela um comportamento das ondas significativamente acima dos padrões médios, apresentando um pico de altura de aproximadamente 4 m,

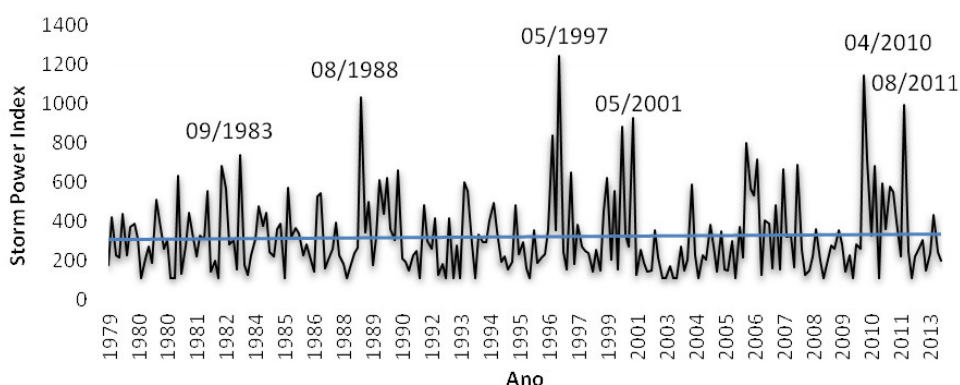


Figura 10 - Série de eventos de tempestades detectados entre 1979-2013, a partir do Storm Power Index (Dolan & Davis (1992), Klumb-Oliveira (2015)).

Figure 10 - Series of storm events detected between 1979 and 2013, from the Storm Power Index (Dolan & Davis, 1992), Klumb-Oliveira (2015).

no dia 7 de maio, com período de pico de 14 s e direção de pico que alternou de SW para SE, com ápice em 190° (Figura 9). A incidência de condições de agitação originada por ciclogênese extratropical é comum na costa sudeste do Brasil, sobretudo nos meses de outono e primavera austral. No entanto, um aspecto particular deste evento de ressaca é que a região já apresentava condição hidrodinâmica de agitação marítima formada por ventos fortes ao largo do litoral de São Paulo, antes da incidência de ondas originadas pelo ciclone extratropical nas imediações do Uruguai (Innocentini *et al.*, 2003), fato

que contribuiu para um acúmulo de energia junto à costa, adicionado a uma amplitude de maré alta de sizígia.

Os efeitos no litoral do município de Maricá, um dos mais atingidos em todo o estado do Rio de Janeiro, foram estudados por Lins-de-Barros *et al.* (2003), e Lins-de-Barros (2005). Os danos no trecho compreendido entre as praias da Barra de Maricá e Ponta Negra foram os mais elevados deste litoral, apresentando a destruição de grande parte da avenida litorânea, de diversas casas e de quiosques (Figuras 12, 13).

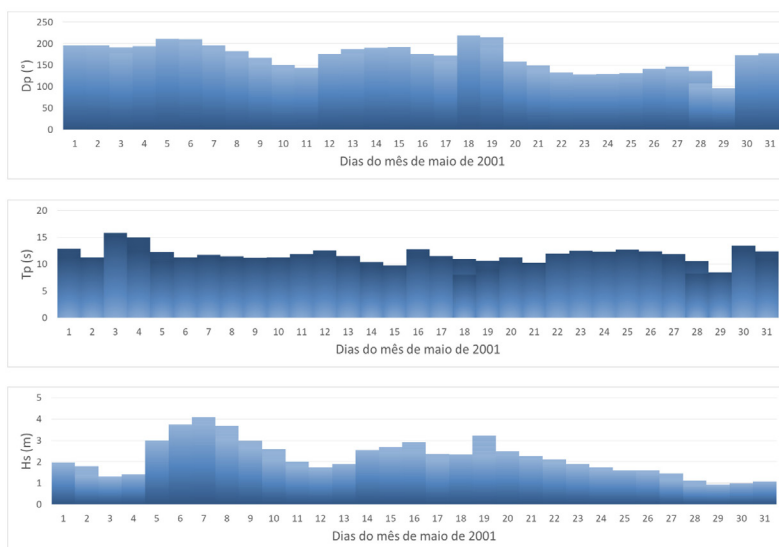


Figura 11 - Características das ondas em águas profundas para o período da tempestade ocorrida em maio de 2001. No eixo horizontal, dias do mês de maio de 2001 (compilação de dados NOAA - WW3).

Figure 11 - Characteristics of deep-water waves for the period of the storm that occurred in May 2001. On the horizontal axis, days of May 2001 (NWW3 data compilation).



Figura 12 - Praia da Barra de Maricá após a ressaca de maio de 2001, mostrando a destruição total da Avenida Litorânea e de casas. (Foto: Dieter Muehe).

Figure 12 - Praia de Barra de Maricá after the storm in May 2001 showing the total destruction of Avenida Litorânea and houses. (Photo: Dieter Muehe).



Figura 13 - Praia de Ponta Negra após a ressaca de maio de 2001 mostrando a destruição total da Avenida Litorânea e do muro de uma casa. (Foto: Flavia Lins de Barros).

Figure 13 - Beach of Ponta Negra after the storm of May of 2001 showing the total destruction of the Coastal Avenue and the wall of a house. (Photo: Flavia Lins de Barros).

A partir de entrevistas com moradores, proprietários, funcionários dos quiosques e agentes imobiliários, Lins-de-Barros (2005) estimou um valor aproximado dos prejuízos diretos e os decorrentes das obras de reconstrução e proteção (Tabela 1).

Tabela 1 - Prejuízo Econômico Total (R\$) decorrente da ressaca ocorrida em maio do ano de 2001 entre as praias da Barra de Maricá e Ponta Negra no município de Maricá (RJ). Fonte: Lins-de-Barros (2005).

Table 1 - Total Economic Loss (R\$) due to the storm occurred in May of 2001 between the beaches of Barra de Maricá and Ponta Negra in the city of Maricá (RJ).

<i>Prejuízo Direto</i>	<i>Prejuízo Indireto</i>	<i>Prejuízo Total</i>
<i>Destruição total das casas</i>	<i>Custo total das obras realizadas</i>	
1.560.000,00	534.000,00	2.090.000,00

A autora aponta ainda para uma desvalorização média para o arco praias de aproximadamente R\$ 200.000,00 por km, considerando a perda de 100% do valor em caso de destruição total da residência e de 50% no restante da orla (Lins-de-Barros *et al.*, 2003 e Lins-de-Barros, 2005). Em trabalho mais recente Lins-de-Barros *et al.* (2016) descrevem as diversas medidas adaptativas, incluindo os tipos de obras de recuperação que foram realizadas, de forma particular, pelos moradores ou proprietários de quiosques e casas de veraneio. Discute ainda algumas das propostas apresentadas pelo poder público local, ressaltando que nenhuma medida foi efetivamente realizada, pois predomina a ideia de que o evento de ressaca ocorrido em 2001 foi um caso isolado. Tal percepção persiste embora se tenham registrado outras ressacas importantes, com destaque para aquela ocorrida no ano de 2010, que atingiu o litoral de Maricá com forte impacto, sem, no entanto, causar danos tão severos pois este evento não foi associado à maré de sizígia como o anterior.

O município de Saquarema, localizado a leste de Maricá e separado deste pelo promontório rochoso de Ponta Negra, também sofreu efeitos desta ressaca, sendo a praia de Jaconé a mais atingida. Nesta, a avenida litorânea foi parcialmente destruída, mas como a orla apresenta uma baixa densidade de ocupações urbanas, os danos sentidos foram menores do que em Maricá. Ainda assim, quatro quiosques foram totalmente destruídos e três foram parcialmente impactados, causando prejuízos para os comerciantes. Segundo notícia do Jornal O Globo de 9 de dezembro de 2001 neste município a prefeitura realizou uma obra de recuperação da avenida

litorânea através de aterro com areia. Foram previstas também a colocação de gabiões e enrocamentos com o custo estimado em R\$ 4,5 milhões que seria liberado pelo Fundo de Controle Ambiental (Fecam). Não foram encontradas informações sobre a liberação deste recurso e a efetiva realização destas obras. Na mesma reportagem é mencionado ainda que o então governador do Rio de Janeiro, Anthony Garotinho, anunciou a liberação de R\$16 milhões para recuperar os prejuízos provocados por esta ressaca em todo o estado. Da mesma maneira, não foram encontradas outras informações sobre esta medida e, portanto, não constam dados que confirmem se este investimento foi realizado.

5.3. Estudo de Caso 2 - Orla de Macaé

No litoral norte do estado do Rio de Janeiro, a orla de Macaé é uma das mais mencionadas nas notícias do acervo do jornal O Globo, assim como em jornais locais pesquisados. Após duas ressacas ocorridas em agosto de 2006 (dias 8 e 26), uma série de ações por parte da prefeitura começou a ser tomada de forma a evitar prejuízos e risco para a população em caso de novos eventos. A edição de 30 de março a 5 de abril de 2007 do Jornal Serra Litoral destaca que obras foram realizadas pela prefeitura de Macaé entre os anos de 2006 e 2007 visando a contenção das águas do mar em caso de ressacas. No trecho compreendido entre as praias dos Navegantes e a Fronteira foram colocadas toneladas de rochas retiradas de uma pedreira construindo um muro de 700 m de extensão. Em outra reportagem do dia 5 de julho de 2007, disponível na central de notícias do site da prefeitura de Macaé, é referido que a prefeitura investiu mais de R\$ 2 milhões na construção deste muro. Tais medidas demonstram a preocupação da prefeitura com os efeitos que as ressacas causam neste litoral. Nesta mesma notícia, é mencionado que uma nova ressaca atingiu este litoral. Esta última notícia foi identificada na pesquisa do acervo O Globo no dia 27/06/2007. Um mês depois, em 30/07/2007, um evento ainda mais forte destruiu parte da ciclovia e da calçada na Praia dos Campistas. Em 25 de abril de 2008, quase um ano após esta ressaca o litoral de Macaé é novamente atingido por uma ressaca que danificou a estrutura do muro anteriormente construído e impactou principalmente as praias Campista e Fronteira. No ano de 2009, mais duas ressacas foram registradas, a primeira em 11 de abril e a segunda no dia 25 de julho, deixando em alerta a Defesa Civil e mais uma vez incentivando medidas de contenção por parte da prefeitura.

Entre os anos de 2006 e 2013 foram registrados, portanto, seis eventos de ressaca. Os seis eventos apresentaram ondas com altura superior a 1,5 m no Ponto2 e no Ponto1

apenas os eventos de 10/08/2006 e 16/03/2011 tiveram ondas abaixo de 2,0 m. Estes eventos, por outro lado, apresentaram direção SSE em ambos os pontos, o que indica que ondulações com este tipo de direção podem afetar a orla do litoral norte mesmo quando a altura de onda é muito elevada.

Mais recentemente, em 2014, a orla da praia dos Cavaleiros foi totalmente recuperada com a colocação de um muro de contenção, ampliação do calçadão em cerca de 5,5 m, nova ciclovia e postos salva-vidas. Foi feita ainda a reconstrução do deck de madeira, recuperação do passeio com granito e manutenção da iluminação pública (Gama, 2014). Estas medidas demonstram o valor atribuído à manutenção da praia e sua importância para o município.

6. CONCLUSÕES

O uso do acervo de jornais para estudos de ressaca do mar foi também adotado por outros autores, como Santos *et al.* (2004) e Paula *et al.* (2015), e quando utilizado de forma cuidadosa, se apresenta adequado para o inventário histórico de eventos de ressaca e para a sua caracterização qualitativa. É importante reforçar que os jornais costumam noticiar os eventos de ressaca que “chamam a atenção” da sociedade de alguma maneira. Tal aspecto converge com o conceito de ressaca do mar concebido no presente trabalho, ou seja, um fenômeno natural induzido pelo acúmulo de uma massa d’água junto à costa e por processos oceanográficos e que provoca efeitos perceptíveis nas praias ou no litoral, efeitos estes que variam desde danos severos à construções e infraestruturas, lançamento de areia em ruas e avenidas ou simplesmente a presença de ondas muito grandes que se tornam espetáculo atraindo moradores, turistas e surfistas. Esta constatação é importante, pois delimita o conceito de ressaca e o diferencia do termo tempestade que não estaria necessariamente associado a efeitos sentidos pela sociedade.

Os valores das alturas de onda detectados pela reanálise WW3 associados à data da ocorrência da ressaca noticiada pelo jornal O Globo eram variados, mas com forte predominância de ondas superiores a 2,5 m, o que reforça a validação dos dados do modelo global de reanálise de ondas para análises regionais de impactos costeiros. No entanto, no litoral leste e nordeste do estado, entre Arraial do Cabo e Atafona, as ressacas estão associadas à ondulações de sudeste com ondas de aproximadamente 1 a 2,6 m de altura. Tal constatação aponta para a hipótese de que a ocorrência de ressacas não é condicionada pela ocorrência de tempestades severas e que as condições oceanográficas com potencial de causar danos na orla variam de acordo com o clima de ondas.

No caso do litoral leste e nordeste do Rio de Janeiro, o clima de ondas se caracteriza por apresentar ondas com alturas médias relativamente mais baixas por estar mais abrigado das fortes ondulações de sul e sudoeste. Além disso, em alguns trechos deste litoral já foi observada a presença de efeitos erosivos relacionados com efeitos da refração de ondas que originam convergência das ortogonais destas aumentando a sua altura junto à costa em alguns pontos específicos (Muehe *et al.*, 2011).

Deve-se considerar ainda a falta de ordenamento das urbanizações da orla que, em diversos trechos do litoral, resultou no avanço de construções na faixa dinâmica da praia, invadindo por vezes a berma destas. Tal aspecto aponta para mais uma discussão sobre o amplo espectro de alturas de onda indutoras de danos, uma vez que a vulnerabilidade física da praia pode não ser extrema, mas as condições de uso e ocupação aumentam sobremaneira o seu risco, mesmo para eventos de baixa magnitude.

Acredita-se que análises detalhadas da evolução das tempestades, incluindo a duração e altura máxima alcançada, por exemplo, poderão ajudar a definir melhor as condições oceanográficas que causam efeitos na costa. Ressalta-se ainda a importância de se relacionar os valores de maré astronômica e meteorológica, uma vez que estas podem provocar acumulação (*setup*) de água na costa aumentando muito o poder erosivo das ondas. Outro aspecto importante a ser aprofundado é como as condições morfodinâmicas pretéritas, como tendência erosiva causada por evento tempestivo anterior, podem influenciar a gravidade dos efeitos posteriores. Em relação à classificação da severidade, acredita-se que uma análise qualitativa mais detalhada das notícias de jornais poderá auxiliar na definição de classes, conforme já proposto por Paula *et al.*, (2015).

Finalmente, destaca-se a importância dos dois estudos de caso apresentados por representarem claramente as consequências negativas dos eventos de ressaca, apontando danos e prejuízos financeiros, que levam à reflexão sobre a necessidade de urbanização e adaptações mais adequadas nas orlas de cidades expostas a ressacas de mar.

REFERÊNCIAS

- Bird, E. (2008) - Coastal Geomorphology: an introduction. Jon Wiley & Sons.Inc.
- Bulhões, E.M.R.; Fernandez, G.B.; Filho, S.R.O.; Pereira, T.G.; Rocha, T.B. (2014) - Impactos costeiros induzidos por ondas de tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences* 05(2), 155-165.
- Candella R.N., Grossmann, G.S; Quental, S.H.A.J. (1999) - Reconstituição de condições de onda no oceano Atlântico Sul com a utilização do modelo de terceira geração. *Revista de Pesquisa Naval*, 12, 123-134.

- Candella, R.N.; Candella, M.A.V. (2010) - Investigações sobre a ocorrência de ondas anormais em Arraial do Cabo. *Revista Brasileira de Geofísica*. Sociedade Brasileira de Geofísica ISSN 0102-261X. 28(4): 551-561. <http://www.scielo.br/rbg>.
- Chawla, A.; Spindler, D.; Tolman, H. (2012) - 30 Year Wave Hindcasts using WAVEWATCH III with CFSR winds - Phase I. *MMAB Contribution*, nº302, 12p, 2012. http://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn302/MMAB_302.pdf.
- Dolan, R.; Davis, R.E.; (1992) - An intensity scale for Atlantic coast northeast storms. *Journal of Coastal Research*. 8(3), 840-853.
- Fernandez, G.B.; Bulhões, E.M.R; Rocha, T.B. Impacts of Severe Storm Occured in April 2010 along Rio de Janeiro Coast, Brazil. *Journal of Coastal Research*. 64(SI):1850-1854
- GAMA, T. (2014) - Revitalização da orla da Praia dos Cavaleiros é inaugurada. Prefeitura Municipal de Macaé. Macaé, Brasil. http://www.aprh.pt/rgci/submartigos_citations-references_eng.html
- Innocentini, V.; Caetano Neto, E. (1996) - A case study of the 9 August 1998 South Atlantic storm: Numerical simulations of the wave activity. *Weather and Forecasting*, 11: 78-88.
- Innocentini, V.; Arantes, F. O.; Prado, S. C. C. (2003) - Modelo de Ondas Aplicado ao Caso 5-8 de maio de 2001. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 18, n.01, p. 97-104.
- Klumb-Oliveira, L.A.; Pereira, N.E.S.; Leão, R.R. (2015) - Morfodinâmica multitemporal em praia refletiva na costa centro norte do RJ em resposta ao clima de ondas regional. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.16 (1).
- Klumb-Oliveira, L.A. (2015) - *Variabilidade Interanual no Clima de Ondas e Tempestades e seus impactos na costa sudeste do estado do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Komar, P. (1976) - *Beach processes and sedimentation* (2nd Edn.) New Jersey: Prentice Hall. Inc.
- Lins-de-Barros, F. M. (2005) - Áreas críticas e de risco potencial à erosão costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro. In: Anais do X Congresso da Associação Brasileira do Quaternário – ABEQUA. Congresso da Associação Brasileira do Quaternário – ABEQUA. Guarapari, ES, Brasil, CD-ROM.
- Lins-de-Barros, F.M. (2010). *Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 289f.
- Lins-de-Barros, F.M. (2011). Análise integrada da vulnerabilidade costeira e riscos associados. In: Anais do VI Congresso Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Ilha de boa Vista, Cabo Verde, CD-ROM.
- Lins-de-Barros, F.M., & Muehe, D., (2010) Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. *Quaternary and Environmental Geosciences*. , v.2, p.55 - 66, 2010.
- Lins-de-Barros, F.M; Muehe, D.; Roso R. H. (2003) - Erosão e Danos na Orla Costeira do Município de Maricá, Rio de Janeiro. In: Anais do II Congresso de Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Recife, Pernambuco, Brasil, CD-ROM.
- Lins-de-Barros, F.M.; Zeidan, F.; Lima, R (2016) - Adaptações e percepção da população a eventos de ressaca do mar no litoral de Maricá, Rio de Janeiro, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, 16(2),147-161.
- Lins-de-Barros F., Parente-Ribeiro L. (2018) - How Much Is a Beach Worth: Economic Use and Vulnerability to Coastal Erosion: The Case of Ipanema and Arpoador Beaches, Rio de Janeiro (Brazil). In: Leal Filho W., Esteves de Freitas L. (eds) *Climate Change Adaptation in Latin America*. Climate Change Management. Springer, Cham. Online ISBN978-3-319-56946-8
- Mitchell, J.K. (1974) - *Community Response to Coastal Erosion: Individual and Collective adjustments to Hazard on the Atlantic Shore*. The Department of Geography. The University of Chicago, Chicago, EUA.
- Muehe, D. (2006) - Apresentação. In: Muehe, D. (org.), *Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro*, Brasília: MMA ISBN:85-7738-028.
- Muehe, D. (2011) - Erosão costeira - Tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 11(3), 315-325.
- Muehe, D. Fernandes, G.; Bulhões, E.; Azevedo, I. (2011) - Avaliação da Vulnerabilidade Física da Orla Costeira em nível local tomando como exemplo o arco praial entre Rio das Ostras e o cabo Búzios / RJ. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 12 (2), 45-58.
- NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management. Beach Nourishment: A Guide for Local Government Officials. 2013. Acesso em: jan. de 2018. Disponível em: <https://coast.noaa.gov/archived/beachnourishment/html/human/law/index.htm>
- NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management ftp://nopp.ncep.noaa.gov/pub/CFSR_wavehind_ph1/
- Paula, D. P. de; Morais, J.O.; Ferreira, Ó.; Dias, J.A. (2015) - Análise histórica das ressacas do mar no litoral de Fortaleza (Ceará, Brasil): origem, características e impactos. In: Davis Pereira de Paula & J. Alveirinho Dias (orgs.), *Ressacas do Mar / Temporais e Gestão Costeira*, Editora Premium, Fortaleza, CE, Brasil. ISBN: 978-85-7924-440-7, p.173-201.
- Parente, C. E. (1999) - *Uma Nova Técnica Espectral para Análise Direcional de Ondas*. Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Parente, C.E., Nogueira, I.C.M., Martins, R.P. e Ribeiro, E.O. (2014) - Climatologia de Ondas. In: Martins, R.P. & Matheson, G.S.G, editores. *Caracterização Ambiental Regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste: Meteorologia e Oceanografia*. Rio de Janeiro: Elsevier, in press (Série Habitats).
- Pereira, N.E.S; Klumb-Oliveira, L.A. (2015) - Analysis of the influence of ENSO phenomena on wave climate on the central coastal zone of Rio de Janeiro (Brazil). *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, DOI: 10.5894/rgci570. 2015
- Rangel-Buitragon, N.; Anfuso, G. (2011) - An application of Dolan and Davis (1992) classification to coastal storms in SW Spanish littoral. *Journal of Coastal Research*, SI 64:1891-1895.
- Santos, C.L.; Silva, M.A.M.; Salvador, M.V.S. (2004) - Dinâmica Sazonal e os Efeitos das Ressacas nas Praias de Niterói / RJ *Revista Brasileira de Geociências* 34(3):355-360.

- Santos, F.D.; Lopes, A.M.; Moniz, G.; Ramos, L.; Taborda, R. (2017). Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da Zona Costeira: O desafio da mudança. Filipe Duarte Santos, Gil Penha-Lopes e António Mota Lopes (Eds). Lisboa (ISBN: 978-989-99962-1-2)
- Souza, T.; Bulhões, E.; Amorim, I.B.S. (2015) - Ondas de Tempestade na Costa Norte Fluminense. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 06(2),10-17.
- Shepard, F.P. (1950) - Beach cycles in Southern California. U.S. Army Corps of Engineers. *Beach Erosion Board Technical Memorandum*, 20.
- Short, A.D. (1999) - Handbook of beach and shoreface morphodynamics. London: John Wiley & Sons Ltd. 1999.
- Sterl, A. & Caires, S. (2005) - Climatology, variability and extrema of ocean waves: the web-based Knmi/Era-40 Waves Atlas. *International Journal of Climatology*. 25: 963–977. <http://www.interscience.wiley.com>. DOI: 10.1002/joc.1175
- Violante-Carvalho, N. (1998) - Investigação sobre a evolução do clima de ondas na Bacia de Campos e a correlação com as situações meteorológicas associadas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- You, Z.J & Lord, D. (2008) - Influence of the El-Niño-Southern Oscillation on NSW coastal storm severity. *Journal of Coastal Research*. 24(2A), 203-207.

SUPPORTING INFORMATION I

AVALIAÇÃO HISTÓRICA DA OCORRÊNCIA DE RESSACAS MARINHAS E DANOS ASSOCIADOS ENTRE OS ANOS DE 1979 E 2013 NO LITORAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (BRASIL)

Tabela 1 - Notícias do jornal O Globo nos seis eventos mais severos de tempestade que atingiram o litoral do estado do Rio de Janeiro entre 1979 e 2013.

Table 1 - O Globo newspaper reports on the six most severe storm events that hit the coast of the state of Rio de Janeiro between 1979 and 2013.

Data da Notícia	Descrição da notícia	Altura média de onda em P1 (m)	Período médio de onda em P1 (s)	Direção média de onda em P1 (graus)
12/05/1987	“Garis removem 200 toneladas de areia que invadiram no domingo o calçadão e pistas da Avenida Delfim Moreira, no Leblon.” “O mar agitado com ondas de até 3 metros (no Domingo chegaram a 4 metros).”	3,38	11,49	200°
12/08/1988	“Em Saquarema, as ondas chegaram até 5 metros” “Ressaca fez com que 150 barcos se chocasse uns contra os outros na Marina da Glória”	4,3	13,25	183°
07/05/2001	“Em Saquarema, as ruas do centro ficaram alagadas com a ressaca.” “Ressaca causa transtornos na zona sul, Leblon, São Conrado, Ramos e Ilha do Fundão, além de destruir parte da Orla Bardot, em Búzios”.	3,26	10,71	204°
31/05 e 01/06/1997	“Mar invade a Avenida Atlântica” “Uma onda de destruição varre a Orla”	4,10	12,00	164°
25/08/2011	“Mar invade o calçadão de Copacabana. Trecho do deque de madeira do mirante do Leblon foi danificado e interditado. Ressaca danifica calçadão da Praia das Flechas em Niterói”	3,40	15,80	176°

Tabela 2 - Dados dos eventos de ressacas registrados ao largo do município de Macaé (RJ) entre 1979 e 2013.

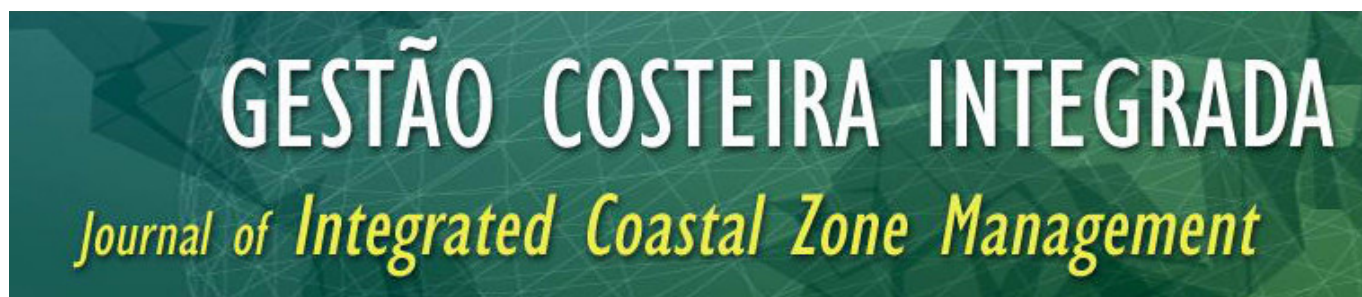
Table 2 - Data of storms events recorded in the municipality of Macaé (RJ, between 1979 and 2013.

Data de ocorrência	Principais praias afetadas e danos noticiados	Região do Estado afetada	Fonte dos dados da notícia	Parâmetro de Ondas do Ponto 1 segundo reanálise do modelo WW3			Parâmetro de Ondas do Ponto 2 segundo reanálise do modelo WW3		
				Altura (m)	Período (s)	Direção (graus)	Altura (m)	Período (s)	Direção (graus)
10/08/2006	“Mar de ressaca ameaça casas na orla de Macaé”	Litoral norte	Acervo O Globo	1,3	12,34	161,14	1,52	12,49	152,85
23/08/2006	“Ondas atingem o calçadão do Leblon. Macaé é atingido, segundo informações do site da prefeitura deste município”	Litoral norte e Cidade do RJ	Acervo O Globo / Prefeitura de Macaé	2,55	8,98	194,75	2,01	8,91	179,27
27/06/2007	“Mar avança sobre Macaé”	Litoral norte	Acervo O Globo	3,3	14,67	185,48	2,66	14,94	165,7
30/07/2007	“Avenida Atlântica tomada pelas águas. Ressaca atingiu a orla com ondas de até três metros. Macaé é atingido, segundo informações do site da prefeitura deste município”	Litoral norte e Cidade do RJ	Acervo O Globo / Prefeitura de Macaé	3,97	14,29	191,28	3,19	14,1	170,22

Tabela 2 - Dados dos eventos de ressacas registrados ao largo do município de Macaé (RJ) entre 1979 e 2013. (continuação)

Table 2 - Data of storms events recorded in the municipality of Macaé (RJ), between 1979 and 2013 (Continuation).

Data de ocorrência	Principais praias afetadas e danos noticiados	Região do Estado afetada	Fonte dos dados da notícia	Parâmetro de Ondas do Ponto 1 segundo reanálise do modelo WW3			Parâmetro de Ondas do Ponto 2 segundo reanálise do modelo WW3		
				Altura (m)	Período (s)	Direção (graus)	Altura (m)	Período (s)	Direção (graus)
25/04/2008	“Ressaca quase afunda Cata-marã na travessia Charitas-Rio deixando 17 passageiros feridos. Atingiu o norte fluminense, sendo Macaé o município mais afetado”	Niterói e litoral norte	Acervo O Globo	2,07	13,8	158,08	1,87	13,99	149,65
16/03/11	“Mar destrói calçadão mais famoso de Macaé, na Praia dos Cavaleiros”	Litoral norte e Cidade do RJ	Acervo O Globo	1,41	10,72	138,88	1,55	9,04	119,73



Analysis of the evolution of Brazilian ports' environmental performances

Análise da evolução do desempenho ambiental dos portos brasileiros

Carlos Henrique Rocha¹, Gladston Luiz Silva², Lucijane Monteiro de Abreu³

¹ Professor Associado na Universidade de Brasília. Email: chrocha@unb.br

² Professor Adjunto na Universidade de Brasília. Email: gladston@unb.br

³ Professor Adjunto na Universidade de Brasília. Email: lucijanemonteiro@gmail.com

ABSTRACT: Worldwide, communities living near ports and environmentalists put pressure on port authorities to mitigate their environmental impacts with the major ones being water and air pollution. In 2011, Brazil, through the National Agency of Waterway Transportation (ANTAQ), advanced towards monitoring and environmental control in national ports. ANTAQ signed a cooperation agreement with the Interdisciplinary Center for Transport Studies at the University of Brasilia (CEFTRU/UnB) to develop a methodology to calculate the environmental performance of port facilities. The result of this cooperation is the Environmental Performance Index, known as IDA, which assumes values between zero and one ($0 \leq IDA \leq 1$). Optimum port environmental performance is reached when the index is equal to 1. ANTAQ computes IDA for thirty Brazilian ports located in the North, Northeast, South and Southeast and administered by federal, state or local agencies. This paper analyzes the evolution of the environmental performance in Brazilian ports and investigates whether environmental performance differs between them. The study comprises the period between the first semester of 2012 and the first semester of 2016 (2012.01-2016.01). The application of tests for means comparison to the data revealed that: a) environmental performance was lower in the ports managed directly by the federal government when compared to the environmental performance of the delegated ports; b) the environmental performance of the ports of the macro-regions South/Southeast was higher than in the ports of the macro-regions North/Northeast. The paper is not dedicated to understanding the reasons for the differences in port environmental performance during the period considered. That should be the subject of additional research.

Keywords: Environmental performance index, environmental performance analysis, Brazilian ports, comparison of means, Duncan's test.



RESUMO: *As comunidades residentes nas proximidades dos portos e os ambientalistas exercem pressões sobre as autoridades portuárias para atenuar os impactos ambientais das suas atividades, que poluem especialmente a água e o ar. Em 2011, o Brasil, por intermédio da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), deu um importante passo na direção do monitoramento e controle ambiental nos portos nacionais. A ANTAQ assinou um termo de cooperação com o Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes da Universidade de Brasília (CEFTRU/UnB) para desenvolverem uma metodologia de cálculo do desempenho ambiental de instalações portuárias. Como resultado desta cooperação foi criado o índice de desempenho ambiental, denominado IDA, que assume valores entre 0 e 1 ($0 \leq IDA \leq 1$), inclusive. A plenitude de desempenho ambiental portuário é atingida quando o índice for igual a 1. O IDA tem sido calculado para trinta portos brasileiros localizados nas regiões norte, nordeste, sul e sudeste e administrados por órgãos federais, estaduais ou municipais. Este artigo analisa a evolução do desempenho ambiental nos portos brasileiros e investiga se o desempenho ambiental diferiu entre portos. O estudo compreende o período entre o primeiro semestre de 2012 e o primeiro semestre de 2016. A aplicação de testes de comparação de médias revelou que: a) o desempenho ambiental foi inferior nos portos administrados diretamente pelo governo federal quando comparado com o desempenho ambiental dos portos delegados; e b) o desempenho ambiental dos portos da macrorregião sul/sudeste foi superior ao dos portos da macrorregião norte/nordeste. Com o presente artigo não se pretende analisar as razões das diferenças no desempenho ambiental portuário, no período considerado, as quais deverão ser objeto de pesquisas adicionais.*

Palavras-chave: Índice de desenvolvimento ambiental, análise do desempenho ambiental, portos brasileiros, comparação de médias, teste de Duncan.

1. INTRODUCTION

In a modern globalized world, more than ever before, a country's economic performance depends on efficient goods distribution networks, where ports play an outstanding role (Reveley and Tull, 2008; Talley, 2009). The competitiveness of national products in world markets depends on the speed, reliability and costs of port services with environmental responsibility duly guaranteed. All over the world, ports greatly boost trade, but they also face serious environmental challenges.

Like any other activity that could potentially harm the environment, ports depend on prior environmental licensing in order to operate and consequently they are liable to environmental impact assessments in addition to being obliged to recuperate any damage eventually caused to the environment.

Negative impacts on the environment tend to increase with the volume of cargo being handled. According to Bailey and Solomon (2004) and Boer and Verbraak (2010), water and air pollution are the major environmental impacts of ports. Port water can become polluted in innumerable ways. Talley (2009) lists some of the possibilities: spills of waste materials during changes of ballast water, elimination of waste by the vessels, use of anti-encrustation paints on the hulls of vessels, dredging operations and oil spills from vessels. Martins and Vegas (2013) report that the use of anti-encrustation paints on the hulls of vessels can have long-lasting effects on aquatic organisms. Ships also pollute the air when they are in port in the moment they activate

their engines to generate electricity on board. The fossil-fuel burning engines of locomotives and trucks, while they are within the port area, and the equipment installed in the port itself, all exacerbate air pollution (Bailey and Solomon, 2004). Atmospheric pollution levels in port areas are a source of concern all over the world as Boer and Verbraak (2020) and many other authors have pointed out. Worldwide, communities living near the ports and environmentalists put pressure on port authorities to mitigate their environmental impacts (CCA, 2017; Talley, 2009).

The response of the port operators around the world has been in the form of management practices for environmental monitoring and control. In continental Europe, for example, at least 150 ports and terminals have formed a network with the aim of harmonizing their environmental management (Kitzmann and Asmus, 2006). In the 1990s, the United Kingdom launched a series of initiatives in order to measure physical-chemical and biological parameters in ports and to identify the vulnerability and sensitivity of habitats in relation to port operations, making use of biological indicators such as the occurrence of certain species as well as using diversity and richness of species indexes (Rodrigues, 2014).

By means of its National Agency of Waterways Transportation (ANTAQ), Brazil took an important step in 2011 towards achieving environmental monitoring and control in its ports. ANTAQ signed a Cooperation Agreement with the University of Brasília's Interdisciplinary Center for Transport Studies

(Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes da Universidade de Brasília - CEFTRU/UnB) for the purpose of developing a methodology that would enable a calculation of the environmental performance of port installations.

That cooperation led to the creation of an environmental performance index (*índice de desempenho ambiental* - IDA). In a synergic perspective, the index considers the social, environmental and economic dimensions of sustainable development. It works with values ranging from 0 to 1, as such $0 \leq IDA \leq 1$. A port reaches the maximum environmental performance if it achieves an index value of 1.

The IDA has been computed for thirty Brazilian ports located in the North, Northeast, South and Southeast macro-regions, managed by federal, state or municipal bodies. Table 1 presents the distribution of the ports discriminated by regions and by the type of port administrating authority.

Table 1 - Distribution of 30 Brazilian ports with IDAs calculated.

Tabela 1 - Distribuição dos 30 portos brasileiros com IDAs calculados.

By region			
North	Northeast	South	Southeast
5	12	6	7
By types of port administration			
Federal		State/Municipal	
16		14	

This paper analyzes the evolution of environmental performance in Brazilian ports to discover whether there are any significant differences among their IDAs. The sampling period was from the first semester of 2012 to the first semester of 2016. The data were submitted to the Duncan's test for comparing means.

After this introduction, section 2 presents a brief description of ANTAQ's environmental performance index. Later, section 3 presents the tests of comparison of the average IDAs among the Brazilian ports and section 4 presents the conclusions.

2. ANTAQ'S ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX

2.1 Composition of the ANTAQ Environmental Performance Index

The IDA was obtained considering four aspects of environmental conditions: economic-operational, sociocultural, physical-chemical and ecological-

biological conditions (Rodrigues, 2014). Each category was decomposed into sub-categories and finally into alternatives. The weight attributed to a sub-category is the sum of the weights of the corresponding alternatives. The weights were obtained using software that works on the basis of dominance principles or hierarchies after prior consultations with experts on port environments.

Accordingly, the environmental performance index has the branching structure of a tree as is usual with the application of hierarchical analysis methods (Costa, 2006).

2.2 Environmental Performance of Brazilian Ports

Being well aware of the new technical and management trends in the world, ANTAQ approved the monitoring and control of environmental management in port installations by means of the environmental performance index (ANTAQ's Resolution 2.659/2012).

The IDA may trigger effects such as obligations, rewards and recognition for port managements in addition to creating considerable technical information flows to enable knowledge and understanding of environmental management as practiced in Brazilian ports. It can safely be stated that the environmental performance index has become consolidated and is considered an advance in regulatory practices.

The environmental performance indexes that ANTAQ has published for Brazilian ports are set out in Table 2. Considering the period from the first semester of 2012 to the first semester of 2016 (2012.1-2016.1), the most outstanding differences in the IDAs over that period are those of the port of Natal in the state of Rio Grande do Norte and the port of Paranaguá in the state of Paraná. The ports of Salvador in the state of Bahia and Imbituba in the state of Santa Catarina registered the biggest drops in their IDAs over that period.

Still referring to Table 2, it can be seen that some ports have IDAs that are notably higher than the rest especially in the case of Itajaí/Santa Catarina and São Sebastião/São Paulo, in the half-year of 2015. In contrast to that, the ports of Porto Velho in Rondônia and Porto Alegre in Rio Grande do Sul have IDAs that are notable lower than the others. On the other hand, taking the average of all the values from 2012.1 to 2016.1, there was an overall positive evolution in the environmental performance index.

3. MATERIAL AND METHODS

3.1 Objectives and Test Selection

Tests were conducted to detect any differences among the IDAs for ports according to: year, state, region and

Table 2 - Brazilian Ports and their Environmental Performance Indexes (2012.1-2016.1).

Tabela 2 - Portos brasileiros e seus Índices de Desempenho Ambiental (2012.1-2016.1).

Ports	2012.1	2012.2	2013.1	2013.2	2014.1	2014.2	2015.1	2015.2	2016.1
	Environmental Performance Indexes (%)								
Angra dos Reis/RJ	68	68	68	66	70	70	70	99	99
Aratu/BA	49	36	37	40	42	42	45	94	98
Belém/PA	63	63	68	62	62	60	64	89	84
Cabedelo/PB	44	47	47	47	47	57	50	81	82
Forno/RJ	33	33	58	60	63	64	56	83	95
Fortaleza/CE	71	71	72	72	72	82	85	84	88
Ilhéus/BA	36	34	32	39	44	47	47	61	61
Imbituba/SC	70	70	49	57	58	57	57	74	75
Itaguaí/RJ	61	61	61	62	61	61	61	77	70
Itajaí/SC	92	97	93	93	90	93	96	71	71
Itaqui/MA	71	71	72	72	72	82	85	64	68
Macapá/AP	35	49	38	29	34	37	40	58	67
Maceió/AL	40	57	60	49	41	39	45	66	69
Natal/RN	41	54	61	65	63	68	79	52	52
Niterói/RJ	70	68	68	68	67	67	67	51	49
Paranaguá/PR	47	34	58	61	80	81	80	54	54
Porto Alegre/RS	33	14	12	18	20	20	17	62	61
Porto Velho/RO	22	25	32	31	31	27	27	63	63
Recife/PE	46	54	56	43	53	53	57	61	61
Rio de Janeiro/RJ	49	49	56	58	52	52	52	65	65
Rio Grande/RS	77	73	73	73	72	71	71	50	51
Salvador/BA	60	48	35	39	43	43	45	52	61
Santarém/PA	66	66	71	73	65	64	64	41	32
Santos/SP	64	71	62	63	60	64	64	56	62
São Francisco do Sul/SC	63	76	75	75	74	62	72	46	45
São Sebastião/SP	67	73	73	87	90	96	98	44	41
Suape/PE	49	71	71	71	71	73	79	37	37
Terminal Pecém/CE	67	66	69	69	65	66	66	37	28
Vila do Conde/PA	63	63	68	62	62	60	64	22	33
Vitória/BA	47	34	41	43	44	44	46	13	28
Means	55	57	58	58	59	60	62	60	62

Source: ANTAQ Internet Page (Select: Meio Ambiente/IDA). IDA numbers are times 100.

macro-region. It was also verified whether there were any statistically significant differences between ports whose administration is delegated to states, municipalities or public consortia and the federally managed ports. The delegated ports are: Cabedelo/Paraíba; Forno/Rio de Janeiro; Imbituba/Santa Catarina; Itajaí/Santa Catarina; Itaqui/Maranhão; Macapá/Amapá; Paranaguá/Paraná; Porto Alegre/Rio Grande do Sul; Porto Velho/Rondônia. Recife/Pernambuco; Rio Grande/Rio Grande do Sul;

São Francisco do Sul/Santa Catarina; São Sebastião/São Paulo; Suape/Pernambuco.

Duncan's test is used for multiple comparisons of means (Vieira, 2006). Among the other well-known tests most used for that same purpose are the Tukey test and the applied *t* test. According to Vieira (2006), the Tukey test and Duncan's test have some similarities, but Duncan's test is less conservative so that it presents significant differences more readily, while the Tukey test is more

accurate and has a 95% probability of not identifying as significant, a difference that is actually null among all the means of the treatments.

In the case of the *t* test, which is equivalent to the Fisher (1950) test when the sample sizes are equal, the level of significance for experiments becomes very high because tests comparing means are carried out two by two. The Duncan's test was selected because it establishes a half-way condition between the accuracy of the Tukey test and the limitations of the *t* test.

3.2 The Duncan's Test

To proceed with Duncan's test, the first step is to organize the values (in this case the means of the IDA values) in decreasing order. Then the minimum significant difference (between the highest and the lowest means) is calculated. Note that there are *k* means situated between the highest and the lowest means. The significant minimum difference is obtained from the following equation:

$$s.m.d = z \sqrt{\frac{MSR}{r}} \quad (1)$$

where *z* is the value of the statistic to the pre-determined level of significance for the number of means in the interval being analyzed and for the number of degrees of freedom of the variance analysis residue (Harter, 1960), *MSR* is the mean square residual of variance analysis and *r* is the number of repetitions (in this case, the number of semesters used to compute the means).

The second step is to verify whether the compared means are statistically significant to the established level. Whenever two means are not significant, the interval between them is underscored. For example, consider the mean values A, B, C and D, Figure 1. Panel 1 shows that the means are not statistically different from one another. Panel 2 shows that the means A, B and C are not statistically different from one another but they are from D. Panel 3 shows that the means A and B do not differ statistically but they do differ from the means C and D and that the means B, C and D are not significant.

Panel 1	Panel 2	Panel 3
A B C D	A B C D	A B C D

Figure 1 - Duncan's test example.

Figura 1 - Teste de Duncan: exemplo.

The usual presentation for the variance analysis of a factor of interest is done as set out in Table 3.

Table 3 - Variance analysis for a simple factorial experiment.

Tabela 3 - Análise de variância para uma experiência fatorial simples.

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of the Squares	Mean Square	F ₀ ¹
Treatments	(<i>a</i> - 1)	SS _{Treatment}	MS _{Treatment}	$\frac{MS_{Treatment}}{MS_{Error}}$
Error	<i>a</i> (<i>n</i> - 1)	SS _{Error}	MS _{Error}	
Total	<i>a</i> (<i>n</i> - 1)			

¹F₀ is the calculated value of the statistic *F*. MS_{Error} = *MSR* in equation (1).

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Variance Analysis

Table 4 sets out the variance analysis of the Environmental Performance Indexes of ports discriminated by macro-regions and by administrative authorities.

Table 4 - IDA Variance Analysis (2012.1-2016.1).

Tabela 4 - Análise de Variância do IDA (2012.1-2016.1).

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F	P-value
Modelo	23	65,709.13	2,856.92	34.50	<.0001
State	14	47,861.11	3,418.65	41.29	<.0001
Region	3	8,743.44	2,914.48	35.20	<.0001
Macro-region	1	7,398.06	7,398.06	89.35	<.0001
Delegated Port	1	648.82	648.82	7.84	0.0055
Year	4	1,057.68	264.42	3.19	0.0140
Error	246	20,369.41	82.80		
Total	269	86,078.54			

Based on the values set out in Table 4 it is possible to calculate the Coefficient of Determination (R²) which in this case is equal to 0.763. This means that approximately 76% of the variation registered in the IDAs of Brazilian ports during the period of study can be explained by the variables related to the model. The Coefficient of determination is defined (Vieira, 2006) by,

$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Error}} \quad (2)$$

where *R*² represents the coefficient of determination, *SS*_{Model} the sum of the squares for the model and *SS*_{Total} the total sum of the squares.

4.2 State of Location

To verify what differences were found in the IDAs of ports, discriminated by their states of location, the Duncan's test was applied to groups of different sizes (Vieira, 2006) and the results are presented in Table 5.

Table 5 - Duncan's test applied to the means discriminated by states.

Tabela 5 - Teste de Duncan aplicado às médias discriminadas pelos Estados.

Groups - Duncan	Mean	n	State
A	77.6	9	MA
B	75.9	18	SP
B	75.4	27	SC
B	71.1	18	CE
B	68.9	9	PR
D	63.4	18	PE
D	61.7	27	PA
D	61.4	9	RN
D	61.0	45	RJ
E	50.4	9	PB
E	46.2	18	RS
E	44.9	9	AL
F	43.0	36	BA
F	36.3	9	AP
G	27.8	9	RO

Legend: MA = Maranhão; SP = São Paulo; SC = Santa Catarina; CE = Ceará; PR = Paraná; PE = Pernambuco; PA = Pará; RN = Rio Grande do Norte; RJ = Rio de Janeiro; PB = Paraíba; RS = Rio Grande do Sul; AL = Alagoas; BA = Bahia; AP = Amapá; RO = Rondônia

The results of Table 5 show that in the period 2012.1-2016.1:

- The ports in the states of Maranhão, São Paulo, Santa Catarina and Ceará presented environmental performance indexes significantly higher than those in the other states with IDAs lower than those of the ports in the state of Paraná;
- The mean IDAs of the ports in the states of Paraná, Pernambuco, Pará and Rio Grande do Norte do not differ significantly from one another but were higher than those presented by ports of states with a mean IDAs lower than those of the State of Rio de Janeiro;
- The IDAs of the ports in the states of Paraíba, Rio Grande do Sul, Alagoas and Bahia did not differ significantly from one another, but were significantly higher than the IDAs of the port of Porto Velho. Furthermore, the IDA of the ports of the states of Bahia and Amapá did not differ significantly from one another;

- The IDA of the port of Porto Velho was the lowest one.

4.3 Region

The IDAs of the ports in in the regions South and Southeast do not differ significantly among themselves. The same is true for the ports of the regions North and Northeast (Table 6).

Table 6 - Duncan's Test for the Means of the IDAs by Regions.

Tabela 6 - Teste de Duncan aplicado às médias dos IDAs discriminadas por regiões.

Groups - Duncan	Mean	n	Region
A	65.2	63	Southeast
A	64.6	54	South
B	56.3	108	Northeast
B	49.8	45	North

On the other hand, according to Table 7, the IDAs registered for ports in the South and Southeast regions (SS) were statistically higher than those for ports in the North and Northeast regions (NN).

Table 7 - Duncan's test: comparison of the mean IDA of ports in the south/southeast regions and the north/northeast regions.

Tabela 7 - Teste de Duncan: comparação do IDA médio dos portos nas regiões sul/sudeste e norte/nordeste.

Groups - Duncan	Mean	n	Region
A	64.947	117	SS
B	54.384	153	NN

4.4 Delegated Port

The mean IDAs of the delegated ports were significantly higher than those registered for federally managed ports, Table 8.

Table 8 - Duncan's test: comparison of the mean IDA of federal and delegated ports (2012.1-2016.1).

Tabela 8 - Teste de Duncan: comparação do IDA médio dos portos federais e delegados (2012.1-2016.1).

Groups - Duncan	Mean	n	Ports
A	60.619	126	Delegated
B	57.511	144	Federal

4.5 Year

Statistical differences were found associated to the annual mean IDAs (Table 9). The mean annual IDAs for the years 2015 and 2016 were significantly higher than the means for the first year (when data gathering began). The mean IDAs for the periods 2012-2014 did not showed any significant differences although they did reveal a tendency to increase.

Table 9 - Duncan's test for the annual IDA means.

Table 9 - Teste de Duncan para o IDA anual médio.

Groups - Duncan	Mean	n	Year
A		30	2016
A	60.920	60	2015
B	59.485	60	2014
B	58.076	60	2013
B	55.979	60	2012

5. CONCLUSIONS

In 2011, ANTAQ and CEFTRU/UnB signed a cooperation agreement with the purpose of developing a methodology to calculate the environmental performances of port installations. That cooperation resulted in the development of an index of environmental performance known as the IDA. The Index values may vary from 0 to 1 ($0 \leq IDA \leq 1$). An index of 1 corresponds to the maximum environmental performance. The IDA has been computed for thirty Brazilian ports located in the macro-regions North, Northeast, South and Southeast, some managed by Federal bodies and others by delegated states and municipal bodies or public consortia. It is clear that the average environmental performance of ports has evolved positively since the implantation of the IDA.

This paper investigates the evolution of the Brazilian ports' environmental performance and investigates whether the environmental performances of ports in different national regions and with different types of port management differ significantly. The analysis considers data gathered from the first half-year of 2012 to the first half-year of 2016. Duncan's multiple means comparison test was applied to the data. It must be stated that this paper is not dedicated to gaining an understanding of the reasons for the differences in ports' environmental performances in the period under consideration; that should be the motive for additional studies.

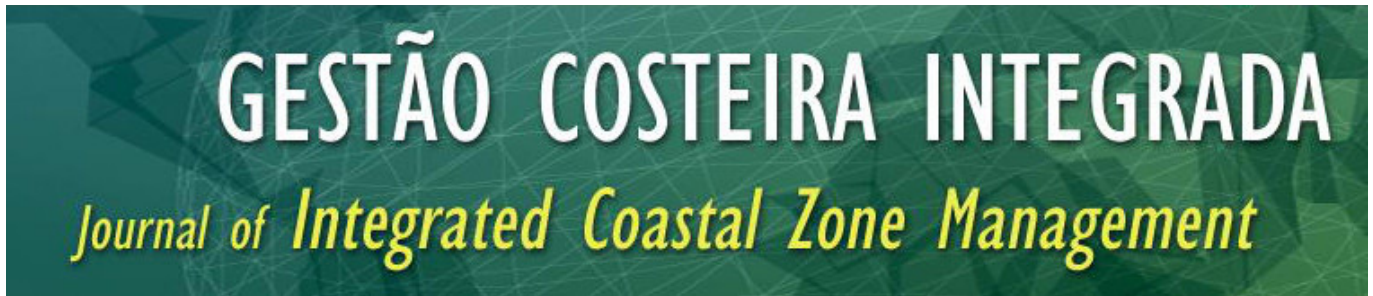
The results obtained by comparing mean values suggested that the environmental performances of the ports in the South and Southeast macro-regions are significantly better than those obtained for ports in the North and

Northeast and that the delegated ports present a better performance than those under federal administration. It has been shown that the environmental performance has improved with time because the mean IDAs for 2015 and 2016 are significantly higher than the mean IDAs obtained for the other years embraced by the study sampling.

The port that could serve as a national benchmark is the port of Itajaí in Santa Catarina which obtained a mean IDA of 93.93 for the period 2012.1-2016.1. Furthermore, the ports of São Sebastião in São Paulo, Itaqui in Maranhão, Fortaleza in Ceará, Suape in Pernambuco, Rio Grande in Rio Grande do Sul and São Francisco do Sul in Santa Catarina, could be considered regional benchmarks. On the other hand, the ports of Porto Velho in Rondônia and Porto Alegre in Rio Grande do Sul registered environmental performance indexes well below the others.

REFERENCES

- Bailey, D. e Solomon, G. (2004) Pollution prevention at ports: clearing the air. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 24, n. 7-8, p. 749-774. DOI: 10.1016/j.eiar.2004.06.005.
- Boer, E. and Verbraak, G. (2010) *Environmental impacts of international shipping: a case study of the port of Rotterdam*. Paris: OCDE.
- CCA. (2017) *The Value of Commercial Marine Shipping to Canada*. Ottawa: Council of Canadian Academies (CCA).
- Costa, H. G. (2006) *Introdução ao método de análise hierárquica*. Niterói: LATEC/UFF.
- Fisher, R. A. (1950) *Statistical Methods for Research Workers*. London: Oliver and Boyd.
- Harter, H. L. (1960) Critical values for Duncan's new multiple range test. *Biometrics*, v. 16, n. 4, p. 671-685. DOI: 10.2307/2527770.
- Kiztmann, D. and Asmus, M. (2006) Gestão ambiental portuária: desafios e possibilidades. *Revista de Administração Pública*, v. 40, n. 6, p. 1041-60.
- Martins, T. L. e Vargas, V. M. F. (2013) Riscos à biota aquática pelo uso de tintas anti-incrustantes nos cascos de embarcações. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, v. 8, n. 1, p. 1-11. DOI: 10.5132/eec.2013.01.001.
- Reveley, J. e TULL, M. (2008) Privatisation postponed: convergence and divergence in Australian and New Zealand port reform. In J. Reveley e M. Tull (Org.) *Port privatisation: the Asia-Pacific experience*. Cheltenham (UK): Edward Elgar.
- Rodrigues, J. C. (2014) O índice de desempenho ambiental dos portos brasileiros: panorama e análise crítica. *Terceiro Incluído*, v. 4, n. 1, p. 44-65.
- Talley, W. K. (2009) *Port economics*. New York: Routledge.
- Vieira, S. (2006) *Análise de variância (ANOVA)*. São Paulo: Atlas.



Evolução recente da baía do Portinho da Arrábida: Contributos da geologia para uma correta gestão ambiental

Recent evolution of Portinho da Arrábida bay: Geology contribution to a correct environmental management

Luís Rebêlo¹, Sílvia Nave²

¹ Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira - Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Email: luis.rebelo@lneg.pt

² Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira - Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Email: silvia.nave@lneg.pt

RESUMO: A Praia do Portinho da Arrábida é reconhecida, desde há muito, como uma das praias portuguesas de maior beleza natural. A evolução geológica, com alterações significativas na dimensão do areal e na qualidade dos sedimentos levaram a que o ambiente de praia se tenha degradado significativamente nos últimos anos. Em paralelo com as alterações geológicas, têm ocorrido transformações na ocupação e na utilização do espaço que se têm revelado como erros de gestão territorial. De forma a compreender melhor os processos envolvidos nesta faixa costeira, fez-se uma pesquisa do historial das alterações recentes ocorridas na baía, enquadrando-as do ponto de vista geológico, e identificando os problemas existentes.

A análise da evolução da baía do Portinho da Arrábida mostra que o areal diminuiu de forma acentuada, desde o início do século passado, sendo a situação atual caracterizada por uma escassez de areia que reduz significativamente a qualidade balnear da mesma. A dimensão da praia diminuiu notavelmente, sendo que o seu comprimento está reduzido a 37% e a sua área a 43% do valor que outrora apresentaram. Acresce que a percentagem relativa de calhaus na face da praia aumentou, sendo frequente que parte significativa dos restantes 37% de praia se encontre coberta por material grosseiro na zona intertidal. A tendência erosiva tem-se mantido, e o recuo da linha de costa, embora lento, começa já a atingir a duna localizada no extremo oeste da Praia do Creiro.

Indicadores geológicos apontam para que as variações na quantidade de areia na baía do Portinho possam ser encaradas

como um fenómeno natural. No entanto, e devido à estreita ligação da praia com o delta do Sado, as ações de fixação do canal de navegação e da sua dragagem promovem alterações na dinâmica do delta, podendo ter consequências negativas na dimensão da praia.

Pretende-se que a análise efetuada neste trabalho constitua um contributo para encontrar soluções para os problemas existentes, de modo que as futuras intervenções na área possam, de forma integrada, anular e/ou minorar os efeitos das alterações naturais e pressões antrópicas a que a baía tem estado sujeita.

Palavras-chave: Portinho da Arrábida; erosão costeira; Portugal

ABSTRACT: The Portinho da Arrábida beach has long been recognized as one of the most beautiful Portuguese seashores. Geological evolution, with recent significant changes in beach size and sediment quality, led to a decline of beach environment. In parallel with geological changes, significant modifications occurred in relation to the land use and occupation density, in accordance with an absent or inadequate land management. In order to improve the understanding of the coastal processes in this area, a review of the short-term geological and geographic changes that occurred in the bay were made, and major problematic issues were identified.

Old historical postcards and photos were used to infer the coastline position in the beginning of the last century and the analysis of the evolution of Portinho da Arrábida bay shows that the amount of sand has dropped considerably since then. Presently, there is a shortage of sand with negative effects on the beach quality. The beach size decreased significantly, remaining only 43% of its area and 37% of its length. In addition, the relative percentage of pebbles on the beach face has increased, and a significant part of the remaining 37% of the beach is often covered by coarse material in the intertidal zone. The erosive trend has been maintained, and the retreat of the coastline, although slow, already started to reach the dune at the western part of the Creiro beach.

Geological indicators suggest that the sand volume variations in Portinho da Arrábida bay are related to a natural trend. However, due to the close relationship of the beach with the Sado delta, the maintenance of the navigation channel and the associated dredging, promote changes in the delta dynamics that may play a negative role on the beach size.

This work intends to be a contribution to improve the knowledge of Portinho da Arrábida bay dynamics, in order to help to find solutions, so that upcoming plans in the area can, desirably in an integrated way, stop and/or reduce the effects of natural changes and anthropic pressures undertaken in the bay.

Keywords: Portinho da Arrábida; coastal erosion, Portugal

1. INTRODUÇÃO

A beleza natural da praia do Portinho da Arrábida é, desde há muito, reconhecida por todos os que a visitam, facto que a fez ser considerada, em 2010, uma das *Sete Maravilhas de Portugal*.

O relevo da zona envolvente, marcado pela imponência da Serra da Arrábida, onde predominam íngremes penhascos e encostas de acentuado declive, a vegetação mediterrânica, as areias claras e as águas calmas e cristalinas, com tonalidades ora azul, ora verde esmeralda, tornaram a baía do Portinho um local de características naturais únicas em Portugal e um dos setores costeiros mais apreciados para o lazer.

Apesar da beleza do local, terão sido as condições naturais da baía, com mar calmo, protegida dos temporais e com uma extensa praia arenosa, que fizeram com que o Portinho tenha sido, desde há muito, utilizado como

porto natural de desembarque e de proteção. A utilização dos areais costeiros, para lazer e uso balnear, veio trazer uma nova atividade à praia do Portinho da Arrábida e uma acrescida pressão sobre o sistema natural.

Às primeiras construções, para apoio das atividades portuárias e de pesca, rapidamente se juntaram outras para fins turísticos, ocupando gradualmente o areal e mesmo a parte menos inclinada das encostas. A progressiva construção rapidamente excedeu os limites do aceitável para a manutenção de uma paisagem de qualidade bem como de um ambiente próprio para o objetivo a que se destinava a praia, passando a ocupação de 33 edificações, em 1933, para 305, em 1978 (Carvalho, 2015).

Perante a situação ambientalmente insustentável de ocupação do espaço, atingida na década de 80, foi então implementado um programa de demolição do extenso casario existente, desaparecendo toda a ocupação no

areal e na área envolvente (Carvalho, 2015). Desde então, tem-se efetuado um esforço para a requalificação ambiental e paisagística da região, verificando-se uma mudança na ocupação e na utilização do espaço (Pereira da Silva, 2016), assim como a implementação de medidas de ordenamento, com vista a minimizar os impactos da evolução natural do sistema e fazer face à enorme carga turística a que a praia está sujeita.

No entanto, a análise da evolução da praia ao longo do tempo, mesmo após as intervenções efetuadas, permite verificar que a tendência para a diminuição da qualidade ambiental se manteve. O ambiente de praia quase idílica, anteriormente existente, e que deu a fama ao Portinho, degradou-se progressiva, mas substancialmente, até à situação atual. Em oposição a uma extensa praia de areias brancas e águas cristalinas, verifica-se hoje a existência de uma baía que apresenta sinais característicos de um litoral em erosão, com troços protegidos por estruturas rígidas, aterros em erosão, uma praia com menor qualidade de sedimento, dominada por extensos mantos de calhaus rolados e zonas arenosas impregnadas de sedimento fino, de natureza silto-argilosa, e uma diminuição da qualidade da água devido à libertação de plumas argilosas.

É importante, assim, fazer o historial das recentes alterações ocorridas na baía, enquadrando-as numa perspetiva geológica, e elencar os problemas existentes, de forma a contribuir para encontrar soluções para os mesmos, de modo que futuras intervenções na área possam, de forma integrada, anular e/ou minorar os efeitos das alterações naturais e pressões antrópicas a que a baía tem estado sujeita.

2. ENQUADRAMENTO GERAL DA ZONA DE ESTUDO

2.1. Geologia

No que se refere ao contexto geológico, a Serra da Arrábida corresponde a um monte anticlinal, de estrutura complexa e dissimétrica. O topo da Serra é constituído pelos Calcários de Pedreiras (Caloviano a Batoniano superior) e a vertente sul da Serra, muito abrupta, é constituída pelos Dolomitos do Convento (Batoniano médio a inferior a Toarciano inferior) (Manuppella *et al.*, 1999). O seu traçado é condicionado pelo cavalgamento basal que afeta o Miocénico do Portinho (Manuppella *et al.*, 1999). Os afloramentos do Portinho da Arrábida são especialmente importantes pois registam os episódios de deformação tectónica relacionados com a instalação da serra da Arrábida (Pais *et al.*, 1991; Antunes *et al.*, 1995). Os últimos depósitos (paleogénicos) são de origem continental, detríticos, grosseiros, esbranquiçados, sobre

os quais sucedem arenitos avermelhados a amarelados, marinhos, datados de 18,8 M.a., na parte inferior, e de 17,5 M.a., no topo (Kullberg *et al.*, 2006). Sobre este conjunto, dobrado, assentam em discordância angular no extremo Oeste do Chão da Anixa e em paraconformidade no setor Este, calcários ricos de clastos rolados de quartzo, com abundância de rodólitos, pectinídeos de grandes dimensões e ouriços, com idades datadas de 16,5 M.a. Sobre este conjunto existem areias finas e siltitos encimados por biocalcarenitos datados de 16 M.a. (Kullberg *et al.*, 2006).

2.2. Geomorfologia

A baía do Portinho da Arrábida é enquadrada, na parte continental, por uma imponente vertente talhada na Serra da Arrábida e, pela parte marinha, pela planura submarina formado pelo bordo do delta do rio Sado.

O setor costeiro onde se insere a baía tem uma orientação aproximadamente SW-NE, sendo que a forma da baía parece ser condicionada pela litologia das rochas existentes. A linha de costa apresenta uma forma em arco, com uma orientação, no lado oeste, aproximadamente N-S e, no lado leste, aproximadamente W-E. A existência de dois promontórios rochosos salientes nos extremos da baía indicia processos de erosão diferencial na evolução costeira local.

No interior da baía ocorre acumulação de sedimento de origem marinha, dando origem à formação de uma praia. Na zona do Creiro, onde a praia é mais larga, verifica-se a existência de uma duna frontal, com pequena expressão morfológica.

Relativamente ao enquadramento geomorfológico pela parte marinha, a baía do Portinho insere-se na zona costeira que contata com o bordo norte do delta externo do rio Sado, um corpo sedimentar de grandes dimensões. Não obstante a superfície do delta poder ser classificada como uma zona aplanada, se analisada a uma escala mais detalhada verifica-se que a mesma apresenta uma série de canais e dunas submersas.

2.3. Principais agentes forçadores da dinâmica sedimentar

A ondulação e as correntes de maré são os principais fatores a ter em consideração na dinâmica sedimentar local e nas variações da zona costeira observadas no último século.

2.3.1. Ondulação

A orientação da costa entre o Cabo Espichel e o delta do Sado (aproximadamente W-E) tem como consequência que esse setor fica em zona de sombra relativamente à ondulação de NW, fazendo com que este troço costeiro

Tabela 1 – Distribuição da frequência relativa da direção média associada ao período de pico ao largo de Sines entre Maio de 1988 e Dezembro de 1993 (adaptado de Brito, 2009).

Table 1 - Distribution of the relative frequency of the mean direction associated with the peak period offshore Sines between May 1988 and December 1993 (adapted from Brito, 2009).

Registos	Nº	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE
Todos	12870	<0,1	80,3	16,4	2,9	0,3	<0,1	<0,1	---
Altura significativa (HMO) >3m	1368	---	72,4	23,2	4,2	0,2	---	---	---
Altura significativa (HMO) >5m	129	---	57,4	41,9	0,8	---	---	---	---

seja sempre atuado por ondas com rumos para sul do oeste, independentemente da orientação da ondulação ao largo (Andrade *et al.*, 2006 in Brito, 2009). No Portinho, o efeito de sombra é ainda mais acentuado devido à orientação da baía (SW-NE). Assim, e embora os temporais de W e SW sejam menos frequentes que os de NW (tabela 1), estes acabam por ter um maior impacto na praia, devido à maior exposição da baía a esses rumos.

2.3.2. Correntes de maré

No domínio externo do estuário, o campo de correntes residuais é dominado por um forte jato de vazante ao longo do canal de acesso ao estuário e por dois vórtices adjacentes sobre os bancos arenosos da Figueirinha e do Cambalhão, com sentidos anticiclónico e ciclónico, respectivamente (Brito, 2009). Ainda de acordo com Brito, 2009, as correntes residuais associadas ao modelo de circulação tridimensional podem ter papel significativo na morfologia do delta e estar na origem do abrupto talude terminal do delta exterior.

2.4. Dinâmica sedimentar

As caracterizações da dinâmica sedimentar efetuadas incidem sobre os processos deltaicos (Brito & Rebêlo, 2013; Carneiro, 2013), e são assentes em modelos teóricos, tendo as correntes de maré como principal agente forçador. A existência dos canais e dunas submersas sobre a superfície do delta, anteriormente referidos, em constante evolução espacial, conferem aos fundos, junto ao Portinho, uma dinâmica complexa e ainda desconhecida (Brito, 2009). O modelo de circulação sedimentar para o bordo norte do delta externo do Sado aponta para que o sedimento seja movido ao longo do canal principal, no sentido *onshore-offshore*, e que, seguindo os vórtices das correntes residuais atrás mencionados, reentre na circulação, migrando sobre a superfície do delta no sentido *offshore-onshore*. É associado a este processo que se assume a existência das dunas submarinas ao largo do Portinho.

Pela proximidade e pela continuidade morfológica existente entre os dois domínios (praia e delta), assume-se que o delta funciona como fonte de sedimento para a deriva litoral local e é responsável pela formação de várias praias (além da do Portinho, as praias de Alpertuche, Coelhoos, Galapinhos, Galápos e Figueirinha, esta última já fortemente condicionada pela introdução de um esporão).

2.5. O delta do Sado

O delta do rio Sado é uma acumulação sedimentar formada na foz do rio. A sua forma é reflexo de um equilíbrio dinâmico gerado por múltiplos fatores, dos quais se destacam a disponibilidade sedimentar, o nível médio das águas, a agitação marítima e as correntes de maré, sendo que neste último aspeto, as correntes de enchente e vazante têm um papel preponderante na definição da morfologia do mesmo (Brito & Rebêlo, 2013).

A estrutura morfológica do delta (Figura 1) é formada por dois domínios principais, o interno e o externo (Brito, 2009; Brito & Rebêlo, 2013). Assim, e de uma forma simplificada, este sistema é caracterizado pela existência de dois corpos sedimentares: o delta de enchente e o delta de vazante.

Independentemente de o sistema ser único, a praia do Portinho da Arrábida, pelo seu posicionamento geográfico, é mais influenciada pelos processos que ocorrem e moldam o delta de vazante.

O delta de vazante é um corpo sedimentar de forma aproximadamente triangular, instalado à frente da embocadura do estuário. Tem um volume estimado de aproximadamente 960 milhões de m³ e apresenta uma superfície aplanada no seu topo, com aproximadamente 47 km², a uma cota aproximada de -5 m (Brito *et al.*, 2006). Esta superfície termina abruptamente para o lado do mar numa vertente, que se designa por lobo frontal do delta, que faz a transição para um domínio mais profundo, à cota dos -40 m (Brito & Rebêlo, 2013).

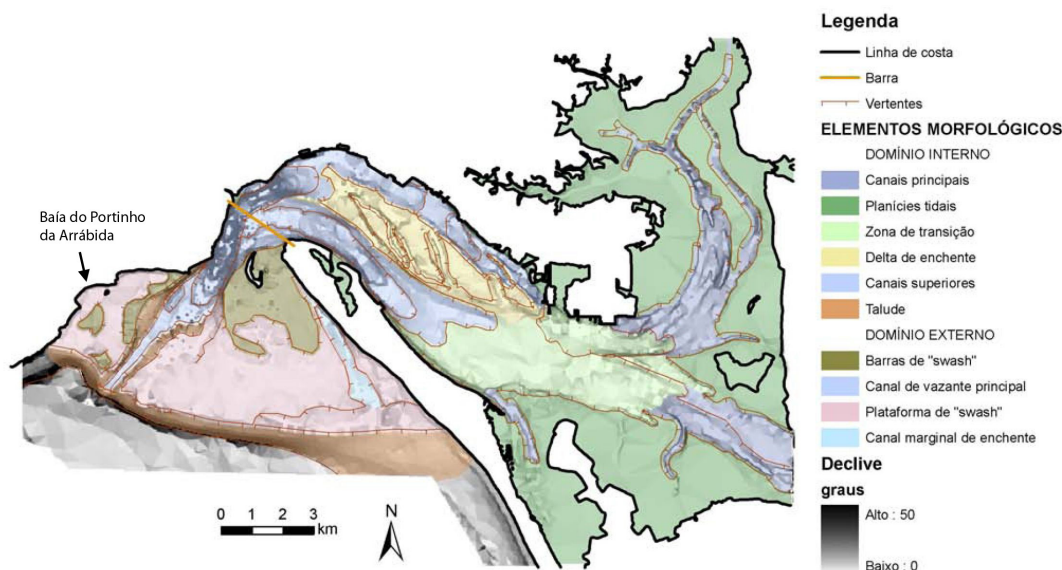


Figura 1 – Esboço dos principais elementos morfológicos do estuário do rio Sado (adaptado de Brito, 2009).

Figure 1 - Sketch of the main morphological elements of the Sado estuary (adapted from Brito, 2009).

Sobre a zona mais aplanada desenvolve-se um conjunto de barras de espalho e dunas submarinas, em reflexo da complexa dinâmica que gera este ambiente (Figura 2).

O delta externo é cortado por um canal principal de vazante, que individualiza duas margens marcadamente assimétricas. A margem sul é mais desenvolvida e possui um canal marginal de enchente, paralelo à restinga de Tróia. A margem norte apresenta menor dimensão e o canal de enchente está ausente fazendo com que, dessa forma, o trajeto da circulação sedimentar não esteja bem definido (Brito & Rebêlo, 2013). É a este subdomínio, que a génese e evolução da praia do Portinho estão mais diretamente relacionados.

Devido à interdependência da praia com a sua principal fonte sedimentar, neste caso o delta, as alterações locais observadas na estreita faixa de areal estão associadas a uma complexa cadeia de inter-relações, e não apenas aos processos que ocorrem na baía (Brito & Rebêlo, 2013; Carneiro, 2013). Diminuindo na escala da análise, pode inferir-se que as alterações na praia estão relacionadas com as alterações na baía do Portinho, que por sua vez estão relacionadas com as alterações que ocorrem num domínio mais extenso, a margem norte do delta, que estão dependentes das alterações que ocorrem no delta externo, que por sua vez estão relacionadas com as alterações que ocorrem em todo o sistema deltaico. Este é o motivo pelo qual a justificação da falta de sedimento numa praia pode ser complexa e difícil de determinar. A interdependência dos vários domínios e a assunção de que estamos perante um “sistema” geológico único, é um conceito importante numa ótica de causa-efeito, para quando se interage com qualquer dos níveis da cadeia,

como quando, por exemplo, se extrai sedimento do sistema ou se altera a morfologia do mesmo.

Estudos relativos à evolução recente da morfologia do estuário (Quevauviller, 1985; Andrade *et al.*, 2006; Brito *et al.*, 2009) sugerem uma tendência geral de acumulação de sedimentos no domínio interno do estuário e, dependendo do avanço ou recuo do lobo frontal do delta, para uma alternância de períodos de acumulação (1968-1979) e erosão de sedimentos (1979-2002) no delta de vazante (domínio externo do estuário).

O crescimento do extremo noroeste da península, onde se tem verificado uma progradação acentuada da linha de costa, é um fenómeno que poderá contribuir e justificar, em parte, a perda de sedimento que tem ocorrido no domínio imerso do delta externo (Rebêlo *et al.*, 2011).

3. MÉTODOS

3.1. Dados históricos

Não havendo estudos prévios, quantitativos, sobre a evolução da praia do Portinho da Arrábida e verificando-se a inexistência de dados de monitorização a longo termo que permitam efetuar uma caracterização da evolução deste setor costeiro, utilizaram-se métodos indiretos de forma a ter a perceção, embora qualitativa, das alterações ocorridas ao longo do último século.

Sendo uma baía desde há muito utilizada pelas populações locais, verificou-se que existe um vasto espólio fotográfico que permite observar que a mesma tem sofrido intensas alterações morfológicas. Assim, as fotografias históricas (e.g. Blog Restos de Coleção,

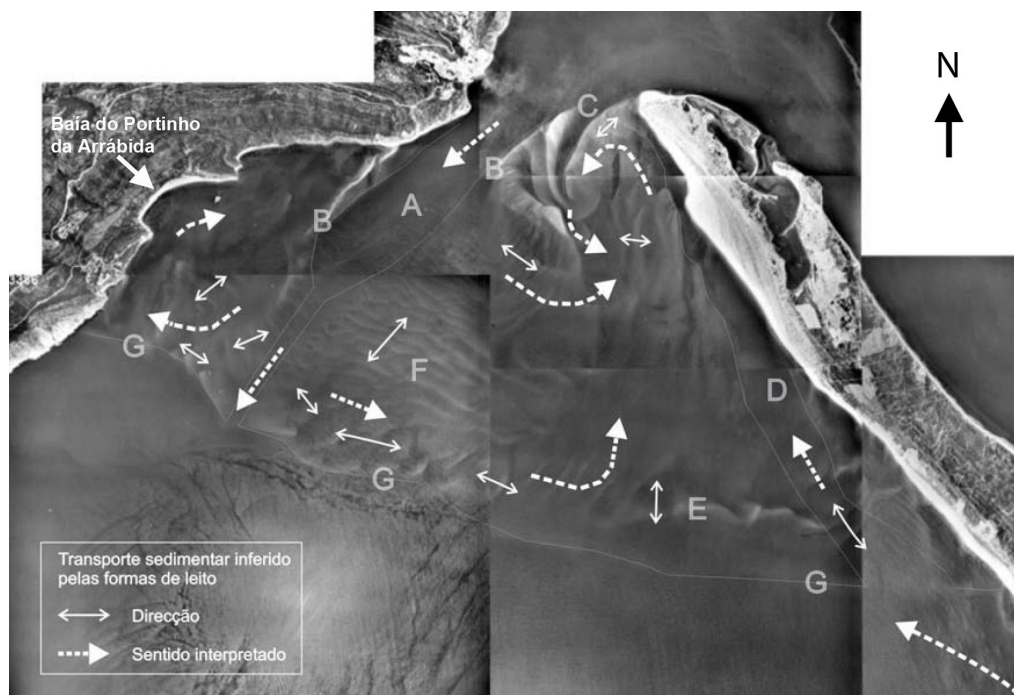


Figura 2 – Identificação dos elementos morfológicos do delta de vazante e interpretação do sentido de transporte sedimentar a partir das formas de leito. A – Canal de vazante principal; B – Barras lineares marginais; C – Canal de transbordo; D – Canal marginal de enchente; E – Barras de espalho; F – Plataforma de espalho e G – Lobo frontal (adaptado de Brito, 2009).

Figure 2 - Identification of the morphological elements of the ebb delta and interpretation of the sedimentary transport direction from the bed forms. A - Main receding ebb channel; B - Linear marginal bars; C - Overflow channel; D - Marginal flood channel; E - Spreading bars; F - Spreading platform and G - frontal cusps (adapted from Brito, 2009).

Blog Prosimetron, entre outros sites disponíveis na internet) mostraram ser uma útil fonte de dados, sendo que a sua análise permitiu concluir sobre as principais variações ocorridas nesse setor costeiro, possibilitando ter uma visão da sua evolução a longo prazo.

3.2. Determinação da dimensão da praia

A determinação da variação da dimensão da praia foi efetuada comparando três linhas de costa. As linhas de costa mais recentes foram baseadas na ortofotografia regular, disponibilizada no “web-site” da DGT, referente aos anos de 2014-15 [http://www.dgterritorio.pt/], tendo-se utilizado o limite da água para determinar a linha de baixa-mar e as marcas do seco-molhado para marcar a linha da máxima preia-mar.

A linha de costa mais antiga corresponde a uma linha obtida a partir das fotografias históricas. Esta linha, pela natureza da fonte de dados utilizada, não representa uma época (as fotografias terão sido tiradas em diferentes anos), nem a sua informação é contínua (as fotografias não abarcam a totalidade da praia). Das fotografias

observadas, foi retirada a linha de costa, quando possível, junto aos rochedos existentes na baía e, dessa forma, foi possível determinar antigas posições do contato seco/molhado em pequenos setores da praia, assumindo que os rochedos não se terão movido. Na zona mais oeste da baía, além dos rochedos, foi igualmente usado o alinhamento do contato do areal com o mar, e seu prolongamento para marcas em terra, de forma a determinar a posição da linha de costa então existente.

Os setores mais “offshore” retirados das diferentes fotografias foram então unidos, dando origem assim, à linha de costa correspondente ao que se assumiu ser o maior areal existente no passado.

Com estas linhas e utilizando a linha mais interior do areal foram gerados três polígonos: o polígono construído com a linha mais exterior e antiga, representando o areal de maior dimensão que se assume haver evidências de ter existido no Portinho; o polígono construído com a linha intermédia, correspondente ao areal existente na baixa-mar em 2014-2015; e por último, o polígono construído com a linha mais interna, correspondendo ao areal existente na preia-mar em 2014-2015.

3.3. Ocupação do areal

A ocupação do areal foi analisada numa perspetiva da gestão ambiental do litoral, mas também numa ótica da geologia, uma vez que essa ocupação pode ter consequências diretas nos processos geológicos responsáveis pela evolução costeira.

A comparação das fotografias históricas existentes, desde o início do século passado até à atualidade, forneceu importante informação relativamente à evolução da ocupação do areal e a episódios erosivos ocorridos durante o período em análise. A análise da evolução da ocupação por edificações foi igualmente suportada pela consulta de bibliografia existente.

3.4. Recolha de informação no terreno

Além da informação obtida através da observação das fotografias históricas e da bibliografia consultada, o presente trabalho baseia-se igualmente na recolha de informação efectuada no campo sobre os múltiplos aspetos descritos no mesmo, informação esta importante para a caracterização efectuada do atual estado do sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A geodinâmica externa, responsável pela maioria das alterações que observamos na superfície do globo, é um processo contínuo e ininterrupto. Algumas destas alterações são visíveis ao olho humano, outras imperceptíveis para o observador; algumas visíveis à escala temporal humana, outras apenas detetáveis no registo geológico.

As praias são um bom exemplo do local onde estas alterações são mais facilmente perceptíveis. Mas há também variações associadas a fenómenos de escala temporal mais elevada, mais difíceis de enquadrar e explicar. Neste contexto, caracterizar a situação atual e tentar analisar o passado, objeto deste diagnóstico, são aspetos fundamentais para suporte aos estudos necessários para encontrar as soluções a adotar numa ótica mais holística da resolução dos problemas.

A abordagem da caracterização ambiental da praia do Portinho da Arrábida passa pela análise dos quatro fatores que se julga serem mais relevantes para a existência das condições ambientais desta faixa costeira: o delta do Sado, a praia, as infraestruturas e o problema da argila na qualidade do areal.

4.1. A baía do Portinho da Arrábida

A baía do Portinho da Arrábida apresenta hoje uma costa diversificada. Assim, em contraste com o areal contínuo que outrora ocupou os 1767 m de comprimento da baía, a situação atual (Figura 3), relativamente à tipologia da linha de costa, pode ser descrita como:

- Litoral protegido com paredões e enrocamentos: 690 m - Zona oeste da baía (Portinho e Praia do Portinho da Arrábida)

 - * Protegido com paredão: 380 m;

 - * Protegido com enrocamento: 310 m;

- Praia: 655 m – Zona central da baía (Creiro) - Existência de areal na preia-mar, e areal por vezes com calhaus na zona entre marés;

- Litoral de falésia com blocos tombados: 422 m

- Zona leste da baía (*Monte de Areia*) - Sem areal contínuo na preia-mar, mas com praia arenosa contínua na baixa-mar.

Constata-se assim que a praia está reduzida, atualmente, a 37% do que outrora foi a sua máxima extensão. Poder-se-á ainda referir que parte significativa desses 37% de areal apresenta frequentemente um manto de calhaus rolados na face da praia, que diminui significativamente a qualidade do areal em termos balneares.

4.1.1. Variação da dimensão da praia e principais consequências da diminuição da quantidade de sedimento

Uma das mudanças naturais mais notórias na baía do Portinho da Arrábida prende-se com a dimensão da praia. Os processos de deriva litoral que promovem esta alteração são constantes, mas nem sempre têm as mesmas consequências. Assim, a análise a uma escala temporal alargada, na ordem da década, tem a vantagem de acentuar a tendência evolutiva, contrariamente a escalas de análise mais curtas que podem registar a influência das pequenas oscilações de sinais contrários que fazem parte da dinâmica das zonas costeiras arenosas.

Na análise da evolução da praia do Portinho da Arrábida, a utilização de fotografias aéreas, método comumente utilizado para o estudo da evolução das praias, mostra-se ser, em parte, ineficaz, uma vez que a série temporal existente não abarca o período em que a praia teria mais areia. Assim, para investigar a variação a uma escala mais alargada, recorreu-se a fotografias históricas. Estas, apesar de não permitirem a quantificação das alterações, dão indicações preciosas sobre as alterações ocorridas.

As fotografias históricas, por vezes disponíveis na forma de postal, mostram claramente uma praia com maior largura do que a conhecida recentemente (Figura 4). A ligação entre o Portinho e o Creiro era feita através de um areal contínuo, que separava a base da falésia do mar, e a dimensão e forma da praia à frente do extremo oeste da baía era significativamente diferente da linha de costa atual. Aí, onde hoje a areia é praticamente inexistente, existiria uma praia muito extensa (Figura 4).

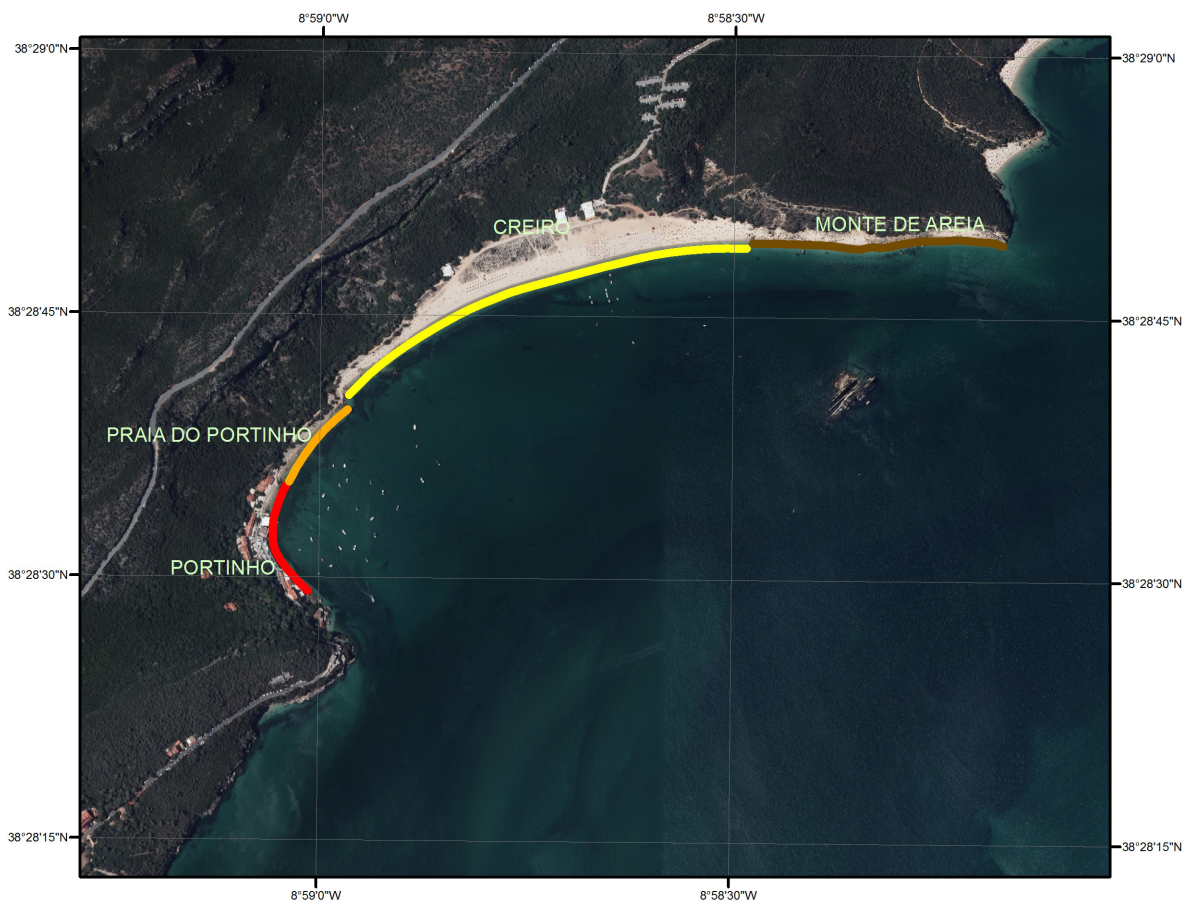


Figura 3 - A Baía do Portinho da Arrábida e as quatro zonas consideradas neste trabalho. Bandas coloridas indicando a tipologia de linha de costa existente: Vermelho - paredão; Laranja - enrocamento; Amarelo - praia com duna; Castanho: -praia com blocos tombados (imagem de fundo: Ortofoto da DGT de 2012).

Figure 3 - The Bay of Portinho da Arrábida and the four zones considered in this work. Colored bands indicating the typology of existing coastline: Red -seawall; Orange - Boulder seawall; Yellow - beach with dune; Brown - beach with tiled blocks (background image: DGT Ortofoto 2012).

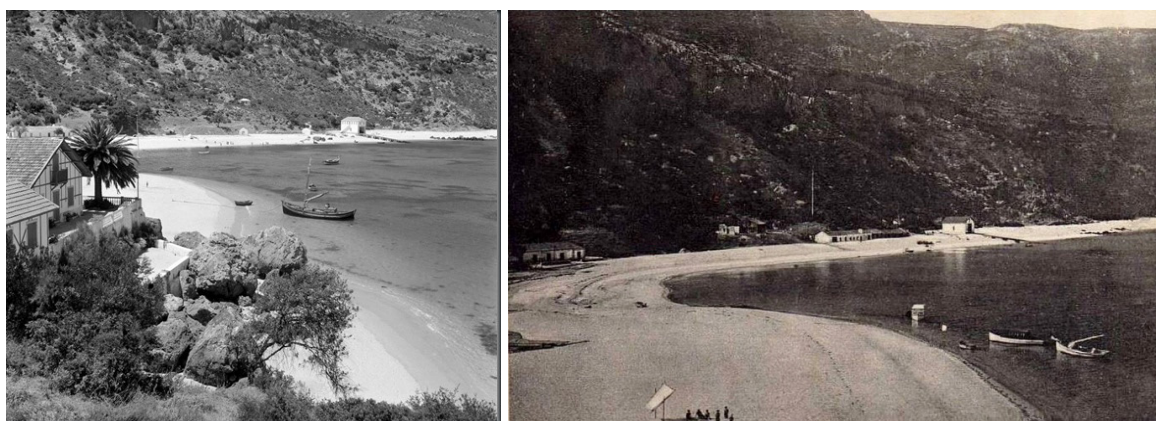


Figura 4 – Extremo oeste da baía do Portinho da Arrábida (anos 30): acumulação de areia superior à verificada atualmente gerando uma praia muito ampla no extremo oeste da baía e a ligação contínua do areal entre o Portinho e o Creiro (foto da esquerda - Biblioteca de Arte da Fundação Calouste Gulbenkian, Fotografia sem data. Produzida durante a atividade do Estúdio Horácio Novais, 1930-1980. <https://www.flickr.com/photos/biblarTE/9491158755/in/photostream/>; foto da direita (sem data) – Blog Restos de Coleção, de José Leite. 10 agosto 2013).

Figure 4 - Western limit of the bay of Portinho da Arrábida (1930s): accumulation of sand higher than that currently verified, generating a very wide beach at the west end of the bay and the continuous connection of the beach between Portinho and Creiro (left photo - Produced during the activity of Horácio Novais Studio, 1930-1980. without date) – Blog Restos de Coleção, by José Leite 10 August 2013).

A conjugação da informação extraída do património de fotografias históricas, a que se teve acesso, permitiu estimar a posição da linha de costa em alguns setores onde existiam pontos de referência (linhas a vermelho, na Figura 5), e traçar a posição mais avançada dessa linha ao longo de toda a baía unindo esses vários setores (linhas a azul, na Figura 5). Com base na linha correspondente à fase mais progradante e na linha de costa recente, foi possível estimar o recuo ocorrido (Figura 5), utilizando, como referência mais recente, a linha de preia-mar e do contato da água com a areia (assumido como baixa-mar) obtidas no ortofoto da DGT de 2014-2015. O recuo é mais acentuado no extremo oeste da baía, na zona do Portinho, com um valor de máximo de 77 m. Os valores do recuo decrescem gradualmente até ao Creiro, passando, a partir daí, a apresentar valores na ordem dos 25 m, se entrarmos em linha de conta com a linha de baixa-mar, e 50 metros se compararmos com a linha de preia-mar.

Ficou também famosa a acumulação eólica de areia no extremo leste da praia, formada no século passado quando a largura da praia nesse setor era maior, conhecida por *Monte de Areia*, aspeto morfológico hoje desaparecido.

A diminuição da quantidade de sedimento tem quatro consequências com elevado impacto para os utilizadores (erosão costeira, aparecimento da pluma argilosa, aparecimento de calhau e desaparecimento do *Monte de Areia*) que seguidamente se abordam.

(1) Erosão costeira

O recuo da linha de costa ocorrido na praia do Portinho da Arrábida teve como efeito, não só a diminuição da largura da praia, mas também a diminuição do seu comprimento, facto que motivou um impacto acrescido neste setor. Estima-se que o comprimento da praia arenosa represente hoje apenas 37% do comprimento máximo atingido anteriormente, tendo passado de aproximadamente 1767 para 655 metros, e que a área

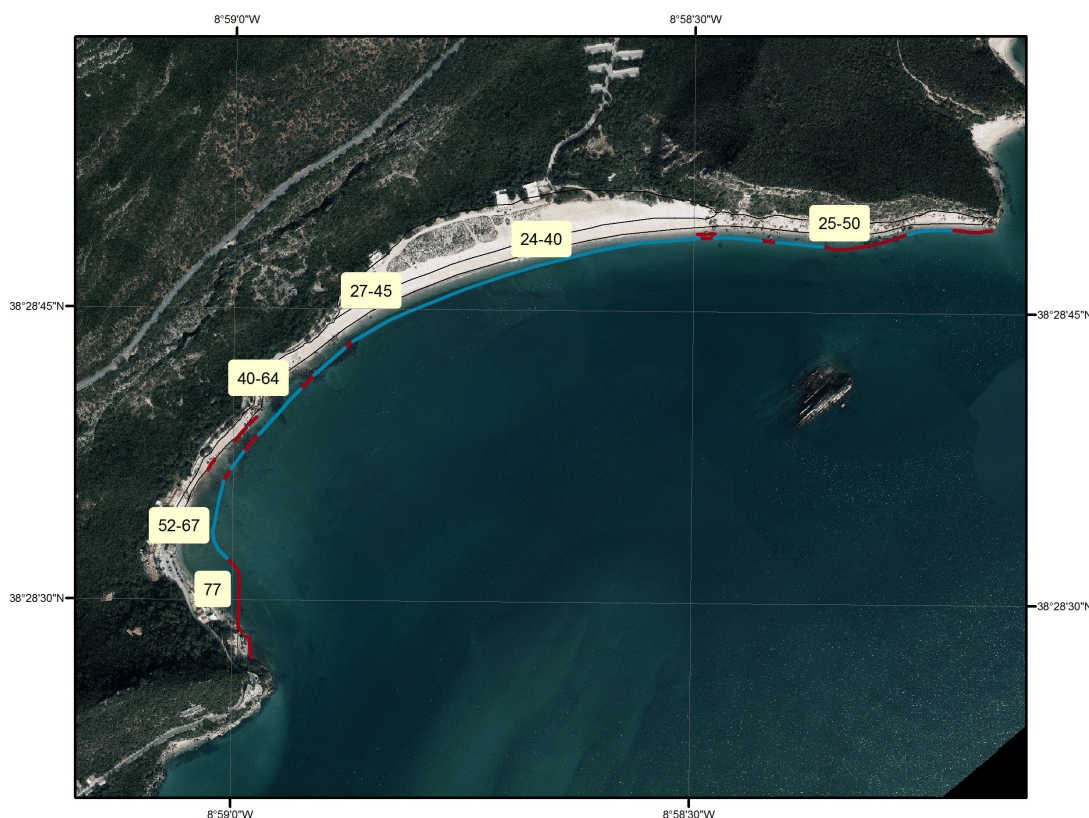


Figura 5 – Troços a vermelho observados nas fotografias históricas; troços a azul, inferidos; linhas a negro correspondentes ao limite da preia-mar e linha de contacto da água com a praia, no ortofoto de 2014-15, da DGT. Os valores dizem respeito ao recuo, em metros, estimado para a linha de costa desde o início do século passado correspondendo, o valor maior, ao recuo relativo à linha da preia-mar, e o valor mais pequeno, ao recuo relativo à linha assumida como de baixa-mar.

Figure 5 - Red sections stand for observed shoreline in historical photographs; sections in blue, stand for inferred sections; black lines correspond to the high-seawater limit and seawater/beach contact line, in the 2014-15 DGT orthophoto. The values refer to the coastline retreat, in meters, estimated from the beginning of the last century, where the highest value corresponds to the retreat relative to the high-tide line, and the smaller value, the retreat relative to the assumed low-tide line.

do areal (praia e duna) represente apenas entre 31 ou 55% do antigo areal (consoante se compara a linha mais antiga com a atual preia-mar ou baixa mar), tendo passado de aproximadamente 109 mil m² para 35 mil m², assumindo o valor calculado com base na linha de preia-mar, ou para 61 mil m², considerando a linha de baixa-mar (valores de área que deverão ser retidos como indicadores aproximados devido ao método de obtenção da linha de costa mais antiga) (Figura 6). Em resultado da incerteza associada ao momento da maré da linha de costa mais antiga, assume-se assim o valor intermédio de 43% para a caracterização da diminuição do areal.

Dois fatores contribuíram para a diminuição do comprimento da praia ao não permitirem o seu recuo aquando da diminuição da quantidade de sedimento disponível: a existência de setores em que a praia era estreita e encostada à falésia (como é o caso da zona do *Monte de Areia* e a zona da praia do Portinho da Arrábida) e a existência de infraestruturas, como habitações ou o parque de estacionamento, que obrigaram à construção de proteções costeiras quando a linha de costa recuou (caso da zona do Portinho). Nestes locais, quando a evolução do litoral fez com que a linha de costa atingisse a falésia, ou as estruturas de proteção, deixaram de estar criadas as condições para a manutenção do areal o que, na prática, resultou no desaparecimento da praia.

O recuo ocorrido na linha de costa, originado pelo desaparecimento da areia, fez com que o mar atingisse locais anteriormente protegidos da ação erosiva das ondas. Verificou-se assim o retomar da ação erosiva na base das escarpas anteriormente protegidas (Figura 7) e o retomar da modelação das pequenas plataformas rochosas localizadas na zona entre marés (plataformas de abrasão marinha).

Importa referir que o facto de algumas destas morfologias erosivas já existirem, e se verificar estarem agora a ser retrabalhadas, devido ao desaparecimento da areia, é outra evidência da alternância, à escala geológica, de períodos de escassez com períodos de abundância de sedimento arenoso.

Associado a esta erosão costeira, verifica-se igualmente um incremento da perigosidade, sobretudo nos setores já protegidos por infraestruturas, uma vez que a ondulação atinge com mais intensidade esses locais.

A erosão costeira teve igualmente consequências no respeitante à área disponível de utilização da praia. Embora a capacidade de carga da praia do Portinho da Arrábida, esteja dentro dos limites definidos em plano de praia (Pereira da Silva *et al.*, 2016), este é, porventura, o impacte, mais óbvio associado à diminuição da quantidade de sedimento. O desaparecimento da praia numa extensão considerável, como atrás referido, fez

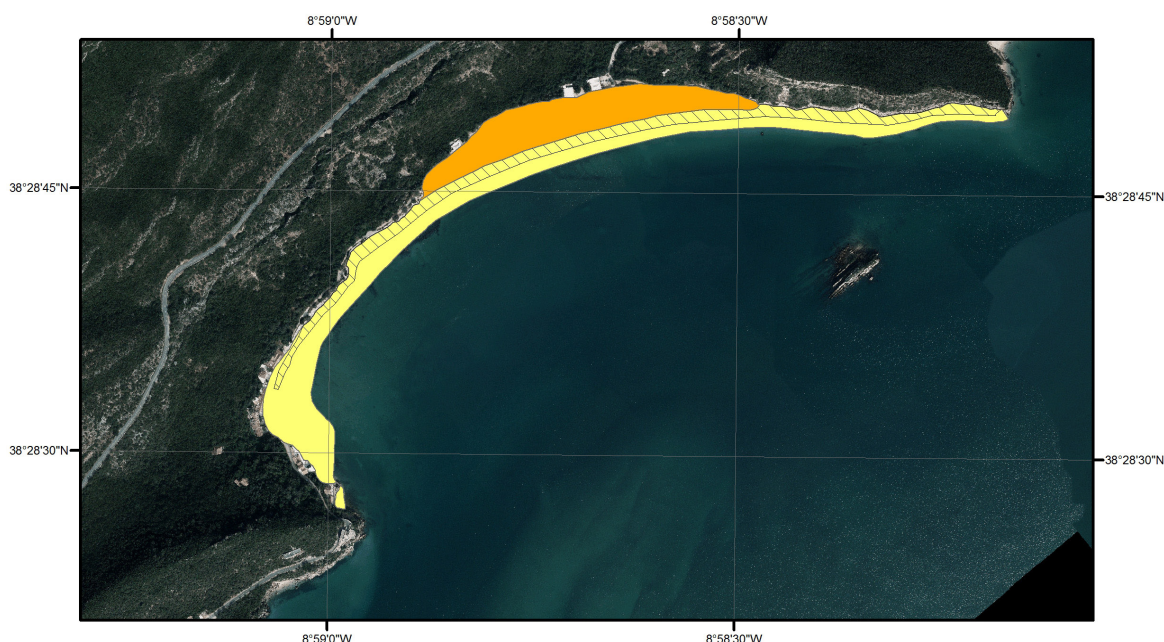


Figura 6 – Área ocupada pelo areal emerso da baía do Portinho da Arrábida. Laranja: área atual em situação de preia-mar; Laranja + tracejado: área atual em situação de baixa-mar; Laranja + tracejado + amarelo: área ocupada pelo areal no início do século XX (foto de fundo: ortofoto DGT de 2014-15).

Figure 6 - Area occupied by the emerged beach of the Portinho da Arrábida bay. Orange: current area at high-tide; Orange + dashed lines: current area at low-tide; Orange + dashed lines + yellow: area occupied by the sand at the beginning of the 20th century (background photo: DGT orthophoto 2014-15).



Figura 7 – Erosão costeira em depósitos de vertente. O sopé da escarpa de erosão encontra-se protegido por um pequeno enrocamento e, à frente do enrocamento, encontra-se uma praia de calhau rolado parcialmente coberta por areia (16/2/2017).

Figure 7 - Coastal erosion in slope deposits. The foot of the erosion escarpment is protected by a small rocky area and, in front of it, there is a rocky pebble beach partially covered by sand (16/2/2017).

com que a baía diminuísse significativamente a sua capacidade de carga, no respeitante à utilização balnear. Mas o impacto assume um grau ainda mais elevado, uma vez que a praia do Creiro está repleta de vestígios

de fundações, em resultado das antigas casas que aí existiam. A necessidade de ocupação de espaços mais recuados da praia, faz com que os utilizadores interajam com o entulho deixado nas dunas.

(2) Aparecimento da pluma argilosa

Na base do aterro que serve de caminho de ligação entre o Portinho e o Creiro, na zona da antiga praia do Portinho da Arrábida, verifica-se a ocorrência da dispersão de uma pluma acastanhada nas águas da baía. Este fenómeno resulta da erosão costeira e a sua origem deve-se ao desaparecimento da areia que cobre a pequena plataforma de erosão marinha existente na base da falésia, levando à exposição de litologias de natureza argilo-siltosa, possivelmente cretácicas, na zona entre-marés (Figura 8). Contrariamente às rochas carbonatadas e siliciclásticas que, ao se desagregarem, não têm impacto na qualidade das águas, a ação erosiva do mar sobre estas rochas argilo-siltosas, no caso presente de cor violácea, leva à formação de uma pluma de sedimentos finos, de cor acastanhada, que torna a água do mar turva numa extensão considerável (Figura 9). Este fenómeno de degradação da qualidade da água da praia, usualmente associado ao transporte de carga sólida pelas ribeiras, apenas quando chove, ocorre, neste local, durante todos os ciclos de maré, carreando sedimento fino para a baía, duas vezes por dia.



Figura 8 – Plataforma, talhada em unidade argilo-siltosa, localizada na zona intertidal (local sujeito à ação erosiva das ondas e correntes - imagem da esquerda; pormenor da unidade argilo-siltosa sujeita à erosão marinha - imagem da direita) (5/7/2016).

Figure 8 - Platform, carved in a clay-silty unit, located at the intertidal zone (area influenced by the erosive action of waves and currents - left image; detail of the clay-silty unit influenced by marine erosion - right image) (5/7 / 2016).



Figura 9 – Pluma de sedimento argiloso, em primeiro plano, contrastando com as águas límpidas do Portinho, em fundo. Este fenómeno de degradação da qualidade da água da praia, usualmente associado ao transporte de carga sólida pelas ribeiras, apenas quando chove, ocorre, neste local, durante todos os ciclos de maré, retirando transparência à água e carreando sedimento fino para a baía. (5/7/2016).

Figure 9 - Plume of clayey sediment, contrasting with the clear waters of Portinho, in the background. This phenomenon of degradation of seawater quality, usually associated to the transport of solid particles by the streams during rainy periods, occurs in this place during all tidal cycles, hampering water transparency and carrying fine sediment to the bay. (5/7/2016).

(3) Aparecimento de calhaus

A existência de calhaus na face da praia é outro dos fatores que está relacionado com a diminuição do volume de areia no sistema e que reduz significativamente a qualidade do areal.

A praia, na baía do Portinho, é constituída por calhaus rolados e por areia. Em períodos de abundância de areia, a face da praia é predominantemente formada por areia, ficando os calhaus tapados pelo sedimento mais fino. Em períodos de escassez de areia, a presença dos calhaus torna-se mais notória, sendo este o sedimento que domina a face da praia. Esta é a situação que ocorre atualmente.

O aumento da área ocupada por calhaus na baía, relativamente aos anos 50-60 do século passado, é notório. Na zona entre o Portinho e a praia do Creiro, a areia na zona entre marés é hoje quase inexistente. Também no Creiro, na zona oeste e central da praia, a presença de calhaus na face da praia, cobrindo o areal, passou a ser dominante, verificando-se na última década e de acordo com observações efectuadas e relatos dos utilizadores da praia, um incremento da área ocupada por calhaus o que acarreta um impacto muito negativo para a utilização balnear da baía (Figuras 10 e 11).

(4) Desaparecimento do Monte de Areia

Outra das consequências da diminuição do volume de areia da praia do Portinho prende-se com o desaparecimento da acumulação sedimentar conhecida como *Monte de Areia*, localizada no extremo este da baía

A formação desta acumulação eólica invulgar estará relacionada com o regime de ventos local, mas também com o posicionamento da linha de costa, na zona leste da baía, sendo que a sua formação só terá sido possível num período em que a praia apresentasse uma largura suficiente para a sua formação, criando assim um espaço de acomodação para a formação da duna. O *Monte de Areia* pode ser classificado como uma duna trepadora (“*climbing dune*”), ou seja, uma acumulação eólica que se forma de encontro a uma falésia e onde o transporte eólico se processa no sentido mar-terra, tornando-a progressivamente mais alta.

O processo eólico que gera o *Monte de Areia* é ainda desconhecido e difícil de caracterizar, devido à singularidade da ocorrência. A inexistência de dados relativamente aos ventos locais e a constatação da significativa importância do relevo na deslocação do ar, conforme constatado pelos autores, através da formação

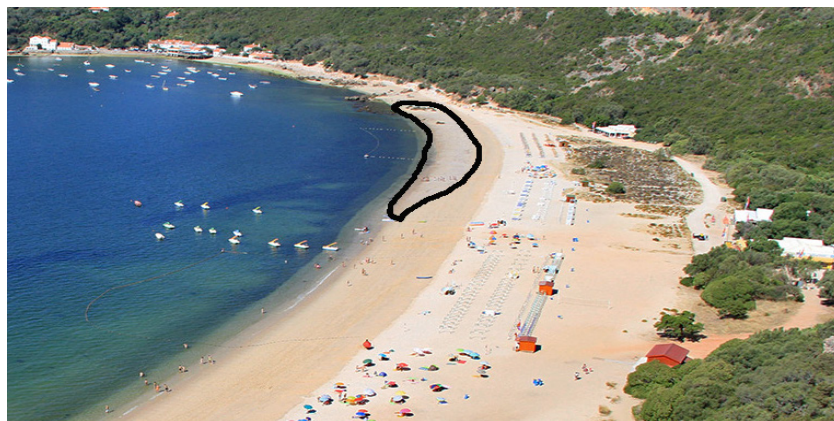


Figura 10 – Mancha de calhaus na zona intertidal na parte oeste da praia do Creiro.
Adaptada de Visit Setúbal. Portugal. Julho 2017.

Figure 10 - Pebble patch in the intertidal zone on the west side of Creiro beach. Adapted from Visit Setúbal. Portugal. July 2017.



Figura 11 - Aspeto da mancha de calhaus, ocupando a quase totalidade da praia do Creiro (5/7/2016).

Figure 11 - View of the pebble patch area, occupying nearly the entire area of Creiro beach (5/7/2016).

de vórtices locais e rajadas com múltiplas direcções, faz com que qualquer solução apresentada para o regime de ventos responsável pela formação da duna seja, de alguma forma, especulativa. Poderão ser unicamente ventos com sentido mar-terra (aproximadamente sul-norte), que transportem areia da zona intertidal, em períodos de baixa-mar; ou a areia poderá ter proveniência na praia do Creiro. Neste segundo cenário, e assumindo a existência de uma estreita praia à frente da arriba, contrariamente ao que hoje se verifica, a areia que fosse transportada de oeste para leste, no Creiro, quando chegasse à latitude da arriba, não entraria no mar, mas continuaria a circular até ao extremo da baía. Aí, devido obrigatoriamente a um diferente regime de ventos, induzido pelo relevo local, a areia tenderia a subir a falésia, formando-se a duna trepadora.

Não obstante a proveniência da areia, a formação desta duna só é possível em períodos onde existe uma praia à frente da falésia, de forma a permitir a existência do referido espaço de acomodação.

O recente recuo da linha de costa na zona leste da baía, levou primeiramente à interrupção da continuidade da praia emersa entre o Creio e a zona do *Monte de Areia*, o que poderá ter contribuído para a diminuição da alimentação eólica e, posteriormente, à erosão da praia que servia de suporte à estrutura, tendo a duna colapsado, e a areia voltado ao mar.

De acordo com a análise de fotografias históricas (Portinho da Arrábida – 100 Anos de Memórias), é possível verificar que o *Monte de Areia* nem sempre existiu. Uma fotografia tirada nos anos 10, mostra que o *Monte de Areia* não está presente, sendo a costa

formada por uma estreita praia (Figura 12). No entanto, nas fotografias tiradas na década de 30 a acumulação eólica é já observável. A duna parece ter atingido a sua máxima dimensão nos anos 50 (Figura 13), e o seu desaparecimento, ocorrido já na presente década, será o resultado de um processo erosivo iniciado após 2000.



Figura 12 – Zona do Creiro e extremo leste da baía do Portinho, nos anos 10 do século passado, não sendo ainda visível o “Monte de Areia” (Portinho da Arrábida. 100 Anos de Memórias – Catálogo da Exposição de Fotografia. 2013).

Figure 12 – The Creiro area and the eastern limit of the Portinho bay in the 1910’s, where “Monte de Areia” is still absent (Portinho da Arrábida. 100 Anos de Memórias – Catálogo da Exposição de Fotografia. 2013).



Figura 13 – Monte de Areia, anos 50. A tendência para a formação de dunas trepadoras parece estender-se mais para oeste (esquerda da fotografia) em épocas de muita disponibilidade sedimentar (Portinho da Arrábida. 100 Anos de Memórias – Catálogo da Exposição de Fotografia. 2013).

Figure 13 – “Monte de Areia” (Sand pile), 1950s. The tendency for the climbing dunes formation seems to extend farther west (left of the photograph) at times of higher sedimentary availability (Portinho da Arrábida. 100 Anos de Memórias – Catálogo da Exposição de Fotografia. 2013).

A situação atualmente existente no extremo leste da península é assim semelhante à verificada nos anos 10 do século passado, podendo, este facto, ser outra indicação de uma evolução natural caracterizada por uma alternância entre períodos de abundância e períodos de escassez sedimentar (Figura 14).



Figura 14 – Imagem recente da zona do “Monte de Areia”, evidenciando a completa ausência de dunas (Blog Estação Chronografica de Oliveira, F. C., 22 de maio de 2013).

Figure 14 - Recent image of the “Monte de Areia” area, evidencing the complete absence of dunes (Blog Estação Chronografica de Oliveira, F. C., 22 de maio de 2013).

4.1.2. Construções sobre o areal - Breve historial

A baía do Portinho encerra uma história de ocupação do espaço dificilmente detetável num olhar mais desatento. Assim, embora não se pretenda aqui efetuar uma descrição completa e pormenorizada da ocupação da baía, abordar as fases mais relevantes dessa ocupação é necessária para se entender a situação atual do areal.

O Portinho é ocupado desde a época dos Romanos, sendo esta ocupação testemunhada pelo complexo arqueológico do Creiro. O início da ocupação data do século I d.C., tendo funcionando até cerca dos finais do mesmo século. Voltou a ser ocupado durante o século IV, inícios do século V, também por romanos, e depois mais tarde, durante o século XII, evidenciando a presença de materiais marcadamente islâmicos, relativos ao período muçulmano Almóada (Silva & Coelho-Soares, 1987).

Contrariamente à localização da ocupação arqueológica, a ocupação moderna fez-se, inicialmente, no extremo oeste da baía. As infraestruturas mais antigas, construídas sobre as rochas e areia, localizam-se assim nesse lado da baía. Em imagens do início do século passado (década de 10) é já visível um conjunto de habitações ao longo da praia, implantadas na base dos depósitos de vertente e sobre a areia. Nessa época existiria um extenso areal (Figura 4), correspondente a uma fase de abundância sedimentar, o que terá conferido uma falsa sensação de segurança (Figura 15).

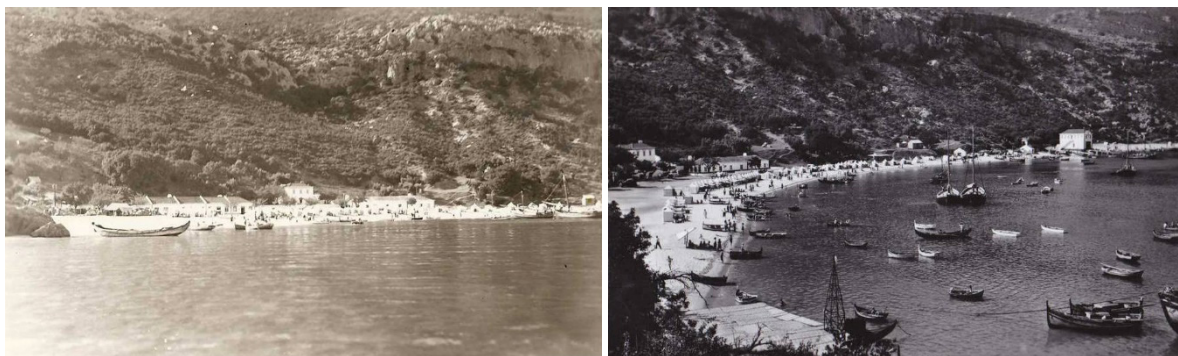


Figure 15 – Aspeto do amplo areal do Portinho e da Praia do Portinho na primeira metade do século XX (Blog Prosimetron. 16 Julho 2011).

Figure 15 - View of the wide sand extension of the Portinho and the Portinho beach in the first half of the 20th century (Blog Prosimetron 16 July 2011).

Como já anteriormente referido, a evolução do sistema sedimentar levou ao recuo da linha de costa na baía, sendo que, como consequência, o núcleo de habitações do Portinho da Arrábida teve que ser protegido. O processo de proteção foi gradual, tendo-se iniciado pela defesa das casas localizadas no extremo oeste da baía, como pode ser observado pelas fotografias históricas. Posteriormente, houve necessidade de proteger o parque de estacionamento e a margem que se estende até à localização do atual restaurante “Galeão” (Figura 16), seguindo-se a instalação de um paredão cimentado para proteger as casas implantadas mais a leste do núcleo, até ao restaurante “O Farol” (Figura 17). Atualmente, na preia-mar, o mar atinge a base desta estrutura de proteção e, durante os temporais, é comum a água galgar o paredão, pondo em causa a integridade do mesmo e

das construções aí existentes. De notar que o restaurante Galeão, que nos anos cinquenta se encontrava construído sobre areia de praia (habitantes locais, comunicação pessoal), se encontra hoje sobre estacas devido ao recuo da linha de costa verificado no Portinho da Arrábida.

Para leste do atual restaurante “O Farol”, há igualmente um historial de construções sobre o areal. Estas, devido ao desaparecimento gradual da praia do Portinho da Arrábida, terão sido abandonadas e destruídas ao longo do tempo. A desadequação do local cedo ficou evidente, tendo as primeiras construções, por serem desprovidas de proteção, sido significativamente atingidas por uma intensa tempestade ocorrida nos anos 40 (Figura 18), provavelmente o ciclone de 15 de Fevereiro de 1941, que atingiu severamente a zona de Sesimbra (Blog Vedrografias de Matos, V. 15 de fevereiro de 2016).



Figura 16 – Na imagem da esquerda (Blog Prosimetron. 16 Julho 2011), uma perspetiva de NNE-SSW, pormenor do parque de estacionamento original, ainda sobre o areal da praia. De notar que a utilização do espaço se fazia já de forma desadequada, tendo em conta a curvatura natural da baía. Na imagem da direita, correspondente a uma perspetiva N-S, (Blog Prosimetron. 16 Julho 2011), observa-se a estabilização da linha de costa hoje existente, recorrendo a um paredão contínuo.

Figure 16 - In the left image (Blog Prosimetron. 16 July 2011), a view from NNE-SSW, detail of the original parking lot, still located on the sandy beach. Note that the use of space was already inadequate, taking into account the natural curvature of the bay. In the image on the right, corresponding to an N-S perspective, (Blog Prosimetron, July 16, 2011), we can observe the stabilization of the coastline that exists today, using a continuous seawall.



Figura 17 – Caminho que liga o restaurante “O Galeão” ao restaurante “O Farol”. Na preia-mar o mar atinge a base da estrutura de proteção e, durante os temporais, é comum a água galgar a infra-estrutura, pondo em causa a integridade da mesma e das construções aí existentes (19/2/2011) (Tailsfromportugal.wordpress.com, 24/2/2011).

Figure 17 - The path from the restaurant “O Galeão” to the restaurant “O Farol”. During high-tide the seawater reaches the base of the protection structure and during the storm events, it is common to see the seawater reaching the infrastructure, potentially damaging it and the buildings therein (19/02/2011) (Tailsfromportugal.wordpress.com, 24/2/2011).



Figura 18 – Instalações do Salva Vidas, em fundo, e aspeto da destruição provocada nos anos 40, provavelmente pelo ciclone de 1941, nas construções existentes na praia (Portinho da Arrábida. 100 Anos de Memórias – Catálogo da Exposição de Fotografia. 2013).

Figure 18 – Lifeguard facilities, in the background, and the 1940s destruction of the existing buildings on the beach, likely caused by the cyclone of 1941 (Portinho da Arrábida. 100 Anos de Memórias – Catálogo da Exposição de Fotografia. 2013).

O recuo da linha de costa levou, primeiramente, ao desaparecimento das construções mais frágeis e posteriormente à própria instalação do Salva-Vidas, já ausente nas imagens da primeira década de 2000.

Com o progressivo recuo da linha de costa e o desaparecimento da praia de areia, o acesso à zona do Creiro terá ficado dificultado. Foi então construído, no início da década de 2000, um aterro para suportar um caminho de ligação entre o Portinho e o Creiro. Esta estrutura, implantada na base dos depósitos de vertente e nas restantes manchas da areia de praia, não resistiu à ação do mar e colapsou devido à tendência erosiva se ter mantido (Figura 19). Entre 2010 e 2011, como resposta a esta situação, procedeu-se à instalação de um novo aterro, mas protegido por enrocamento. Como resultado, existe hoje uma proteção de rocha, quase contínua, desde o restaurante “O Farol” até ao início do atual areal do Creiro (Figura 20).

Cabe aqui fazer uma reflexão sobre os impactes da implantação de estruturas rígidas de proteção como forma de mitigação dos efeitos do recuo da linha de costa uma vez que parte significativa da atual linha de costa da baía se encontra nesta situação.

A instalação de paredões, com a fixação da posição linha de costa, tem consequências negativas para formação e existência de praias. Contrariamente ao litoral arenoso, que absorve parte significativa da energia das ondas que sobre ele se espriam, as estruturas rígidas tendem a refletir a energia da ondulação após o impacto direto das ondas sobre as mesmas. Como consequência da não dissipação e da reflexão de energia, a areia não só tem mais dificuldade em se fixar, como é transportada para o largo pelas ondas refletidas. Este fenómeno é mais gravoso em períodos de temporal, onde a areia é arrastada para maior distância da linha de costa, ficando dificultada a sua reposição pela ondulação existente em períodos de acalmia. Em casos extremos, a areia pode mesmo ser transportada para distancias e profundidades que a impeçam de retornar à praia. Como resultado, potencia-se o desaparecimento da areia e a formação de praia de calhaus à frente das zonas protegidas por paredão. Esta é a situação atualmente dominante desde o Portinho até ao início da praia do Creiro.

Mas a construção sobre a praia/duna não ficou limitada à zona do Portinho. A tendência nacional para a ocupação do litoral, ocorrida na década de 40, teve como consequência que o areal da zona do Creiro fosse sendo progressivamente coberto com construções (Figura 21; gráfico 1). A pressão sobre o local levou a que a construção se expandisse igualmente para a base e o início da arriba, maioritariamente sobre depósitos de vertente, onde o relevo não era muito acentuado, como



Figura 19 – Erosão do aterro construído para dar acesso à zona do Creiro, tendo ficado exposta a canalização da água (Blog a-sul. 26 Outubro 2010).

Figure 19 – Erosion of the landfill built to give access to the Creiro area, causing the exposure of the water plumbing (Blog a-sul. 26 Outubro 2010).



Figura 20 – Restaurante “O Farol”, à esquerda da imagem, e o início do enrocamento construído na base do caminho efetuado para ligar o Portinho ao Creiro (foto sem data).

Figure 20 - “O Farol” restaurant, at the left of the picture, and the beginning of the boulder seawall built at the base of the path built to connect the Portinho to the Creiro area (undated photo).

se constata nos mapas de ocupação apresentados por Carvalho, 2015. Neste trabalho, onde é efetuada uma análise detalhada do edificado no Portinho, com base em deteção remota, entre 1967 e 2012, estão referenciadas e mapeadas todas as construções existentes. Ainda segundo este autor, embora o crescimento do edificado tenha sido interrompido em 1978, apenas em 1986 foi ordenada a demolição de todas as construções ilegais existentes em domínio público marítimo, existindo hoje apenas dois restaurantes na parte mais recuada do areal. Esta ocupação deixou, no entanto, um problema ambiental significativo que perdura até aos dias de hoje: a demolição efetuada não retirou a totalidade das fundações das habitações. Devido ao transporte eólico não ser muito intenso na zona do Creiro, a acumulação eólica não é significativa. Por essa razão, as antigas fundações encontram-se cobertas apenas por uma fina

camada de areia. A utilização do espaço, com a abertura ocasional de pequenos sulcos na morfologia existente, põe frequentemente a descoberto os restos das fundações e o entulho proveniente das demolições. Esta situação, além dos riscos envolvidos para a utilização balnear, degrada acentuadamente o ambiente natural.

4.1.3. O problema do sedimento argiloso na qualidade do areal

A praia e as dunas costeiras que se formam na baía do Portinho por ação do mar e do vento, geram uma barreira arenosa no sopé das vertentes. Esta barreira funciona como um obstáculo à livre dispersão, no oceano, das águas de escorrência superficial que descem as encostas da serra.

Sendo a areia de praia um meio geológico com elevada porosidade e transmissibilidade, a água das chuvas, caso



Figura 21 – Ocupação desregrada sobre o areal do Creiro nos anos 80 (Portinho da Arrábida. 100 Anos de Memórias – Catálogo da Exposição de Fotografia. 2013).

Figure 21 - Unregulated occupation at Creiro beach during the 1980's (Portinho da Arrábida. 100 Anos de Memórias – Catálogo da Exposição de Fotografia. 2013).

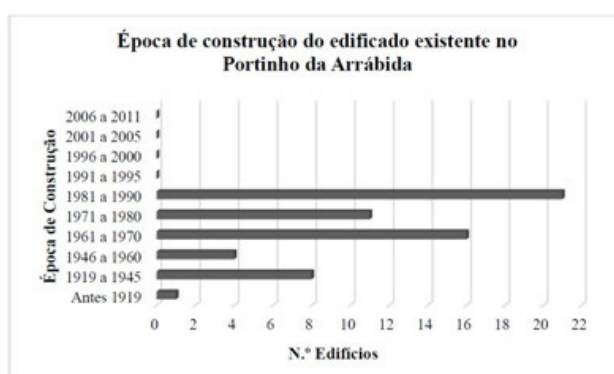


Gráfico 1 – Época de construção do edificado existente na baía do Portinho da Arrábida (Carvalho, 2015).

Graph 1 - Construction period of the existing buildings at Portinho da Arrábida bay (Carvalho, 2015).

o caudal das ribeiras não seja muito elevado, infiltra-se e percola para o mar.

No entanto, caso exista uma maior hierarquização da rede de drenagem, a possibilidade de que chegue à praia, num determinado local, um curso de água com caudal maior que a capacidade de infiltração, faz com que a água das chuvas quebre a barreira costeira, passando, nesse caso, a ribeira a descarregar diretamente para a zona frontal da praia ou mesmo para o mar. Na baía do Portinho verifica-se esta situação em dois locais: na parte leste da praia do Portinho, e na zona do Creiro, sendo que neste último caso a descarga é mais significativa. Este processo de

escoamento tem, como consequência, a rutura física da barreira costeira e a abertura de um canal, provocando o arrasto da areia para o mar.

A ocupação humana do espaço veio alterar e amplificar os impactes gerados pela escorrência das águas superficiais, sobretudo na zona do Creiro. A estrada de acesso à praia e os seis parques de estacionamento asfaltados, a formação de pequenos taludes, deixando as encostas argilosas expostas (Figura 22) e a formação de caleiras e canais para a condução da água pluvial, geraram uma combinação de fatores que propiciaram o incremento do caudal da ribeira e da carga sólida que chega à praia.



Figura 22 – Taludes gerados com a construção do parque de estacionamento (Foto datada de 13/9/2016).

Figure 22 - Slopes generated by the construction of the parking lot (Photo date: 9/13/2016).

Apesar do esforço notório para efetuar uma intervenção integrada no ambiente do ponto de vista paisagístico, as alterações físicas provocadas, alterando a morfologia do terreno, expondo as formações argilosas e modificando o coberto vegetal, são fatores negativos com importância determinante na situação atual.

Também as intervenções efetuadas para ordenar os acessos, na base da arriba e sobre a praia, foram responsáveis por alterações significativas na forma como a água atravessa a barreira costeira. A conjugação dos aterros e da construção de um caminho paralelo à costa, em brita calcária, por detrás das dunas, leva a que, pelo facto da sua cota ser inferior à das dunas e à da berma de praia, a água não encontre um caminho preferencial para o mar (Figura 23). Dessa forma, a água proveniente das encostas alaga essa zona e, quando encontra uma zona deprimida, na praia, ou nas dunas, interseta o sistema. Este novo cenário, contrariamente à drenagem do passado, que se efetuava preferencialmente por um canal, leva a que a água se espalhe por uma maior frente de praia, incrementando o impacte negativo (Figura 24). Acresce que o pó de calcário libertado pela estrada, ao ser arrastado para a praia, contribui igualmente para a degradação da qualidade do areal.

O impacte desta dispersão sobre as dunas e sobre a praia é mais significativo, porquanto se verifica o incremento da carga sólida da ribeira. Como a areia funciona como um filtro, os sedimentos transportados pela água que se infiltra tendem a colmatar a porosidade existente, diminuindo progressivamente a capacidade de absorção

e a percolação de água no interior do corpo arenoso. Como resultado da retenção desta carga sólida, a areia deixa de ser “limpa” e branca, passando a um substrato de areia argilosa com uma cor acastanhada/avermelhada (Figura 25). A mancha de areia argilosa atinge hoje aproximadamente 180 m de frente de praia e uma área de cerca de 5000 m².

4.2. Algumas reflexões sobre o sistema deste setor litoral

A variação da morfologia que ocorre na parte superior do delta do rio Sado, com a alteração da localização de canais e baixios, é uma consequência da evolução natural deste sistema sedimentar. O encosto de dunas e barras submarinas, que trazem areia à costa, e as alterações nas correntes e ondulação gerados pela alteração da morfologia local, são aspetos que condicionam a quantidade de areia disponível para formar praias. Assim, as oscilações no volume de areia que circula no interior da baía do Portinho da Arrábida deverão estar relacionadas com a dinâmica do delta.

Neste sistema, as praias são o resultado de um balanço positivo da deriva litoral, ou, olhando de uma forma aritmética, o que resta “da soma e da subtração” do transporte de areia gerado pelas correntes, pelas ondas e pelas marés no local. Assim, o crescimento da praia do Portinho da Arrábida corresponderá ao resultado de um balanço positivo e o desaparecimento da praia a uma fase de balanço negativo, da deriva litoral.



Figura 23 – Efeito negativo do caminho, construído sobre a praia do Creiro, na drenagem das águas pluviais, fazendo aumentar a secção de contato com a praia e incrementando, dessa forma, o impacte das argilas na qualidade da areia (13/9/2016).

Figure 23 - Negative effect of the path on rainwater drainage, increasing the contact area with the Creiro beach and thus increasing the impact of clays on the quality of sand (13/09/2016).



Figura 24 - Praia do Creiro: Linhas a negro indicando a zona de espalhamento do sedimento argiloso proveniente da ribeira. (Adaptada de Visit Setúbal, Portugal, Julho 2017).

Figure 24 – Creiro Beach: Lines in black indicating the zone of spreading of the clayey sediment coming from the river. (Adapted from Visit Setúbal, Portugal, July 2017).



Figura 25 – Diferença de cor e tonalidade entre a areia lavada e a areia argilosa, recolhida com um trado (22/12/2014).

Figure 25 - Color and tonality differences between washed sand and clayed sand, collected with an auger (12/22/2014).

Quando uma praia sofre poucas oscilações na sua morfologia, é referido que se encontra em equilíbrio dinâmico (o volume de areia que sai é idêntico ao que entra, e a linha de costa mantém-se aproximadamente na mesma posição). No Portinho da Arrábida, no entanto, as oscilações são acentuadas. Há épocas em que sai muito mais areia do que entra, e a praia reduz-se significativamente. Como consequência, são formadas morfologias típicas de erosão marinha e os fragmentos de rochas destacados das falésias são trabalhados pelo mar dando origem a calhaus rolados. Nas épocas em que, no sistema, entra mais areia do que sai, desenvolve-se uma extensa praia arenosa, que cobre as morfologias erosivas e tapa os leitos de calhaus rolados. Assim, a pequena dimensão da praia que hoje se observa poderá ser causada por uma fase de balanço sedimentar negativo, associada a processos naturais.

A existência de escarpas de erosão, preservadas pelo areal existente no século passado (Figura 26), a presença de uma praia de calhaus, de dimensão decimétrica, no sopé das referidas escarpas, hoje exposta devido ao recente desaparecimento da areia e a existência de pequenas plataformas de abrasão marinha, recentemente reativadas, devido à ausência de areia, são indicadores geológicos de um antigo ambiente costeiro em que a areia não estaria presente em quantidade significativa.

Estes indicadores geológicos são um importante contributo para desmistificar a ideia de que “*a praia sempre teve areia, areia esta, que agora desapareceu*”, alertando-nos para uma maior complexidade do sistema e para uma acentuada variabilidade no regime sedimentar da baía. Também a ausência do *Monte de Areia* em fotografias dos anos 10 do século passado, poderá ser um indicador de uma praia de dimensão reduzida nessa época.

O olhar para o desaparecimento da praia como uma pulsação natural do sistema não deve, no entanto, afastar a hipótese de o efeito ser amplificado por ação do Homem. Interações com a dinâmica natural do delta, como sejam o caso da fixação da posição dos canais, ou de ações de dragagem com retirada de areia do local, têm impactes diretos na dinâmica sedimentar. No entanto, é difícil estabelecer e quantificar a relação causa-efeito destas ações relativamente ao desaparecimento das praias, quer pela distância física a que ocorrem, quer pelo tempo que demoram a gerar os efeitos.

Relativamente à degradação da qualidade da areia por efeito do sedimento argiloso proveniente das encostas, tudo indica que a ação antrópica terá potenciado este efeito nefasto no ambiente. A formação de taludes inclinados, o incremento da impermeabilização do solo, o favorecimento do escoamento superficial com elevado



Figura 26- Escarpa de erosão marinha anterior à instalação da praia do Portinho ocorrida no início do século passado. A seta assinala vestígios de um episódio erosivo, observando-se a exposição de uma raiz de uma árvore associada a uma pequena escarpa de erosão (Foto adaptada de Clube da Arrábida e Parque Natural da Arrábida, 2013).

Figure 26 – Set-back slope, due to marine erosion, that occurred prior to the Portinho beach settlement at the beginning of the last century. The arrow indicates traces of an erosive episode, observing the exposure of a tree root associated with a small erosion escarpment (Photo adapted from Clube da Arrábida e Parque Natural da Arrábida, 2013).

potencial de transporte, a exposição de unidades argilosas e a ausência de uma medida para direcionar as águas de escorrência para o mar, terão levado à degradação da qualidade da areia da praia, quer pelo incremento do volume do sedimento argiloso retida no areal quer pelo aumento de área de praia afetada pelo fenómeno.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise da evolução da praia do Portinho da Arrábida mostra que o areal diminuiu de forma acentuada desde a primeira metade do século passado, sendo a situação atual caracterizada por uma escassez de areia que reduz significativamente a qualidade balnear da mesma. A dimensão da praia decresceu significativamente, sendo que o seu comprimento está reduzido a 37% e a sua área a 43%, do valor que outrora apresentaram. Acresce que a percentagem relativa de calhaus na face da praia aumentou, sendo frequente que parte significativa dos restantes 37% de praia se encontre coberta por material grosseiro na zona intertidal. A tendência erosiva tem-se mantido, e o recuo da linha de costa, embora lento, começa já a atingir a duna localizada no extremo oeste da praia do Creiro.

Fotografias do início do século passado, que mostram a existência de uma praia estreita na zona do Portinho e a

ausência do *Monte de Areia*, corroboradas por indicadores geológicos, apontam para que as variações na quantidade de areia na praia do Portinho possam ser encaradas como um fenómeno natural. No entanto, e devido à estreita ligação da praia com o delta do rio Sado, as ações de fixação do canal de navegação e de dragagem do mesmo canal, ao promoverem alterações na dinâmica do delta, poderão ter consequências negativas na dimensão da praia.

A qualidade do areal existente está também muito degradada. A permanência das fundações das casas demolidas nos anos 80, a abertura de um caminho na praia coberto com brita calcária, o alastramento da mancha argilosa, sobre e dentro do areal e o incremento do caudal da ribeira do Creiro devido à impermeabilização efectuada nas encostas, são aspetos que importa ter em conta numa requalificação do espaço.

Perante o diagnóstico efetuado, e por forma a reverter o estado de degradação que atualmente a praia do Portinho da Arrábida apresenta, será importante que um futuro plano de intervenção abarque a totalidade dos problemas detetados, designadamente a limpeza do areal existente, a correta gestão do espaço, a utilização de materiais adequados, a resolução do problema associado às águas de escorrência provenientes das encostas e a realimentação da praia com areia de características

idênticas à existente antes da degradação do areal. Este plano deve igualmente contemplar a elaboração de um estudo que permita compreender a dinâmica dos sedimentos na parte superior do delta e na zona submersa da praia, aspeto fundamental para encontrar as respostas para as variações observadas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da colaboração com o Clube da Arrábida, associação que tem desenvolvido uma constante atividade cívica em prol do incremento do conhecimento sobre o Portinho da Arrábida bem como da divulgação da história do local.

REFERÊNCIAS

- Andrade, C.; Freitas, M.C.; Brito, P.; Amorim, A.; Barata, A.; Cabaço, G. (2006). Estudo de caso da região do Sado, zonas costeiras. In: F.D. Santos e P. Miranda (Editors), *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II*, pp 385-479. Gradiva. Lisboa.
- Antunes, M. T.; Elderfield, H.; Legoinha, P. & Pais, J. (1995). Datações isotópicas com Sr do Miocénico do flanco Sul da Serra da Arrábida. *Com. Inst. Geol. e Mineiro*, 81: 73-78, Lisboa.
- Biblioteca de Arte da Fundação Calouste Gulbenkian, Fotografia sem data. Produzida durante a actividade do Estúdio Horácio Novais, 1930-1980. In: <https://www.flickr.com/photos/biblarte/9491158755/in/photostream/>
- Blog a-sul. Blogue Ambientalista da Margem Sul / Portuguese Environmental Blog “Pense Global , Aja Local” Save the Portuguese Forest / Salve a Floresta Portuguesa. 26 Outubro 2010. Acessos ao Portinho da Arrábida – a oitava maravilha. In: <http://a-sul.blogspot.pt/2010/10/acessos-ao-portinho-da-arrabida-oitava.html>
- Blog Estação Chronografica de Oliveira, F.C. 22 de maio de 2013, Operação relógios Jaeger-LeCoultre nos mares da Arrábida. In: <https://estacaochronographica.blogspot.pt/2013/05/operacao-jaeger-lecoultre-nos-mares-da.html>
- Blog Prosimetron. 16 Julho 2011. Praias de Portugal - 10. In: http://prosimetron.blogspot.pt/2011_07_10_archive.html
- Blog Restos de Coleção, de José Leite. 10 Agosto 2013. Portinho da Arrábida. In: <http://restosdecoleccion.blogspot.pt/2013/08/portinho-da-arrabida.html>
- Blog Vedrografias de Matos, V. 15 de fevereiro de 2016. Foi há 75 anos: Torres Vedras e o “Grande Ciclone” de 15 de Fevereiro de 1941. In: <http://vedrografias2.blogspot.pt/2016/02/foi-ha-75-anos-torres-vedras-e-o-grande.html>
- Brito, P., Andrade, C. Terrinha P, Rebêlo L, Monteiro, J. H., Freitas M. D. C. (2006) - Variação da morfologia e volumetria do delta de vazante do estuário do Sado. In: F. Rocha, D. Terroso e A. Santos (Editors), *5º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica*, pp.33-34, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Brito, P. (2009). *Impactos da elevação do nível médio do mar em ambientes costeiros - O caso do estuário do Sado*. 344p. Dissertação de Doutoramento em Geologia. Universidade de Lisboa.
- Brito, P.; Rebêlo, L. (2013) - Geologia do Portinho da Arrábida. In: *Desassoreamento da Arrábida – Causas e soluções*, pp49-66, Atas do colóquio, 16 de Novembro de 2011. Lisboa. Estrutura de Missão para os Assuntos do Mar.
- Carneiro, E. (2013) - Portinho da Arrábida, Areias “Viajantes”; Causas Naturais ou Artificiais, pp73-89, Atas do colóquio, 16 de Novembro de 2011. Lisboa. Estrutura de Missão para os Assuntos do Mar.
- Carvalho, R. P. R. (2015) - *Monitorização da edificação no Parque Natural da Arrábida com base em Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota*. 94p., Dissertação de Mestrado em gestão do Território, na área de especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, Faculdade de Ciências Humanas – Universidade Nova de Lisboa.
- Clube da Arrábida (2013) - *Portinho da Arrábida - 100 Anos de Memórias*. Catálogo da Exposição de Fotografia.
- Clube da Arrábida e Parque Natural da Arrábida (2013) - Capítulo I – Resumo fotográfico. In: *Desassoreamento da Arrábida – Causas e soluções*, pp49-66, Atas do colóquio, 16 de Novembro de 2011. Lisboa. Estrutura de Missão para os Assuntos do Mar.
- Kullberg, J. C.; Terrinha, P., Pais, J., Reis, R. P. & Legoinha, P. (2006) - Arrábida e Sintra: dois exemplos de tectónica pós-rifting da Bacia Lusitaniana. In: (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. C. Kullberg, Eds.) *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, pp. 369-396, Universidade de Évora.
- Manuppella, G., Antunes, M.T., Pais, J. (1999) - Carta Geológica de Portugal na escala 1/50000: Notícia Explicativa da Folha 38-B Setúbal, Instituto Geológico e Mineiro.
- Pais, J.; Legoinha, P. & Kullberg, J. C. (1991) - Novos elementos acerca do Neogénico do Portinho da Arrábida (Serra da Arrábida). *3º Congresso Nacional de Geologia*: p. 122, Coimbra.
- Pereira da Silva, C.; Nogueira Mendes, R.; Moutinho, G.; Mota, V. and Fonseca, C. (2016) - Beach carrying capacity and protected areas: management issues in Arrábida Natural Park, Portugal. 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, Special Issue, No. 75*: 680-684. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- Quevauviller, P. (1985) - Estuário do Sado - Costa da Galé análise geomorfológica e estudo de alguns aspetos sedimentológicos. Relatório interno. Direcção Geral do Ordenamento.
- Rebêlo, L., Ferraz, M., Brito, P., Terrinha, P. (2011) - Quantification of sediments accumulated in the NW sector of Tróia Peninsula (Portugal) between 1928 and 1995. *Journal of Coastal Conservation – Planning and Management*, 16(3): 261-268. DOI 10.1007/s11852-011-0171-2.
- Silva, C.T.; Coelho-Soares, A. (1987) - Escavações arqueológicas no Creiro (Arrábida). Campanha de 1987. *Setúbal Arqueológica*, vol. VIII, pp. 221-237. Setúbal: MAEDS.
- Tailsfromportugal. Just another WordPress.com site. 24 Fevereiro de 2011, New Friends in Setúbal In: <https://tailsfromportugal.wordpress.com/2011/02/24/new-friends-in-setubal-2/>
- Visit Setúbal. Portugal. Julho 2017. In: [http://www.visitsetubal.com.pt/praias/praiado-creiro/#!prettyPhoto\[single_port\]/1/](http://www.visitsetubal.com.pt/praias/praiado-creiro/#!prettyPhoto[single_port]/1/)

GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA

Journal of Integrated Coastal Zone Management

