Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

Volume 20(3): September 2020

ISSN 1646-8872

Editor-in-Chief Prof. Francisco Taveira Pinto

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

Volume 20, Issue 3
September 2020

Editorial Board

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

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

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

Marcus Pollete
Section Editor
<mpolette13@gmail.com>

Marinez Scherer
Section Editor
<marinezscherer@gmail.com>

André Fortunato
Section Editor
<afortunato@lnec.pt>

Carlos Coelho
Section Editor
<ccoelho@ua.pt>

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

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

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

Publishers
Editorial consortium comprising:

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

Secretariat
Ana Estêvão (APRH), André Cardoso (APRH)

Copy editing
Francisco Taveira Pinto, Paulo Rosa Santos, Tiago Ferradosa

Formatting and pagination
André Cardoso (APRH)

Web page
André Cardoso (APRH)

SciELO DTD markup
André Cardoso (APRH)

Cover design
Francisco Taveira Pinto, Paulo Rosa Santos

ISSN: 1646-8872

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

20(3) – September 2020

Table of Contents

Editorial Note

Francisco Taveira-Pinto, Paulo Rosa-Santos, Tiago Fazeres-Ferradosa
Gestão e planeamento integrado das zonas costeiras da CPLP – Parte 2..... 157-160

Technical Note

Pedro Mello Paiva, Jader Lugon Junior, Emiliano Nicolas Calderon, Maria Manuela Fraga Juliano, Mauricio Mussi Molisani
Decommissioning of subsea oil and gas production pipelines: hydrodynamic modeling for preliminary assessment of sediment resuspension and burial onto benthic organisms..... 161-168

Articles

Regina Célia Macêdo do Nascimento, Cibele Rodrigues Costa1, Mateus G. Magarotto, Jacqueline Santos Silva-Cavalcanti, Monica Ferreira Costa
Qualidade da água de três estuários tropicais expostos a diferentes níveis de urbanização..... 169-178

Leticia Dechen Puche1, Simone Mendonça Santos
A articulação entre a gestão ambiental portuária e a gestão costeira integrada: o caso da agenda ambiental local do Porto de Santos/SP - Brasil..... 179-195

Ana Bio, José Alberto Gonçalves, José Pinho, Luís Vieira, José Vieira, Gueorgui Smirnov, Luísa Bastos
Indicadores de vulnerabilidade de erosão costeira: Um estudo de caso no Norte de Portugal..... 197-209

Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada 20(3):157-160 (2020)
http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n392_nota-editorial.pdf | DOI:10.5894/rgci-n392

Revista de Gestão Costeira Integrada
Journal of Integrated Coastal Zone Management

Nota Editorial / *Technical Note*

Gestão e planeamento integrado das zonas costeiras da CPLP – Parte 2

Integrated management and planning of coastal zones in CPLP – Part 2

Francisco Taveira-Pinto[@ 1], Paulo Rosa-Santos[1], Tiago Fazeres-Ferradosa[1]

[@] Autor correspondente: fpinto@fe.up.pt

[1] Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Grupo de Estruturas Hidráulicas e Energia do Mar

No âmbito do IX Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, realizado de 14 a 16 de maio de 2019 e organizado pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), a Revista de Gestão Costeira Integrada procedeu à seleção de um total de nove artigos técnico-científicos, de reconhecido mérito, para integrar uma edição especial, tendo em vista apresentar uma perspetiva abrangente da realidade de gestão e planeamento costeiro integrado na CPLP. Cinco desses artigos, já publicados na primeira parte dessa edição especial (Taveira Pinto *et al.*, 2020), versaram sobre a aplicação de modelos numéricos para simular o efeito da vegetação na propagação de ondas (Reis, 2020) e a morfodinâmica na proximidade de quebramares submersos destacados (Oliveira *et al.*, 2020), bem como sobre a apresentação de ferramentas e metodologias de apoio à monitorização de obras marítimas e costeiras (Lemos *et al.*, 2020), a análise de fenómenos de assoreamento em zonas estuarinas recorrendo a dados de campo e simulações numéricas (Leitão *et al.,* 2020), e a modelação hidrodinâmica e morfodinâmica de três trechos costeiros para diferentes cenários de alterações climáticas (Pinho *et al.*, 2020).

A segunda parte desta edição especial inclui três artigos e uma nota técnica, com enfoque relevante nos domínios ambientais da gestão costeira integrada, que procuram complementar as temáticas anteriores. Os casos de estudo apresentados nos artigos são referentes às zonas costeiras do Brasil e Norte de Portugal. Acresce-se ainda uma nota técnica no âmbito da desativação e desmantelamento de plataformas em alto mar e respetivas condutas submarinas de ligação à costa e ambiente *onshore.*

** Submission: 24 AGO 2020; ; Available on-line: 26 AGO 2020*

Em Nascimento *et al.* (2020) apresenta-se o estudo de qualidade da água de três estuários tropicais, designadamente dos Rio Goiana, Capibaribe e Jaboatão, situados no Estado de Pernambuco, que têm a particularidade de estar expostos a diferentes níveis de urbanização. Nesse estudo é estabelecida a ligação entre os problemas da qualidade da água e a falta de saneamento básico, independentemente dos níveis de urbanização das localidades adjacentes, e impactos provenientes de atividades agrícolas, desmatamento do solo entre outros.

A avaliação de vulnerabilidades e de riscos costeiros em cenários de alterações climáticas é essencial para uma gestão costeira integrada. Neste contexto, Bio *et al.* (2020) apresentam um estudo muito detalhado sobre indicadores morfométricos e morfodinâmicos de vulnerabilidade de erosão costeira para a costa norte de Portugal, realizado no âmbito do projeto MarRisk. A metodologia seguida no estudo é baseada na classificação de praias e em modelos digitais de terreno e superfície, obtidos com recurso a levantamentos de LiDAR e de fotogrametria aérea. Os resultados dizem respeito à linha de costa entre Caminha e Espinho, tendo-se concluído que entre 2017 e 2018 se registou uma regressão de mais de 17 m que pode, em parte, dever-se a efeitos sazonais.

Puche e Santos (2020) abordam o tema da gestão ambiental portuária e a sua articulação com a gestão costeira integrada, realçando que o sector portuário é estratégico para o crescimento económico e social do Brasil. Neste trabalho os autores analisam o Porto de Santos, São Paulo (Brasil), e reveem de uma forma crítica a literatura existente, apresentando as limitações do planeamento integrado atual, nomeadamente no que concerne à relação porto-cidade, gestão de infraestruturas sustentáveis, entre outros aspetos considerados de importância vital para a sustentabilidade portuária do ponto de vista ambiental. Esta revisão é finalizada com a apresentação de boas práticas de monitorização, acompanhamento e das melhorias necessárias ao desenvolvimento de futuras agendas ambientais portuárias.

Esta edição especial termina com a nota técnica de Paiva *et al.* (2020) que versa sobre a desativação e desmantelamento de plataformas e condutas de extração e transporte de petróleo e gás em fim de vida útil. Esta é uma realidade de diversos pontos de captação na zona marítima Brasileira, sendo que frequentemente existe uma relação com as zonas costeiras, na medida em que essas infraestruturas se encontram ligadas à costa. No artigo é apresentado um estudo de modelação numérica em MOHID com o intuito de analisar a suspensão de sedimentos, associada aos trabalhos de desmantelamento, e a respetiva interação com os organismos marinhos. Este trabalho utilizou como caso de estudo a zona de Campos (Brasil), tendo-se concluído que as operações de remoção das estruturas submarinas podem provocar o soterramento de rodólitos da plataforma continental arenosa e de corais de águas profundas da encosta continental. No entanto, na plataforma continental os riscos para os organismos bentónicos são reduzidos.

A edição especial, aqui apresentada em duas partes, reveste-se de especial interesse para todos os interessados no domínio da gestão costeira integrada, correspondendo, em certa medida, a mais uma manifestação de um longo trajeto de contribuições científicas e técnicas nessa área por parte da Revista de Gestão Costeira Integrada, com especial destaque para a comunidade e realidade técnico-científica da CPLP.

Within the scope of the IX Congress of Coastal Zone Planning and Management of the Portuguese Speaking Countries, held from 14 to 16 May 2019 and organized by the Portuguese Association of Water Resources (APRH), the Journal of Integrated Coastal Zone Management selected a total of nine technical-scientific articles, of recognized merit, to integrate a special issue, which presents a comprehensive perspective of the reality of the integrated coastal management and planning in CPLP. Five of these articles, already published in the first part of this special edition (Taveira Pinto et al., 2020), dealt with the application of numerical models to simulate the effect of vegetation on wave's propagation (Reis, 2020) and the morphodynamics in the vicinity of detached submerged breakwaters (Oliveira et al., 2020), as well as on the presentation of tools and methodologies to support the monitoring of maritime and coastal works (Lemos et al., 2020), the analysis of silting phenomena in estuarine areas using field data and numerical simulations (Leitão et al., 2020), and the hydro- and morphodynamic modelling of three coastal stretches under different climate change scenarios (Pinho et al., 2020).

The second part of this special issue includes three articles and a technical note, with a relevant focus on the environmental domains of integrated coastal management, which seek to complement the previous themes. The case studies presented in the articles refer to coastal areas in Brazil and Northern Portugal. There is also a technical note regarding the deactivation and dismantling of offshore platforms and respective underwater pipelines for connection to the coast and onshore environment.

Nascimento et al. (2020) present the study of water quality in three tropical estuaries, namely the Rio Goiana, Capibaribe and Jaboatão, located in the State of Pernambuco, which have the particularity of being exposed to

different levels of urbanization. This study establishes the link between water quality problems and the lack of basic sanitation, regardless of the levels of urbanization in adjacent locations, and impacts from agricultural activities, land deforestation, among others.

Assessing coastal vulnerabilities and risks in climate change scenarios is essential for integrated coastal management. In this context, Bio et al. (2020) present a very detailed study on morphometric and morphodynamic indicators of coastal erosion vulnerability for the north coast of Portugal, carried out under the MarRisk project. The methodology followed in the study is based on the classification of beaches and on digital models of terrain and surface, obtained using surveys of LiDAR and aerial photogrammetry. The results refer to the coastline between Caminha and Espinho and allowed to conclude that between 2017 and 2018 there was a regression of more than 17 m, which may be partially due to seasonal effects.

Puche and Santos (2020) address the issue of environmental port management and its articulation with integrated coastal management, emphasizing that the port sector is strategic for the economic and social growth of Brazil. In this work, the authors analyze the Port of Santos, São Paulo (Brazil), and critically review existing literature, presenting the limitations of current integrated planning, namely concerning to the port-city relationship, sustainable infrastructure management, among other aspects considered of vital importance for port sustainability from an environmental point of view. This review ends with the presentation of good monitoring/follow-up practices and the necessary improvements for the development of future port environmental agendas.

This special issue ends with the technical note by Paiva et al. (2020) which deals with the deactivation and dismantling of platforms and pipelines for the extraction and transportation of oil and gas at the end of their useful lives. This is a reality of several fields in the Brazilian maritime zone, and there is often a relationship with coastal areas, as these infrastructures are linked to the coast. In the article a study of numerical modelling in MOHID is presented in order to analyze the suspension of sediments, associated with dismantling works, and the respective interaction with marine organisms. This study used the Campos area (Brazil) as a case study, concluding that the removal operations of submarine structures may cause the burial of rhodoliths on the sandy continental shelf and of deep-water corals on the continental slope. However, on the continental shelf the risks to benthic organisms are reduced.

The special edition, presented here in two parts, is of special interest to all those interested in the field of integrated coastal management, corresponding, to some extent, to one more manifestation of a long path of scientific and technical contributions in that area by the Journal of Integrated Coastal Zone Management, with special emphasis on the community and the technical and scientific reality of CPLP.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

Bio, A., Gonçalves, J., Pinho, J., Vieira, L., Vieira, J., Smirnov, G., Bastos, L., (2020). Indicadores de vulnerabilidade de erosão costeira: um estudo de caso no Norte de Portugal. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 2. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n337

Leitão, P., Silva, A., Ribeiro, J., Carneiro, E., Pinto, J. (2020). Avaliação das taxas de assoreamento no estuário do rio Sado. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 1. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n330

Lemos, R., Capitão, R., Fortes, C., Henriques, M., Silva, L., Martins, T. (2020). A methodology for the evaluation of evolution and risk of breakwaters. Application to Portimão harbor and of Faro-Olhão inlet. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 1. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n298

Nascimento, R., Costa, C., Magarotto, M., Silva-Cavalcanti, J., Costa, M. (2020). Qualidade da água de três estuários tropicais expostos a diferentes níveis de urbanização. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 2. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n284

Oliveira, M., Oliveira, F., Trigo-Teixeira, A. (2020). Modelling the morphodynamics in the vicinity of a submerged detached breakwater. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 1. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n302

Paiva, P., Junior, J., Calderon, E., Juliano, M., Molisani, M. (2020). Decommissioning of subsea oil and gas production Pipelines: hydrodynamic modeling for Preliminary assessment of sediment resuspension and burial onto benthic organisms. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 2. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n286

Pinho, J., Vieira, L., Smirnov, G., Gomes, A., Bio, A., Gonçalves, J., Bastos, L. (2020). Modelação da hidrodinâmica e da morfodinâmica na costa Noroeste de Portugal em cenários de alterações climáticas. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 1. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n297

Puche, L., Santos, S. (2020). Articulação entre a Gestão Ambiental Portuária e a Gestão Costeira Integrada: o caso da Agenda Ambiental Local do Porto de Santos/SP – Brasil. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 2. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n288

Reis, R. (2020). Experiences with SWASH on modelling wave propagation over vegetation: comparisons with lab and field data. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 1. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n303

Taveira-Pinto, F., Rosa-Santos, P., Fazeres-Ferradosa, T., (2020). Gestão e planeamento integrado das zonas costeiras da CPLP – Parte 1. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Special Issue Integrated management and planning of coastal zones in the CPLP countries – Part 1. Doi: http://dx.doi.org/10.5894/rgci-n390

Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada 20(3):161-168 (2020)
http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n286_Paiva.pdf | DOI:10.5894/rgci-n286

Revista de Gestão Costeira Integrada
Journal of Integrated Coastal Zone Management

Nota Técnica / *Technical Note*

Decommissioning of subsea oil and gas production pipelines: hydrodynamic modeling for preliminary assessment of sediment resuspension and burial onto benthic organisms

Pedro Mello Paiva[@ 1], Jader Lugon Junior[2], Emiliano Nicolas Calderon[3], Maria Manuela Fraga Juliano[4], Mauricio Mussi Molisani[1,3]

[@] Corresponding author: pedromellopaiva@gmail.com
[1] Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade (NUPEM), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
[2] Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense-Macaé. Email: jlugonjr@gmail.com
[3] Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade (NUPEM), UFRJ. Email: emilianocalderon@icloud.com; molisanimm@yahoo.com.br
[4] Instituto do Mar, Universidade do Açores. E-mail:manuela.juliano@gmail.com

ABSTRACT: Many offshore oil and gas fields in Brazil are reaching the end of their economic productive life, which has increasing the demand for decisions about decommissioning of the offshore exploration structures such as subsea pipelines. However, removing, retaining or relocating subsea infrastructure have potential impacts on the marine environment caused by seabed perturbation. Using the MOHID hydrodynamic software, this study simulated resuspension, similar to those caused by pipelines recovery operations, and estimated the deposited particle layer onto rhodoliths and deep-water coral in continental shelf and slope in different sediment grain-size typologies. According to the proposed scenarios, simulation of resuspension indicated that particle deposition exceeded the burial thresholds (5.0 mm to rhodoliths and 6.3 mm for deep-water corals), while only in the continental shelf with fine sand seabed, the subsea pipeline removing didn't represent burial risk for considered benthic organisms.

Keywords: MOHID, Sediment, Campos Basin, Rhodoliths, Deep-water Coral.

** Submission: 2 SEP 2019; Peer review: 1 MAR 2020; Revised: 2 MAY 2020; Accepted: 2 MAY 2020; Available on-line: 26 AGO 2020*

1. INTRODUCTION

When offshore oil and gas installations reach the end of their production life, operators and regulators must decide the best decommissioning option available, for example, to reduce the environmental impacts (Bond *et al.*, 2018; Sommer *et al.*, 2019). Large subsea infrastructure is installed onto the seabed where oil and gas exploration occur, including platforms, wellheads, and pipelines (umbilical, riser, flowline and trunk line structures) (Rouse *et al.*, 2018). In Brazil, offshore oil and gas exploration initiated in the Campos Basin at 1970's, and more than 92 and 73%, respectively, of Brazilian oil and gas production comes from offshore fields in the continental margin from 200 to more than 2,000 m, nowadays at the Pre-Salt basin (Almada and Bernardino, 2017). Similarly to other oil fields in the world such as the Gulf of Mexico and North Sea, at this time, many offshore oil and gas fields in the Campos Basin are reaching the end of their economically productive lives, and many platforms and subsea structures are reaching (or have already reached) the end of their project life, which has significantly increased the demand for decommissioning (Mimmi *et al.*, 2017; Nicolosi *et al.*, 2018). Estimates indicated that about 1,000 km of pipelines are considered a decommissioning liability, from a total of ten thousand kilometers of seabed structures across the Campos Basin.

However, decommissioning efforts present financial, law, safety, technical, environmental and socio-economic challenges, and recently the oil industry and the government come to deal with decisions like the full or partial removing of topside and subsea installations, or the abandonment of such structures in seabed (Fowler *et al.*, 2014). As example, decommissioning has to consider the interactions between pipelines and local ecosystems, including the potential impact and disturbances on biodiversity. Marine organisms might be affect through physical impacts by resuspension and deposition onto organisms after removing pipelines (Burdon *et al.*, 2018; Fowler *et al.*, 2018; Rouse *et al.*, 2019) with decommissioning now becoming a global challenge. The compatibility of decommissioning operations to marine protected areas (MPAs). Estimates show that the dredging volume varies from 0.8 to 2.3 m³ per meter of buried pipeline, and that 12% of this volume is resuspended to the water column, *i.e.* the resuspension of sediments during operations is estimated between 0.10 to 0.28 m³ per meter of pipeline (John *et al.*, 2000 *apud* Di Michele *et al.*, 2017).

Among possible threating organisms in the Campos Basin by decommissioning, the extensive rhodolith banks and deep-water corals spread throughout the seabed of the continental shelf and slope, respectively (Amado-Filho *et al.*, 2012; Cavalcanti *et al.*, 2017; PETROBRAS, 2014) 150 m depth. Rhodoliths are structures formed by free-living red calcareous algae (*Rhodophyta, Corallinales, Sporolithales* and *Peyssonneliales*) (Curbelo-Fernandez *et al.*, 2017). The calcified structure of the rhodoliths provides three dimensional habitats to benthic environment, which increase biodiversity in mobile-substrate bottoms and represent a refuge for several organisms (Figueiredo *et al.*, 2012) algae responses were measured in light levels over their depth range. Qualitative samples were obtained by dredging at 90–100 m depth 80 km offshore of Cabo Frio Island, southeastern Brazil. Histological sections indicate that Mesophyllum engelhartii (Foslie). Information about growth, sensitivity to environmental impacts and ecological importance of rhodolith communities is very scarce (Henriques *et al.*, 2014). Deep-water corals can be also found in the Campos Basin and they have no symbiotic association with algae and feed mainly on zooplankton, phytodetrite and organic matter suspended in the water column (Cavalcanti *et al.*, 2017). Deep-water corals are particularly vulnerable to any impact because of their slow growth compared to species from other marine ecosystems (Ramirez-Llodra *et al.*, 2011). In the Campos Basin, deep-water corals were found in the middle slope, within the bathymetric of 500 and 1,200 m (Cavalcanti *et al.*, 2017). Thus, the objective of the present study was to simulate the physical impacts by resuspension and deposition onto benthic organisms after removing pipelines. By using the hydrodynamic model, particle layer thickness deposited onto rhodoliths and deep-water coral were estimated in continental shelf and slope of the Campos Basin with different sediment grain-size seabed conditions. This raised preliminary questions about sediment burial and benthic organism damage by decommissioning.

2. MATERIALS AND METHODS

The study site is the continental shelf and slope of the Campos Basin, located at the southern Brazilian coast (Figure 1), near the State of Rio de Janeiro and Espírito Santo and limited to the north by the Vitória High (20,5° S), and to the south by the Cabo Frio High (23° S), with an area of approximately 100,000 km² (de Castro and Picolini, 2015). The Campos Basin has two distinctive domains: (1) sediments from the terrigenous inner shelf varying in size from mud to gravel; (2) carbonate sediments in the outer shelf more homogeneous with mud and, rarely sand, composed typically by bioclastic and biolitoclastic material (de Rezende *et al.*, 2017).

The study region is located on the western edge of the South Atlantic Gyre, which is limited by the South

Equatorial Current, to the north, and the South Atlantic Current, to the south. The South Equatorial Current reaches the Brazilian coast, meets the continental margin, and is divided into three main water bodies: Tropical Water; South Atlantic Central Water; and Antarctic Intermediate Water. The seabed currents of the continental shelf are strongly influenced by the South Atlantic Central Water (de Castro Filho *et al.*, 2015), and is characterized by seasonal cooling and Ekman transport (de Almeida and Kowsmann, 2015). In the region near the seabed of the continental slope, in turn, the influence of the Antarctic Intermediate Water is greater, with relatively cold water, rich in oxygen and lower salinity (de Almeida and Kowsmann, 2015). Despite the great variation in the vertical velocity profile of ocean currents along the coast, in regions near the seabed, typically low values are observed for the current velocities, both on the continental shelf and on the slope, rarely exceeding 30 cm/s (de Almeida and Kowsmann, 2015; de Castro Filho *et al.*, 2015).

In order to estimate the deposited sediment layer onto benthic organisms, simulations were performed for two sites located at the continental shelf (47 and 49 m of water depth) covered with rhodoliths and two sites at the continental slope (586 and 650 m of water depth) colonized with deep-water corals (Figure 1). Both areas were tested in conditions which seabed is composed by sand and fine sand particles.

The particle resuspension and deposition was estimated using the MOHID hydrodynamic model (Leitão *et al.*, 2008). The hydrodynamic module is responsible for calculating variables such as water elevation and current velocity, in a three-dimensional baroclinic model, from input data such as bathymetry, tide levels and wind speed. MOHID hydrodynamic module allows the model mesh to be refined both horizontally and vertically, in order to allow a better understanding of the current dynamic in the seabed, and is already being used for studies of coralline areas (Navas *et al.*, 2014). In addition, MOHID has been used for oil ocean drift (Juliano *et al.*, 2012),

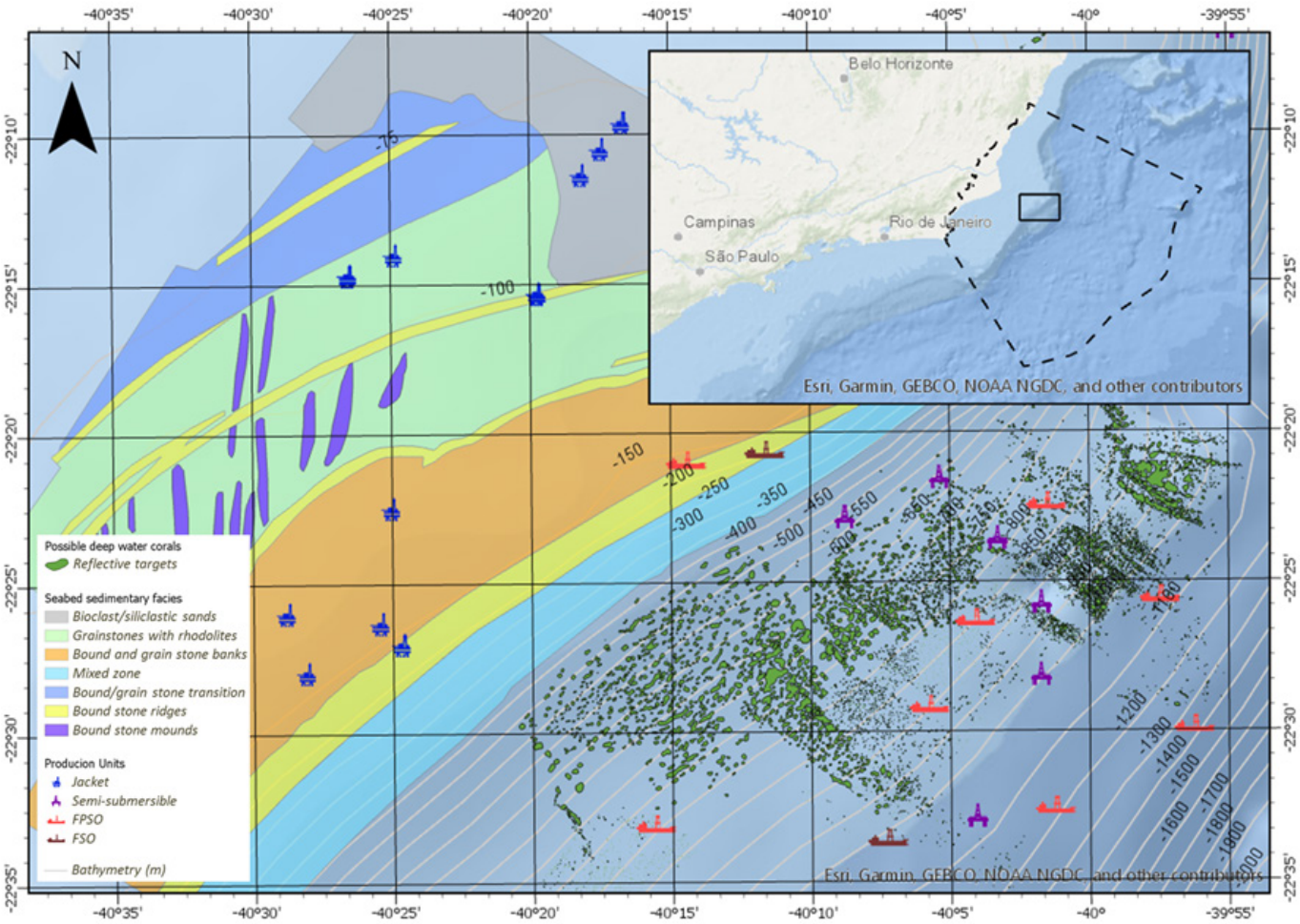


Figure 1. Map of the study area, indicating the boundaries of the Campos Basin (dashed line) (PETROBRAS, 2014).

and oil well blowout plume trajectories studies (Otero-Diaz *et al.*, 2014; Paiva *et al.*, 2017). The present study was applied to the northern Campos Basin region, due to the availability of hydrodynamic data at a depth close to the seabed, provided by the MAPEM project (Pivel *et al.*, 2009).

The results of the hydrodynamic model were obtained using downscaling techniques (Franz *et al.*, 2016). To achieve the desired resolution for the proposed study, four domains were aligned to model the hydrodynamics of the region, using the following global forcers: daily salinity values, temperature and water level values obtained from the Glorys2V4 model, available on global scale at the Copernicus project website (www.copernicus.eu); 3-hour weather data obtained from the NCEP model through the NOAA website (www.ncep.noaa.gov); and information on tidal harmonic components obtained from the FES2012 model (www.aviso.altimetry.fr). The bathymetry used for the hydrodynamic model were generated by GEBCO One Minute Grid, version 2.0 (www.gebco.net). The vertical resolution of the model was maintained exactly as adopted by the 75-layers Glorys2V4 model, being implemented with: seven sigma near-surface layers, which can model approximately 10 m of the shallowest water depth; and 68 cartesian layers, reaching a depth of 6,000 m. In the region of interest, at depths close to 1,000 m, each layer is responsible for modeling a water column segment with a thickness ranging from 80 to 100 m.

MOHID simulates particle transport in the water column using a Lagrangian approach (Leitão *et al.*, 2008). Particle velocities at any point in space are calculated by linear interpolation between grid points of the hydrodynamic model. Turbulent transport is responsible for the dispersion. Random motion is governed by the turbulence parameters of the hydrodynamic model. In the Lagrangian module, it is possible to implement the processes of fine sediment dynamics related to sedimentation velocity, deposition and erosion. In this case, the transport of the particles is governed by the three-dimensional advection-diffusion equation, in which the vertical advection takes into account the particle sedimentation rate. The sedimentation velocity was estimated using the Stokes equation, due to the sediment grain-size range, characterized by a non-cohesive behavior: sand with 0.17 mm of diameter, and velocity sedimentation of 2.5 cm s^{1}; and fine sand with 0.10 mm of diameter, and sedimentation velocity of 0.9

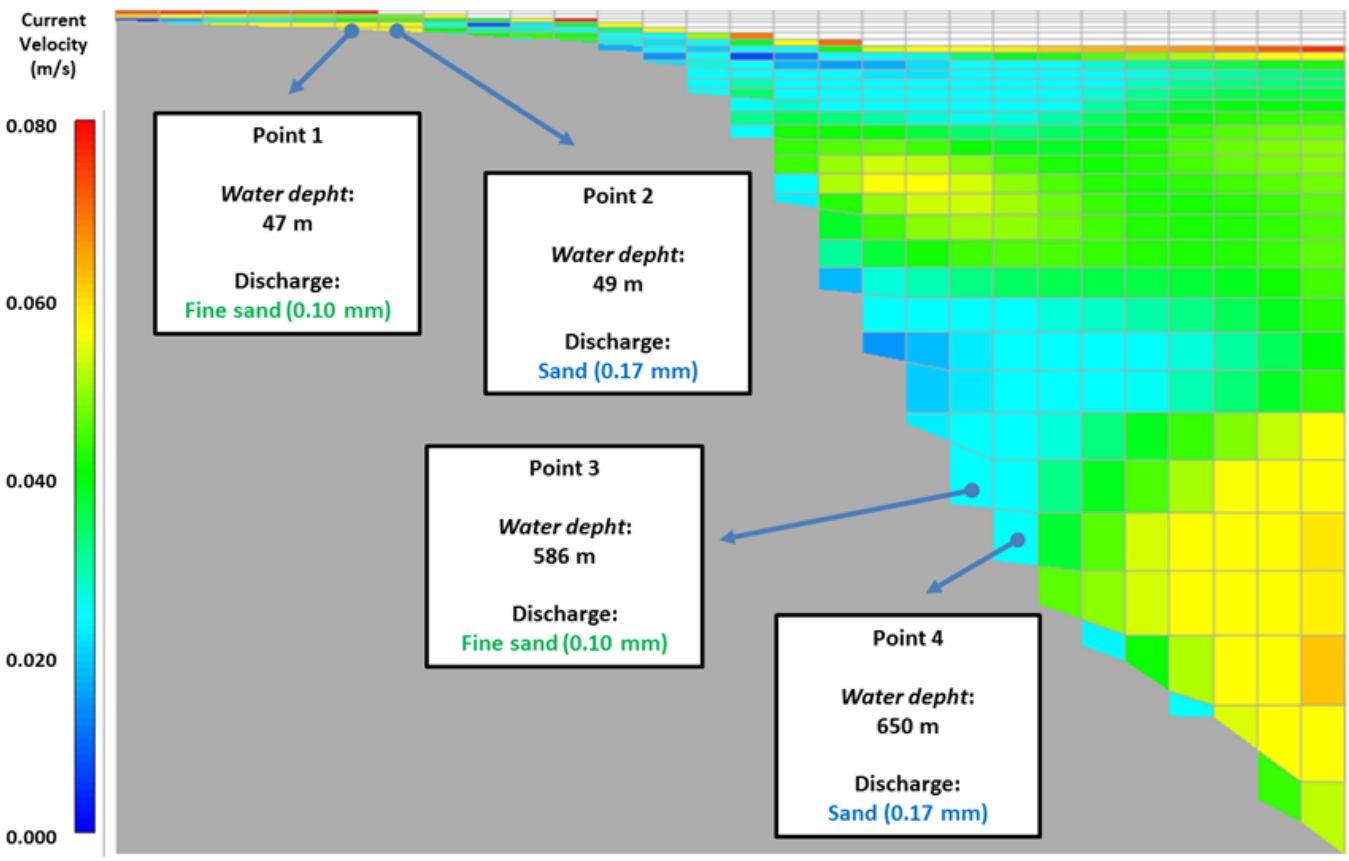


Figure 2. Representation of the vertical sections in the hydrodynamic model, with current velocities along the water column, and sediment discharge points.

cm s^{-1}. Particle diameter values were adopted based on the particle size range found in Campos Basin (Viana *et al.*, 1998).

For the Lagrangian module, the estimates of the resuspended material took into consideration parameters used in sediment resuspension modeling during subsea dredging operations (Di Michele *et al.*, 2017). The authors estimate that the dredging volume varies from 0.8 to 2.3 m³ per meter of buried pipeline, and that 12% of this volume is resuspended to the water column (John *et al.*, 2000 *apud* Di Michele *et al.*, 2017), *i.e.* the resuspension of sediment during operation is estimated between 0.10 to 0.28 m³ per meter of pipeline. Therefore, each sediment source (or discharge point) represents a 5 m stretch of an 8" diameter pipeline, which has the corresponding mass resuspended during its recovery operation represented by 300 particles. Considering the proposed value of 0.2 m³ of resuspended material for each pipeline meter, it was estimated the volume of 1.0 m³ of resuspended material for each discharge point. Therefore, each particle of the Lagrangian module represents a volume of 1/300 m³ of sediment.

The distance to the seabed adopted for the discharge points also took into account the results of Di Michele *et al.* (2017), where the dispersion plume reached heights of about 10 m. In the present work, we adopted a height of 15 m from the seabed for discharges positions, considering a possible sediment carry-over by the pipeline during the pipelines recovery operation. Figure 2 shows discharges from the continental shelf exposed to higher current velocities, close to 6.0 cm s^{-1}, compared to discharges on the continental slope with currents of 3.0 cm s^{-1}. In both cases, it is observed that the current velocities of the hydrodynamic model are compatible with low energy environments near the seabed, as described by de Castro Filho *et al.* (2015) on the continental shelf, and by de Almeida and Kowsmann (2015) on the continental slope.

3. RESULTS AND DISCUSSION

To evaluate the thickness of the sediment layers deposited on the seabed, a grid of 5 m x 5 m was used. Each particle represents 0.13 mm of burial, corresponding to the volume of 1/300 m³ of sediments, deposited on an area of 25 m² of the seabed. The number of deposited particles (black dots) was counted for each cell in the grid and represented by the color scale from white (null) to red (120 particles) (Figure 3).

Discharge origin	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
Continental shelf/slope	Continental shelf	Continental shelf	Continental slope	Continental slope
Sedimentology	Fine sand	Sand	Fine sand	Sand
Burial threshold	Rhodoliths (5.0 mm)	Rhodoliths (5.0 mm)	Deepwater Coral (6.3 mm)	Deepwater Coral (6.3 mm)
Highest count particles per cell:	9 particles/25 m² (1.2 mm burial depht)	74 particles/25 m² (9.9 mm burial depht)	52 particles/25 m² (6.9 mm burial depht)	117 particles/25 m² (15.6 mm burial depht)

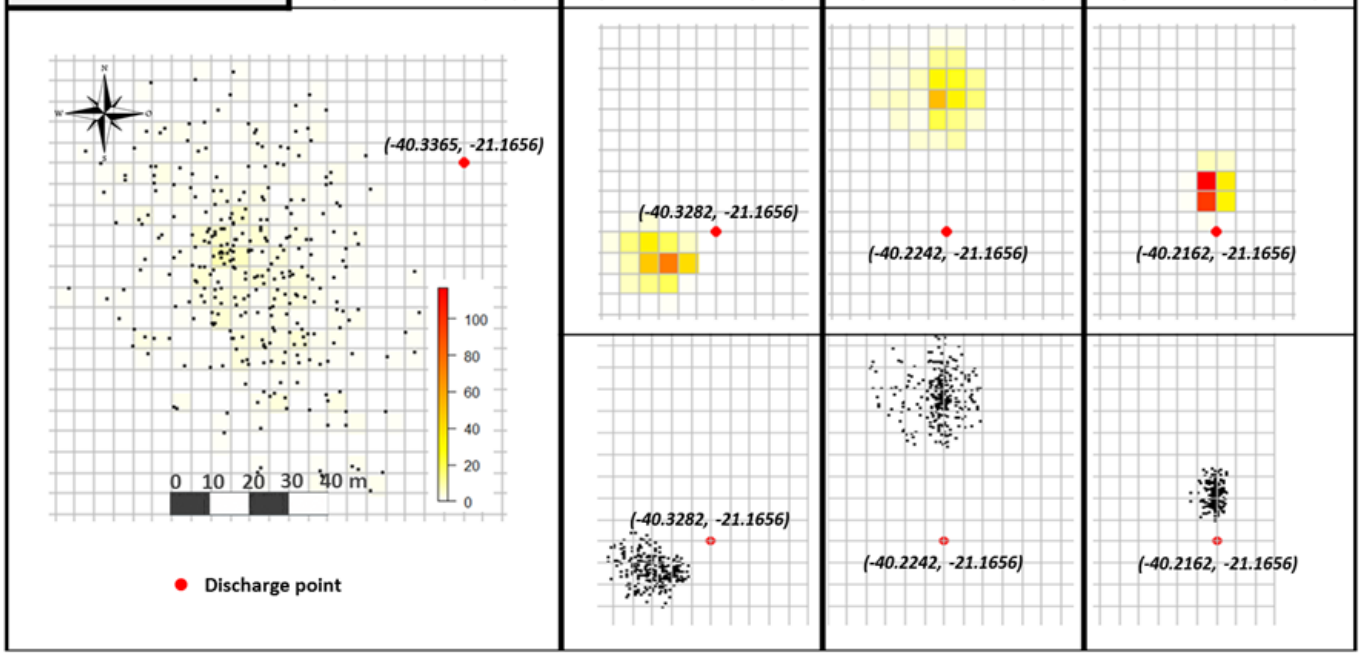


Figure 3. Particle dispersion and deposition results from the Lagrangian model. Discharges points with the respective geographical coordinates.

In general, it was possible to observe a larger dispersion of particles in the continental shelf when compared to continental slope, due to the strongest currents in shallow water. On the other hand, it was observed that there is also a tendency of greater dispersion for discharges of thinner sediments, which can be understood as a result of longer residence time in the water column, due to the lower rate of descent (Figure 3).

For continental shelf with the presence of rhodoliths, the resuspension of sand simulated a 1.2 mm (nine particles representing 0.13 mm each) layer deposition that was higher than the burial threshold for rhodoliths measured at 5.0 mm (Kjeilen-Eilertsen *et al.*, 2004) (Figure 3). The discharge of fine sand in the continental shelf presented the widespread dispersion of particles. For fine sand the simulated results were lower than the threshold values and do not imposed risk for rhodoliths. In the continental slope, the simulation of pipeline removing and particles resuspension indicated that for both grain-size simulations, results exceeded the burial threshold for such organisms indicating threatening of corals during the decommissioning activities (Figure 3).

Sediment burial may reduce the photosynthetic activity of these organisms (Figueiredo *et al.*, 2015; Harrington *et al.*, 2005; Wilson *et al.*, 2004) / PSIImax. According to Kjeilen-Eilertsen *et al.* (2004), the most conservative burial depth by drilling particulate matter is 5.0 mm, and when the thickness of the layer of settled particles exceeds this value, there is a risk of a negative effect. As noted by Baussant *et al.* (2018) peak concentrations: 2–50 mg/L, mean concentrations: 1–25 mg/L, this value corresponds approximately to the tolerance threshold reported for dredging particles in shallow-water corals (Browne *et al.*, 2015).

For continental shelf simulations, the results for both sand and fine sand indicated higher particle burial onto deep-water corals than the threshold values suggesting damage of such organisms. Several studies in laboratory have evaluated the resilience of the deep-water coral species such as *Lophelia pertusa* (Linnaeus, 1758) to high loads of sediment deposition and drill cuttings under different exposure scenarios including total burial (Allers *et al.*, 2013; Brooke *et al.*, 2009; Larsson *et al.*, 2013; Larsson and Purser, 2011). These results confirmed that a threshold level of 6.3 mm may result in damage to *L. pertusa* (Larsson *et al.*, 2013).

4. CONCLUSIONS

According to the proposed scenarios, simulation of sediments resuspension by removal of subsea pipelines and consequent layer deposition exceeded the burial thresholds for rhodoliths from the sandy continental shelf and for deep-water coral from the continental slope of the Campos Basin. Only for the continental shelf with fine sand seabed, the simulation didn't represent a burial risk for considered benthic organisms. The preliminary results suggest that removal of subsea structures may burial benthic organisms with potential damage to rhodoliths and deep-water corals. However, more studies have accuracy estimates of sediment resuspension and layer deposition onto benthic organisms to support regulatory decision making for decommissioning.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the financial support provided by CNPq, *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* and the technical support from the team of the MARETEC Center (IST-Lisbon) and from PETROBRAS S.A.

REFERENCES

Allers, E.; Abed, R. M. M.; Wehrmann, L. M.; Wang, T.; Larsson, A. I.; Purser, A.; de Beer, D. (2013). Resistance of Lophelia pertusa to coverage by sediment and petroleum drill cuttings. *Marine Pollution Bulletin*, *74*(1), 132–140. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.07.016

Almada, G. V. de M. B.; Bernardino, A. F. (2017). Conservation of deep-sea ecosystems within offshore oil fields on the Brazilian margin, SW Atlantic. *Biological Conservation*, *206*, 92–101. DOI: 10.1016/j.biocon.2016.12.026

Amado-Filho, G. M.; Moura, R. L.; Bastos, A. C.; Salgado, L. T.; Sumida, P. Y.; Guth, A. Z.; Francini-Filho, R. B.; Pereira-Filho, G. H.; Abrantes, D. P.; Brasileiro, P. S.; Bahia, R. G.; Leal, R. N.; Kaufman, L.; Kleypas, J. A.; Farina, M.; Thompson, F. L. (2012). Rhodolith Beds Are Major CaCO3 Bio-Factories in the Tropical South West Atlantic. *PLoS ONE*, *7*(4), e35171. DOI: 10.1371/journal.pone.0035171

Baussant, T.; Nilsen, M.; Ravagnan, E.; Westerlund, S.; Ramanand, S. (2018). Effects of suspended drill cuttings on the coral *Lophelia pertusa* using pulsed and continuous exposure scenarios. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, *81*(10), 361–382. DOI: 10.1080/15287394.2018.1444375

Bond, T.; Prince, J.; Partridge, J. C.; White, D.; McLean, D. L. (2018). The Value of Subsea Pipelines to Marine Biodiversity. *Offshore Technology Conference Asia*. Offshore Technology Conference Asia, Kuala Lumpur, Malaysia. DOI: 10.4043/28240-MS

Brooke, S.; Holmes, M.; Young, C. (2009). Sediment tolerance of two different morphotypes of the deep-sea coral Lophelia pertusa from the Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, *390*, 137–144. DOI: 10.3354/meps08191

Browne, N. K.; Tay, J.; Todd, P. A. (2015). Recreating pulsed turbidity events to determine coral–sediment thresholds for active management. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *466*, 98–109. DOI: 10.1016/j.jembe.2015.02.010

Burdon, D.; Barnard, S.; Boyes, S. J.; Elliott, M. (2018). Oil and gas infrastructure decommissioning in marine protected areas: System complexity, analysis and challenges. *Marine Pollution Bulletin*, *135*, 739–758. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.07.077

Cavalcanti, G. H.; Arantes, R. C. M.; Falcão, A. P. C.; Curbelo-Fernandez, M. P.; Silveira, M. A. S.; Politano, A. T.; Viana, A. R.; Hercos, C. M.; Brasil, A. C. S. (2017). Ecossistemas de corais de águas profundas da Bacia de Campos. In *Comunidades Demersais e Bioconstrutores: Caracterização ambiental regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste* (Vol. 4, pp. 43–85). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-85-352-7295-6.50003-8

Curbelo-Fernandez, M. P.; Della Giustina, I. D.; Loiola, L. de L.; Arantes, R. C. M.; de Moura, R. B.; Barboza, C. A. de M.; Nunes, F. S.; Tâmega, F. T. de S.; Henriques, M. C. M. de O.; Figueiredo, M. A. de O.; Falcão, A. P. da C.; Rosso, S. (2017). Biota de fundos carbonáticos da plataforma continental da Bacia de Campos: Algas calcárias e fauna associada. In *Comunidades Demersais e Bioconstrutores* (Vol. 4, pp. 15–42). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-85-352-7295-6.50002-6

de Almeida, A. G.; Kowsmann, R. O. (2015). Geomorfologia do talude continental e do Platô de São Paulo. In *Geologia e Geomorfologia* (pp. 33–66). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-85-352-6937-6.50010-0

de Castro Filho, B. M.; Pereira, A. F.; de Caroli, A.; Neto, H. F.; Paschoal, G. C. A.; da Silveira, I. C. A.; Amor, C. C. (2015). Correntes e massas de água na plataforma continental. In *Meteorologia e Oceanografia* (pp. 191–254). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-85-352-6208-7.50012-X

de Castro, R. D.; Picolini, J. P. (2015). Principais Aspectos da Geologia Regional da Bacia de Campos. In *Geologia e Geomorfologia* (pp. 1–12). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-85-352-6937-6.50008-2

de Rezende, C. E.; de Almeida, M. G.; Araújo, B. F.; Gobo, A. A. R.; Maciel, C. P.; Gobo, R. R.; de Sá Azevedo, W. C.; de Oliveira Godoy, J. M.; de Almeida, A. C. (2017). A composição física e elementar dos sedimentos marinhos entre a região costeira e o oceano profundo na Bacia de Campos. In *Quimica Ambiental* (pp. 229–276). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-85-352-7563-6.50016-8

Di Michele, C.; Di Nardo, P.; Guarnieri, A.; Letizia, P.; Pedroncini, A.; Crosta, A. (2017). Numerical Simulation of Sediment Dispersion During Posttrenching of Sealines. *Offshore Mediterranean Conference and Exhibition*. Avaiable on-line at https://www.onepetro.org/conference-paper/OMC-2017-803

Figueiredo, M. A. O.; Coutinho, R.; Villas-Boas, A. B.; Tâmega, F. T. S.; Mariath, R. (2012). Deep-water rhodolith productivity and growth in the southwestern Atlantic. *Journal of Applied Phycology*, *24*(3), 487–493. DOI: 10.1007/s10811-012-9802-8

Figueiredo, M. A. O.; Eide, I.; Reynier, M.; Villas-Bôas, A. B.; Tâmega, F. T. S.; Ferreira, C. G.; Nilssen, I.; Coutinho, R.; Johnsen, S. (2015). The effect of sediment mimicking drill cuttings on deep water rhodoliths in a flow-through system: Experimental work and modeling. *Marine Pollution Bulletin*, *95*(1), 81–88. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2015.04.040

Fowler, A. M.; Macreadie, P. I.; Jones, D. O. B.; Booth, D. J. (2014). A multi-criteria decision approach to decommissioning of offshore oil and gas infrastructure. *Ocean Coastal Management*, *87*, 20–29. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2013.10.019

Fowler, A. M., Jørgensen, A. M.; Svendsen, J. C.; Macreadie, P. I.; Jones, D. O.; Boon, A. R.; Booth, D. J.; Brabant, R.; Callahan, E.; Claisse, J. T.; Dahlgren, T. G.; Degraer, S.; Dokken, Q. R.; Gill, A. B.; Johns, D. G.; Leewis, R. J.; Lindeboom, H. J.; Linden, O.; May, R.; … Coolen, J. W. (2018). Environmental benefits of leaving offshore infrastructure in the ocean. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *16*(10), 571–578. DOI: 10.1002/fee.1827

Franz, G. A. S.; Leitão, P.; Santos, A. dos, Juliano, M.; Neves, R. (2016). From regional to local scale modelling on the south-eastern Brazilian shelf: Case study of Paranaguá estuarine system. *Brazilian Journal of Oceanography*, *64*(3), 277–294. DOI: 10.1590/S1679-875920161195806403

Harrington, L.; Fabricius, K.; Eaglesham, G.; Negri, A. (2005). Synergistic effects of diuron and sedimentation on photosynthesis and survival of crustose coralline algae. *Marine Pollution Bulletin*, *51*(1–4), 415–427. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.10.042

Henriques, M. C.; Riosmena-Rodríguez, R.; Coutinho, L. M.; Figueiredo, M. A. O. (2014). Lithophylloideae and Mastophoroideae (Corallinales, Rhodophyta) from the Brazilian continental shelf. *Phytotaxa*, *190*(1), 112. DOI: 10.11646/phytotaxa.190.1.9

John, S. A.; Challinor, S. L.; Simpson, M.; Burt, T. N.; Spearman, J. (2000). *Scoping the assessment of sediment plumes from dredging*. CIRIA.

Juliano, M. M. F.; Neves, R.; Rodrigues, P. P. G. W.; Lugon Junior, J.; Fernandes, R. (2012). Use of the MOHID Platform for computational simulation of oil ocean drift in the Campos basin—RJ. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, *6*(1), 161–172. DOI: 10.5935/2177-4560.20120010

Kjeilen-Eilertsen, G.; Trannum, H.; Jac, R.; Smit, M.; Neff, J.; Durell, G. (2004). *Literature report on burial: Derivation of PNEC as componente in the MEMW model tool. Environmental Risk Management System Report (AM 2004/024)*. https://www.sintef.no/globalassets/project/erms/reports/erms-report-no-9b_burial_rf-am.pdf

Larsson, A. I.; Purser, A. (2011). Sedimentation on the cold-water coral Lophelia pertusa: Cleaning efficiency from natural sediments and drill cuttings. *Marine Pollution Bulletin*, *62*(6), 1159–1168. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.03.041

Larsson, A. I.; van Oevelen, D.; Purser, A.; Thomsen, L. (2013). Tolerance to long-term exposure of suspended benthic sediments and drill cuttings in the cold-water coral Lophelia pertusa. *Marine Pollution Bulletin*, *70*(1–2), 176–188. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.02.033

Leitão, P.; Mateus, M.; Braunschweig, F.; Fernandes, L.; Neves, R. (2008). Modelling coastal systems: The MOHID water numerical lab. In *Perspectives on integrated coastal zone management in South America* (pp. 77–88). IST Press. DOI: 10.13140/2.1.1482.4008

Mimmi, F.; Ralston, S.; Silva, M. M.; Silva, P. M. (2017). Baseline for Planning and Cost Estimation of Brazilian Decommissioning. *Offshore Technology Conference*. Houston, Texas, USA. DOI: 10.4043/27672-MS

Navas, J. M.; Miller, P. L.; Henry, L.-A.; Hennige, S. J.; Roberts, J. M. (2014). Ecohydrodynamics of Cold-Water Coral Reefs: A Case Study of the Mingulay Reef Complex (Western Scotland). *PLoS ONE*, *9*(5), e98218. DOI: 10.1371/journal.pone.0098218

Nicolosi, E. R.; Abreu, B. B.; Gomes, E. H. Z.; Dutra, E. S. S. (2018). Descomissionamento de Sistemas de Produção Offshore de Óleo e Gás: Cenário Atual e Perspectivas Futuras. *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2018*. Rio de Janeiro, Brazil.

Otero-Diaz, L.; Pierini, J. O.; Chambel-Leitao, P.; Malhadas, M.; Ribeiro, J.; Chambel-Leitao, J.; Restrepo, J. (2014). Three-dimensional oil spill transport and dispersion at sea by an event of blowout. *DYNA*, *81*(186), 42. DOI: 10.15446/dyna.v81n186.37951

Paiva, P. M.; Lugon Junior, J.; Barreto, A. N.; Silva, J. A. F.; Silva Neto, A. J. (2017). Comparing 3d and 2d computational modeling of an oil well blowout using MOHID platform—A case study in the Campos Basin. *Science of The Total Environment*, *595*, 633–641. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.007

PETROBRAS (2014). *Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Campos (PCR-BC/Habitats)*: *Final Report and Georeferenced Data*. http://licenciamento.ibama.gov.br/Petroleo/Temas%20Especiais/PCR-BC/

Pivel, M. A. G.; Freitas, C. M. D. S.; Comba, J. L. D. (2009). Modeling the discharge of cuttings and drilling fluids in a deep-water environment. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, *56*(1–2), 12–21. DOI: 10.1016/j.dsr2.2008.08.015

Ramirez-Llodra, E.; Tyler, P. A.; Baker, M. C.; Bergstad, O. A.; Clark, M. R.; Escobar, E.; Levin, L. A.; Menot, L.; Rowden, A. A.; Smith, C. R.; Van Dover, C. L. (2011). Man and the Last Great Wilderness: Human Impact on the Deep Sea. *PLoS ONE*, *6*(8), e22588. DOI: 10.1371/journal.pone.0022588

Rouse, S.; Hayes, P.; Davies, I. M.; Wilding, T. A. (2018). Offshore pipeline decommissioning: Scale and context. *Marine Pollution Bulletin*, *129*(1), 241–244. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.02.041

Rouse, S.; Lacey, N. C.; Hayes, P.; Wilding, T. A. (2019). Benthic Conservation Features and Species Associated With Subsea Pipelines: Considerations for Decommissioning. *Frontiers in Marine Science*, *6*, 200. DOI: 10.3389/fmars.2019.00200

Sommer, B.; Fowler, A. M.; Macreadie, P. I.; Palandro, D. A.; Aziz, A. C.; Booth, D. J. (2019). Decommissioning of offshore oil and gas structures – Environmental opportunities and challenges. *Science of The Total Environment*, *658*, 973–981. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.193

Viana, A. R.; Faugères, J. C.; Kowsmann, R. O.; Lima, J. A. M.; Caddah, L. F. G.; Rizzo, J. G. (1998). Hydrology, morphology and sedimentology of the Campos continental margin, offshore Brazil. *Sedimentary Geology*, *115*(1–4), 133–157. DOI: 10.1016/S0037-0738(97)00090-0

Wilson, S.; Blake, C.; Berges, J. A.; Maggs, C. A. (2004). Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): Implications for European marine conservation. *Biological Conservation*, *120*(2), 279–289. DOI: 10.1016/j.biocon.2004.03.001

Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada 20(3):169-178 (2020)
http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n284_Nascimento.pdf | DOI:10.5894/rgci-n284

Revista de Gestão Costeira Integrada
Journal of Integrated Coastal Zone Management

Qualidade da água de três estuários tropicais expostos a diferentes níveis de urbanização

Regina Célia Macêdo do Nascimento[@ 1], Cibele Rodrigues Costa[1, 2], Mateus G. Magarotto[1, 3], Jacqueline Santos Silva-Cavalcanti[4], Monica Ferreira Costa[1, 5]

[@] Corresponding author: nascimento.regina@live.com
[1] Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia, Laboratório de Ecologia e Gerenciamento de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos
[2] Email: cibele.crc@gmail.com
[3] Email: mateusmagarotto@gmail.com
[4] Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia. Email: jacque_ss@hotmail.com
[5] Email: mfc@ufpe.br

RESUMO: Os estuários são ambientes de alta produtividade biológica que fornecem diversos serviços ecossistêmicos, como por exemplo, alimento e abrigo. Sua qualidade de água é fundamental para a manutenção o mais próximo do possível dos padrões ecológicos originais que garantem esses serviços. Dessa forma, este estudo objetivou comparar a qualidade da água de três estuários tropicais com diferentes histórias de ocupação e graus de urbanização. Os estuários dos Rios Goiana, Capibaribe e Jaboatão estão localizados no Estado de Pernambuco, Brasil. Foram analisadas as variáveis: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, cor, salinidade e fósforo total. Os dados foram obtidos pela Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco (CPRH) entre os anos de 2006 a 2009, como parte de seu programa de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas. Os três estuários, independentemente de seu status de conservação, apresentaram sua qualidade da água comprometida por níveis acima do recomendado de fósforo total (0,18 mg L^{-1} de acordo com a legislação nacional) e baixas concentrações de oxigênio dissolvido (entre 0,0 e 6,7 mg L^{-1}, neste trabalho), muitas vezes (~38% das amostras) inferior a 2 mg L^{-1},caracterizando eventos de hipóxia – possivelmente ajudados pelas altas temperaturas da água (24,5 a 30,0ºC). Esses resultados refletem a falta de saneamento básico nas três bacias, independente de seus graus de urbanização. Essa situação soma-se a outros impactos advindos da cultura secular de cana-de-açúcar, como o desmatamento, escoamento de fertilizantes, lixiviação do solo e outras cargas poluidoras.

Palavras-chave: Bacias hidrográficas, Monitoramento da qualidade da água, Conservação aquática.

ABSTRACT: Estuaries are environments of high biological productivity that provide diverse ecosystem services, such as food or shelter. Its water quality is fundamental for the development and maintenance as close as possible to the original ecological standards that guarantee these services. Thus, this study aimed to compare the water quality of three tropical estuaries with different occupation histories and degrees of urbanization. The Goiana, Capibaribe and Jaboatão estuaries are located in Pernambuco State, Brazil. The variables analysed were: water temperature, pH,

** Submission: 28 AGO 2019; Peer review: 18 APR 2020; Revised: 4 MAY 2020; Accepted: 4 MAY 2020; Available on-line:26 AGO 2020.*

dissolved oxygen, oxygen saturation, biochemical oxygen demand, turbidity, colour, salinity and total phosphorus. All data were obtained from the Pernambuco State Environmental Agency (CPRH) from 2006 to 2009, as part of its water quality monitoring program. The three estuaries, regardless of their conservation status, are under poor water quality conditions, with high levels of total phosphorus (0.18 mg L^{-1} Brazilian guidelines) and low dissolved oxygen concentrations (entre 0.0 and 6.7 mg L^{-1}, present work). Even with seasonal changes and over the years, oxygen levels are often less than 2.0 mg L^{-1} characterizing hypoxia - possibly helped by high water temperatures (24.5 to 30.0ºC). As a general scenario, even with different urban contribution, the three estuaries need attention regarding water quality. Results reflect the lack of basic sanitation in the three basins, regardless of their degree of urbanization. This situation adds to other impacts from the centuries old sugarcane plantations and milling, such as deforestation, fertilizer runoff, soil leaching and other polluting loads.

Keywords: River basins, Water quality monitoring, Aquatic conservation.

1. INTRODUÇÃO

Estuários são ambientes costeiros, semiconfinados, localizados na zona de transição entre o continente e o mar, assim, recebem influência direta dos rios e das águas costeiras adjacentes que adentram o canal com as variações das marés (Kennish, 1991; Hallett *et al.*, 2016). Esses ambientes apresentam uma combinação única de características ambientais, como a alta produtividade biológica, resultante do grande aporte de nutrientes inorgânicos e matéria orgânica autóctone e alóctone provenientes da bacia de drenagem, o que lhes confere grande relevância ecológica em todo o mundo (Harrison e Whitfield, 2006; Telesh e Khlebovich, 2010). Nas regiões costeiras ocupadas, os estuários também desempenham importante papel social (ex. estabelecimento de cidades, pesca artesanal, abastecimento de água) e econômico (ex. pesca, portos, aquacultura, diluição de efluentes).

Devido ao oferecimento de oportunidades de abrigo, alimentação e espaço para o desenvolvimento de espécies biológicas, os estuários de grande valor para as populações humanas face aos recursos naturais que abrigam e serviços ecossistêmicos que prestam (abastecimento de água, diluição de efluentes, recursos pesqueiros etc.) (Barletta e Costa, 2009; Mohebbi *et al.*, 2013). Assim, a proximidade de diversas atividades humanas, o crescimento populacional e urbano tem gerado grandes perturbações nos estuários, tanto nas margens quanto alterando a qualidade da água. Esses conflitos entre os assentamentos humanos e o meio ambiente costeiro, sobretudo estuarino, na maioria das vezes, é histórico e não ocorre rapidamente. No entanto, atualmente, nota-se que problemáticas entre o homem e o ambiente tem se agravado pela ausência de gestão urbana e ambiental adequadas, resultando em degradação ambiental e dificuldade de convivência harmoniosa entre e os estuários e as cidades que os cercam (Tagliani, 2018; Barletta *et al.*, 2019).

A alteração dos padrões sazonais de qualidade da água é especialmente destacada, pois modifica significativamente o ambiente aquático, dando origem a situações extremas (ex. anóxia), que podem ocasionar perda de biodiversidade aquática, alterações no ambiente físico-químico, interferência e mau funcionamento ou até mesmo interrupção de serviços ecossistêmicos (Kennish, 1991; Karydis e Kitsiou, 2013).

Dados públicos de monitoramentos da qualidade da água em praias e bacias hidrográficas estão amplamente disponíveis em diversas partes do mundo. No Brasil isso não é diferente, sendo sua produção um compromisso socioambiental de entes federativos, em sua maioria de responsabilidade das Agências Estaduais de Meio Ambiente. Infelizmente, esses dados se encontram subutilizados, mesmo possuindo grande potencial na geração de informações que possam subsidiar decisões políticas e administrativas em prol da sociedade e do meio ambiente.

No estado de Pernambuco, apesar de existirem programas de monitoramento robustos de bacias hidrográficas e praias dentro de uma mesma agência, por motivos históricos e gerenciais esses se encontram desconectados. Os estuários, ambiente transicional e altamente impactados por atividades humanas, são os menos eficientemente atendidos por esses programas.

O monitoramento da qualidade da água permite avaliar o ambiente aquático, seu funcionamento enquanto mantenedor da vida e logo sua capacidade de continuar prestando serviços à flora, fauna e sociedade. A análise dos resultados de monitoramentos da qualidade da água de bacias é essencial para subsidiar a gestão hídrica, incluindo a conservação aquática (Kitsiou e Karydis, 2011; Karydis e Kitsiou, 2013). Os programas de monitoramento da qualidade da água podem ser mais ou menos complexos, variando suas escolhas de variáveis, frequência (variações temporais) e densidade espacial de informações recolhidas/tratadas/interpretadas de

acordo com seu objetivo e desenho amostral. No entanto, algumas variáveis são quase sempre presentes tais como, temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, NH_3, P e coliformes fecais (Nascimento *et al.*, 2018).

O presente estudo tem como objetivo comparar qualidade da água de três estuários tropicais com diferentes graus de urbanização no Estado de Pernambuco (Brasil) entre os anos de 2006 a 2009. Esses estuários representam a diversidade de corpos d'água do estado de Pernambuco e suas diferentes histórias de ocupação humana. O período de tempo de quatro anos foi analisado por outros trabalhos realizados nesses estuários (ex. Costa *et al.*, 2017), mas de forma independente, com foco no estuário do Rio Goiana, como também a investigação de períodos mínimos necessários para se detectar mudanças significativas na qualidade da água (Costa *et al.*, 2018; Barletta *et al.*, 2019). Este período se torna relevante também por possuir um conjunto de dados pré-existente que permite testar abordagens já empregadas em trabalhos anteriores. Essa testagem proporciona a expansão da utilização da metodologia de avaliação da qualidade da água.

Esta é uma iniciativa preliminar de comparação entre diferentes cenários em uma mesma região.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

Todas as três bacias hidrográficas escolhidas para esse estudo são alvo de um programa de monitoramento da qualidade de águas por parte da Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco (CPRH). No entanto, esse programa só contempla monitoramento até o alto-médio estuário de cada rio, deixando seu curso inferior e sua contribuição para as águas costeiras adjacentes sem cobertura amostral. Desta forma, não se afere a qualidade das águas que adentram as áreas costeiras adjacentes, ou aquilo que é efetivamente exportado para o mar a partir dessas bacias de diferentes e diversificados padrões de ocupação, uso do solo e gestão socioambiental em nível de bacia ou municipal. Sabe-se, no entanto que devido ao volume de água nas três bacias ser bastante mais importante no seu trecho final, que é o uso do solo do entorno do alto-médio estuários que determina a qualidade da água exportada.

O estuário do Rio Goiana (7°30'S – 34°47'W) resulta da junção de dois rios menores (Capibaribe Mirim e Tracunhaém) que cruzam esse município. Dos três estuários selecionados para este estudo, o do Rio Goiana é o que possui menor grau de urbanização. O estuário do Rio Goiana está situado na fronteira entre os estados de Paraíba e Pernambuco (figura 1). Apresenta urbanização principalmente em sua cabeceira, e margens ocupadas por agricultura de cana-de-açúcar, florestas de manguezal, policulturas e pecuária (Costa *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2018; CPRH, 2018). As águas desta bacia hidrográfica (465.549 hab. em 2.878,30 km^2) também são destinadas a abastecimento, irrigação e recepção de efluentes (domésticos, industriais, agroindustriais e agropecuários) (Costa *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2018; CPRH, 2018). Esse estuário integra uma Unidade de Conservação Federal do tipo Reserva Extrativista, a RESEX Acaú-Goiana.

O sistema estuarino do Rio Jaboatão (8°14'S - 34°55'W), pode ser considerado aqui como tendo uma urbanização intermediária, está em uma bacia circunscrita à Zona da Mata Pernambucana (1.347.05 hab. em 1.022,01 km^2), e deságua no município de Jaboatão dos Guararapes (figura 1), caracterizando assim, uma área costeira urbana (Barcellos *et al.*, 2016). Com a presença humana em suas margens, o rio está vulnerável a contaminações tais como de atividades agrícolas, domésticas e industriais (Köchling *et al.*, 2017). Esse estuário também resulta da junção de dois rios (Jaboatão e Pirapama) que se encontram já próximo à foz, fazendo uma contribuição conjunta para o mar. O estuário do Rio Jaboatão é considerado uma Zona de Proteção Ecológica e Zona Agrícola Florestal pelo Governo do Estado de Pernambuco.

O estuário do Rio Capibaribe, o de maior grau de urbanização (8°4'S – 34° 53'W) considerado neste trabalho, corta Recife, a capital do estado de Pernambuco (figura 1). O Capibaribe é um dos principais rios de Pernambuco (1.328.361 hab. em 7.557,41km^2) e do Recife, o qual, desde o início da urbanização há 5 séculos, desenvolveu uma estreita relação sociocultural com a população da cidade (Bezerra *et al.*, 2018). Devido ao desenvolvimento desordenado em suas margens, verificam-se muitos impactos ambientais nesse rio como a supressão de manguezais, disposição de esgoto doméstico e aporte urbano e assoreamento do corpo d'água (Xavier *et al.*, 2016; Bezerra *et al.*, 2018). Na sua foz, no porto do Recife, encontra-se com o estuário do Rio Beberibe e outros pequenos rios (Pina, Jordão e Jiquiá-Tejipió), e juntos deságuam no Oceano Atlântico. O estuário do rio Capibaribe é considerado uma Zona Especial de Proteção ambiental pela Prefeitura da Cidade do Recife.

2.2 Aquisição e tratamento de dados

Dados mensais de pluviometria (total mensal - mm) foram obtidos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) das estações mais próximas ao ponto de coleta considerado para cada bacia (tabela 1).

Foram utilizados dados de qualidade de água gerados pela Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco (CPRH) dos anos de 2006-2009. Os dados foram recolhidos a partir dos relatórios anuais consolidados disponibilizados online no site da agência, se tratando então de dados secundários que ainda não foram explorados e interpretados em conjunto. Cada bacia possui um número diferente de pontos totais monitorados e começou a ser monitorada em uma época diferente. Para este trabalho escolheu-se aqueles pontos mais representativos do alto estuário (Costa *et al.*, 2017; 2018; Barletta *et al.*, 2020) de cada uma das três bacias (tabela 1), para se avaliar a qualidade da água que adentra os estuários da RMR e, finalmente, chega ao mar. Esses pontos são os mais a jusante da foz monitorados pela agência como representantes das bacias hidrográficas acompanhadas pelo programa de monitoramento da instituição.

As variáveis consideradas para a análise foram: temperatura da água (ºC), pH, oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), saturação de oxigênio (%), demanda bioquímica de oxigênio (mg L^{-1}), turbidez (UNT), cor (Pt/Co), salinidade e fósforo total (particulado + dissolvido) (mg L^{-1}). Todas as medições e análises químicas seguiram procedimentos padronizados e aceitos internacionalmente descritos em APHA (2005). Para efeito de referenciamento, os níveis de Oxigênio Dissolvido, Turbidez, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Cor encontrados foram comparados aos valores pré-estabelecidos para águas doces e salobras de classe II da normativa nacional vigente da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n° 357/05; e índices de Oxigênio Dissolvido, pH e Cor com os limites na legislação Norte Americana da Environmental Protection Agency - EPA (EPA, 2015).

Figura 1. Localização dos estuários dos rios Goiana (7°30'S – 34°47'W), Capibaribe (8°4'S – 34° 53'W) e Jaboatão (8°14'S - 34°55'W) na RMR com sinalização dos pontos de coleta da CPRH utilizados neste estudo (GO-67; GO-80; GO-85; CB-80; JB-75).

Tabela 1. Pontos de coleta do programa de monitoramento da qualidade da água da Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco (CPRH) e códigos das estações pluviométricas da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) considerados neste estudo.

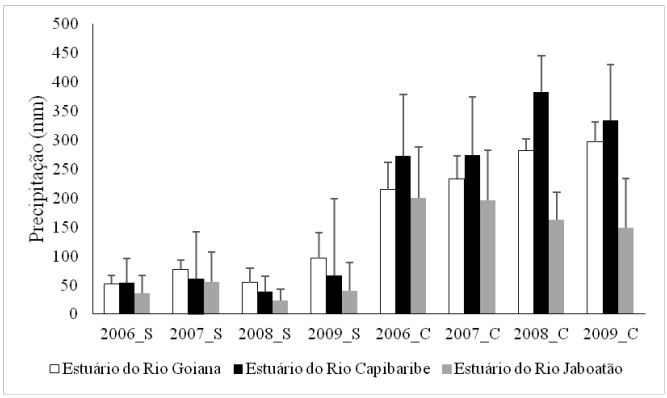
Estuário estudado	APAC (precipitação mm)	CPRH* (amostragens da água superficial)	*Distância (km) até a foz
Rio Goiana	28 Goiana (Itapirema - IPA)	GO-67; GO-80; GO-85	20
Rio Capibaribe	30 Recife (Várzea)	CB-80	16
Rio Jaboatão	268 Jaboatão dos Guararapes (Barragem Duas Unas)	JB-75	10

Essas nove variáveis são apenas algumas das que são medidas no programa de monitoramento, e foram escolhidas por serem as mais importantes na caracterização do estado da qualidade da água (Nascimento *et al.*, 2018), comporem diversos índices (CETESB, 2019; www.cetesb.sp.gov.br) e apresentam maiores números e densidade de dados no período considerado.

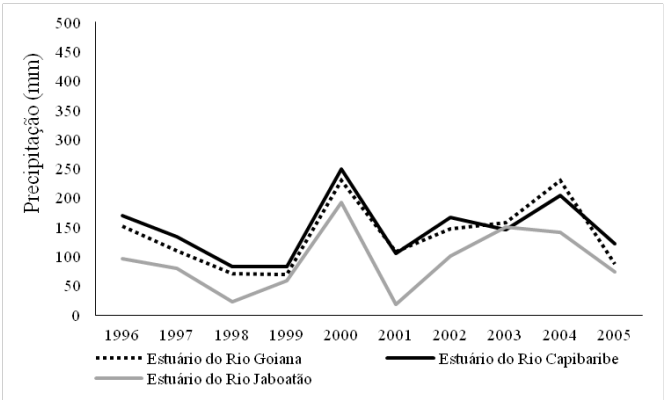
O programa de monitoramento da CPRH prevê amostragens das águas superficiais a cada dois meses, sendo assim possível obter-se até três amostragens no período seco (S) e três no chuvoso (C). O número de dados disponíveis para cada ponto em cada ano dependeu do cumprimento do desenho amostral pela agência. Para este trabalho, os dados existentes foram compilados e divididos em estações, seca (setembro a fevereiro) e chuvosa (março a agosto), de acordo com o mês de coleta (Barletta e Costa, 2009). Por fim, foram homogeneizados em médias (1<N<3), onde foi possível observar o comportamento e as variações das variáveis ao longo do tempo analisado.

3. RESULTADOS

Os resultados são apresentados a seguir na forma de estatística descritiva das variáveis ambientais consideradas neste trabalho. São destacados valores mínimo e máximo de cada variável em cada estuário. Esses valores podem ter ocorrido em estação (seca ou chuvosa) e ano (2006 a 2009) diferentes. A precipitação total média sazonal (6 meses) (figura 2A) variou no estuário do Rio Goiana de 52,4±14,3 mm em 2006 a 296,6±35,3 mm em 2009; no Capibaribe de 39,3±25,5 mm em 2008 a 383,6±61,5 mm do mesmo ano; no Jaboatão de 24,2±19,2 mm em 2008 a 200,7±87,1 mm no ano de 2006. Todos os menores registros de precipitação foram encontrados na estação seca e, consequentemente, os maiores valores na estação chuvosa. Cada estação foi semelhante ao longo dos quatro anos. No entanto, o padrão de diferença marcante entre as estações seca e chuvosa é utilizado como base da interpretação dos outros parâmetros a seguir.



a)



b)

Figura 2. Médias (±desvpad; N=6) da precipitação (mm) (A) considerando os seis meses em cada estação seca (S) e chuvosa (C) de cada ano estudado em cada bacia; (B) considerando a média histórica de 1996 a 2005.

A temperatura da água (figura 3) variou no estuário do Goiana de 24,5±2,1°C em 2009 a 30,0±0,0°C em 2006 e 2009; no Capibaribe de 26,5±0,7°C em 2008 a 30,0±1,0°C em 2006 e 2007; no Jaboatão de 24,0±0,0°C em 2009 a 29,0±1,2°C do mesmo ano. Os menores valores foram encontrados nas estações chuvosas e, consequentemente, os maiores valores nas estações secas, seguindo como um padrão para os três estuários estudados. Ao aferir tal parâmetro, podemos verificar sua influência direta em fenômenos químicos e biológicos existentes no estuário.

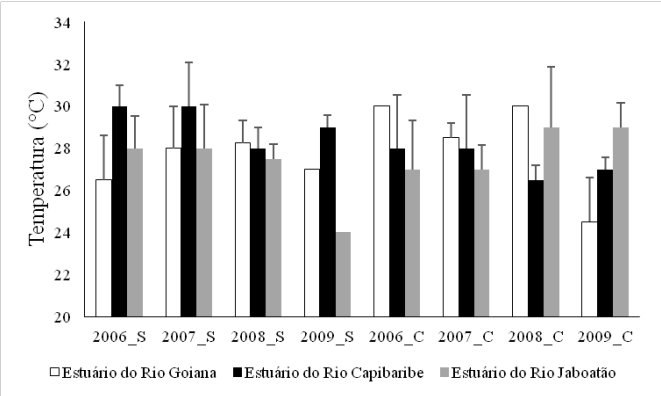


Figura 3. Médias (±desvpad; 1<N<3) sazonais da Temperatura da água (oC) por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

A salinidade (figura 4) variou no estuário do Goiana de 0,2±2,1 em 2009 a 6,4±0,0 em 2008; no Capibaribe de 0,1±0,7 em 2008 e 2009 a 0,4±0,1 em 2006 e 2007; no Jaboatão de 0,1±0,0 em 2009 a 6,8±4,1 em 2006.

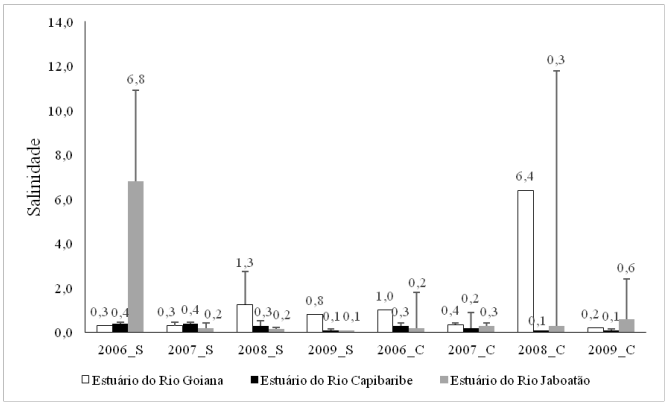


Figura 4. Médias (±desvpad; 1<N<3) sazonais Salinidade por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

O pH (figura 5) variou no estuário do Goiana de 7,0±0,4 em 2006 a 8,0±0,0 em 2009; no Capibaribe de 6,8±0,4 em 2007 e 2008 a 7,2±0,3 em 2007; no Jaboatão de 6,0±0,0 em 2009 a 6,9±0,2 em 2006.

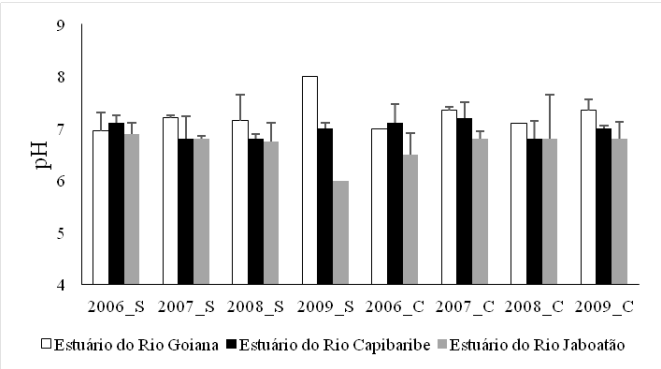
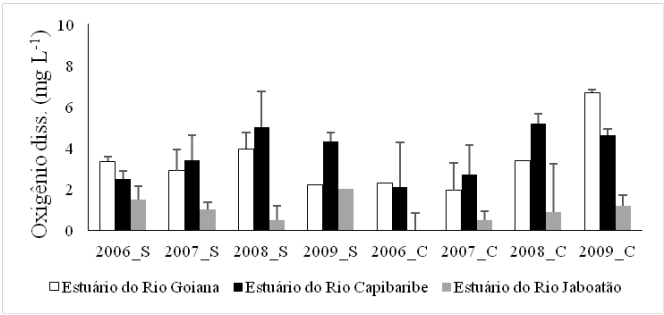
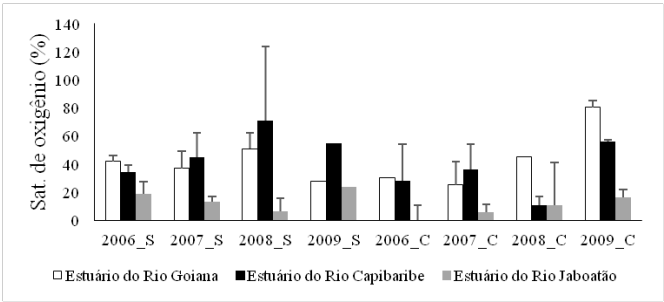


Figura 5. Médias (±desvpad; 1<N<3) sazonais pH por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

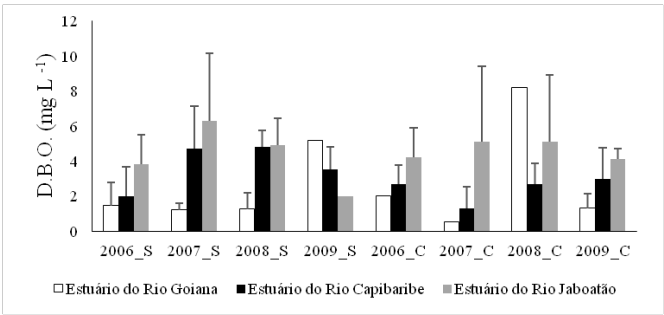
Os níveis de Oxigênio Dissolvido (O.D.) (figura 6A) presentes nos estuários foram baixos. No Goiana variou de 2,0±0,0 mg L^{-1} em 2007 a 6,7±0,1 mg L^{-1} em 2009; o Capibaribe de 2,1±2,2 mg L^{-1} em 2006 a 5,2±6,4 mg L^{-1} em 2008; e o Jaboatão de 0,0±0,9 mg L^{-1} em 2006 a 2,0±0,0 mg L^{-1} do mesmo ano. A saturação percentual de oxigênio dissolvido (figura 6B) nos três estuários estudados acompanhou o desempenho do O.D.. As variações ocorrem entre 25,0±17% a 80,5±4,9% no Goiana; 28,0±26,3% a 73,0±0,0% no Capibaribe; e de 0,0±11,0% a 24,0±0,0% no Jaboatão. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O.) (figura 6C) no estuário do Rio Goiana variou de 0,5±0,0 mg L^{-1} em 2007 a 8,2±0,0 mg L^{-1} em 2008; no Capibaribe de 1,3±1,2 mg L^{-1} em 2007 a 4,8±1,0 mg L^{-1} em 2008; no Jaboatão de 2,0±0,0 mg L^{-1} em 2009 a 6,3±3,9 em 2007.



a)



b)



c)

Figura 6. Médias (±desvpad; 1<N<3) sazonais (A) O.D. (mg L-1), (B) Saturação percentual de Oxigênio e (C) D.B.O. (mg L-1) por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

O Fósforo total (figura 7) variou no estuário do Rio Goiana de 0,1±0,0 mg L^{-1} em 2009 a 1,5±0,0 mg L^{-1} em 2006; no Capibaribe de 0,2±0,1 mg L^{-1} em 2009 a 0,4±0,1 mg L^{-1} em 2008; no Jaboatão de 0,2±0,2 mg L^{-1} em 2009 a 0,5±0,2 mg L^{-1} em 2007 e 2009.

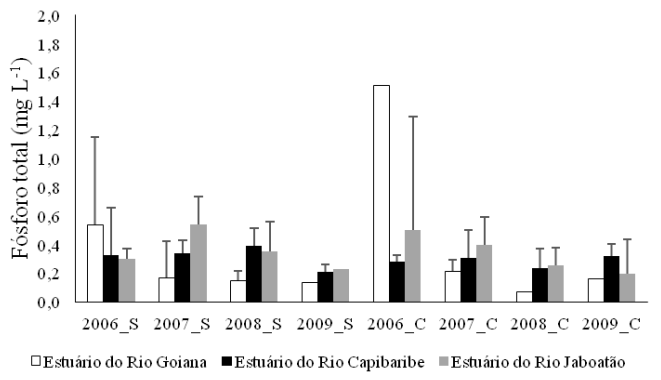
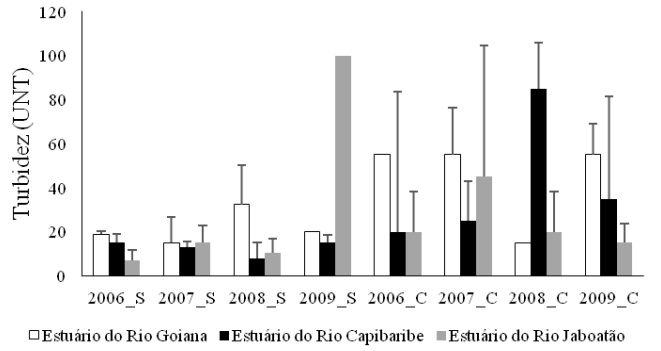
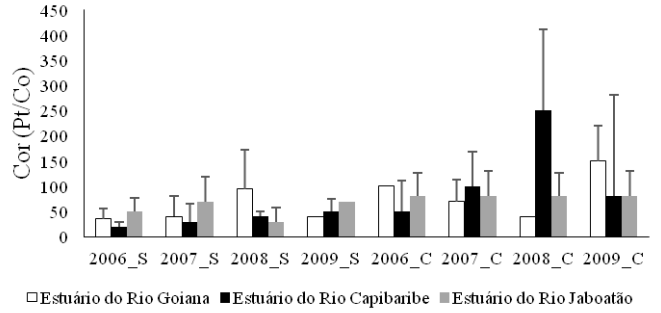


Figura 7. Médias (±desvpad; 1<N<3) sazonais do Fósforo total (mg L-1) por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.



a)



b)

Figura 8. Médias (±desvpad; 1<N<3) sazonais da (A) Turbidez (UNT) e da (B) Cor (Pt/Co) por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

A turbidez (figura 8A) variou no estuário do Rio Goiana de 15,0±11,5 UNT em 2007 a 55,0±21,2 UNT na estação chuvosa dos anos 2006, 2007 e 2009; no Capibaribe de 8,0±7,2 em 2007 a 85,0±20,8 em 2008; no Jaboatão de 7,0±4,9 UNT em 2006 a 100,0±0,0 em 2009. A cor (figura 8B) variou no estuário do Rio Goiana de 35,0±21,2 Pt/Co em 2006 na seca a 100,0±0,0 Pt/Co na estação chuvosa; no Capibaribe de 20,0±8,7 Pt/Co em 2006 a 250±160,7 Pt/Co em 2008; no Jaboatão de 29,0±29,7 Pt/Co em 2008 na seca a 80±47,3 Pt/Co em todos os anos da estação chuvosa.

4. DISCUSSÃO

Os estuários têm papel importante na manutenção da qualidade ambiental, inclusive em áreas urbanas. No entanto, são vulneráveis às mudanças impostas pelo uso do solo em seu entorno, das águas e até a possíveis mudanças climáticas (Altieri e Gedan, 2015). Os estuários dos rios Goiana, Capibaribe e Jaboatão, se encontram sob regimes pluviométricos semelhantes, e por isso podem ser comparados entre si no que diz respeito às variações temporais marcadas pela oscilação entre seca e chuvas. Ainda, se comportaram de forma semelhante quanto às variações de temperatura da água, salinidade no alto estuário e pH, já que os níveis diferentes de urbanização não parecem influenciar essas variáveis monitoradas. Eles apresentaram uma pequena variação em sua temperatura da água, essa situação de acordo com Costa *et al.* (2017) é esperada, e observada devido ao clima tropical da região. Assim, as águas são permanentemente quentes, tipicamente acima de 25ºC. O gradiente salino tem início nos pontos escolhidos para comparação e sendo assim, a partir desses pontos a salinidade média deve aumentar em direção ao mar, mas também sob a influência temporal das estações do ano. A diversidade da fauna e flora não foi avaliada neste estudo, mas sugere-se que a partir desses pontos de monitoramento, haverá uma mudança da comunidade para estuarina – mais tolerante a variações da qualidade da água em termos de salinidade (Van Diggelen e Montagna, 2016). O pH permaneceu de acordo com o esperado para esse tipo de ambiente de transição entre rios e o mar, entre 6,0 e 9,0.

A disponibilidade de oxigênio nas águas estuarinas é uma problemática que não só atinge o Brasil, mas sim, o mundo. Os estuários estudados diferem pouco quanto a concentração de oxigênio dissolvido em alguns momentos do período considerado, o que pode ser indiretamente devido aos diferentes graus de urbanização ou outros fatores não avaliados (ex. fluxo de água). A observação de eventos de hipóxia e anóxia nos estuários urbanos resulta da grande influência das atividades antropogênicas, sobretudo disposição de efluentes e aporte urbano, os quais contêm uma mistura complexa de matéria orgânica,

detritos inorgânicos e nutrientes provenientes (Goodman e Campbell, 2007). Essa alta carga de nutrientes na água pode causar o desenvolvimento de bolsões com baixo teor de oxigênio dissolvido que perduram até que exista um volume de água suficiente para sua diluição, a jusante (Li *et al.*, 2018).

Ao observar em particular o Jaboatão, onde os menores e mais críticos índices de O.D. foram observados, de 2006 a 2009 todas as aferições encontravam-se em nível de hipóxia, ou seja, valores inferiores a 2,0 mg L^{-1}. O baixo oxigênio pode ser associado a grande influência antrópica constante da região, tornando o ambiente vulnerável e sem tempo suficiente para que ocorresse a depuração natural dos nutrientes (Ekstrom *et al.*, 2015).

Os estuários do Capibaribe e do Goiana conseguiram manter valores de O.D. superiores a 2,0 mg L^{-1}, porém os níveis oscilaram entre o recomendado pela Resolução n° 357/05 do CONAMA de 5,0 mg L^{-1} ao alerta de hipóxia. Dentre os estuários, o Goiana é o que ainda apresenta a maior resiliência, pois tem os melhores níveis de D.B.O. Porém, como foi visto a disponibilidade de oxigênio em suas águas, em média, também é baixa. Essa situação acarreta um estresse hídrico, o qual tende a piorar na estação seca, onde se pode verificar uma menor precipitação pluviométrica e menor fluxo de água (Lee *et al.*, 2018). Nessa época, o estuário torna-se mais dependente da penetração das marés para a renovação de suas águas.

A concentração de fósforo total esteve acima do tolerável pela legislação internacional de 0,025 mg L^{-1} (EPA, 2015) e nacional de 0,18 mg L^{-1} (CONAMA n°357/05) nos três estuários. Isso é consistente com a falta de saneamento básico das três bacias e intensificando no Capibaribe e Jaboatão – mais urbanizadas. Eles provavelmente estão mais expostos ao aporte urbano advindo da maior impermeabilização do solo típica das cidades (Renjith et al, 2011; Qin *et al.*, 2016; Wetz et al, 2016). A alta concentração de fósforo se dá principalmente pelos efluentes domésticos e industriais, como também fertilizantes agrícolas (Huang *et al.*, 2003), que ainda persistem na bacia do Rio Jaboatão nas plantações de cana de açúcar restantes em áreas ainda não urbanizadas ou incorporadas a parques industriais. Esperava-se que nos meses chuvosos esse nutriente conseguisse obter uma boa diluição. Isso demonstra que o ambiente já pode estar no limite da sua resiliência, onde apenas o aporte pluvial não é mais suficiente para a diluição completa (Dixon *et al.*, 2014; Eyre, 1997; Álvarez-Vázquez *et al.*, 2016).

A turbidez da água está diretamente ligada aos índices pluviométricos, onde espera-se que em períodos chuvosos a quantidade de partículas seja maior, acarretando em uma menor visibilidade do que na estação seca (Navatril *et al.*, 2011; Robins *et al.*, 2016; Anchete *et al.*, 2017). A baixa visibilidade faz com que ocorra uma menor penetração de luz na água e baixa disponibilidade de oxigênio, o que irá implicar na diminuição da produtividade primária local (Brouwer e Schramkowski, 2018). Dessa forma, os dados obtidos nos três estuários corroboram com a literatura, apresentando uma baixa visibilidade nos períodos chuvosos, além de um declínio quanto a disponibilidade de oxigênio.

Os estuários, independentes de seu estado de conservação, apresentam fatores que afetam seu funcionamento ecossistêmico (Micheli *et al.*, 2016) como também o equilíbrio da qualidade ambiental (Halpern *et al.*, 2018), sofrendo diretamente com a influência do homem, seja ela pelo uso direto e ocupação do solo, ou de maneira indireta (Xavier *et al.*, 2016).

Em status de conservação, o Goiana apresenta suas margens com mais vegetação natural (manguezais) do que os urbanos, onde a vegetação deu lugar as grandes construções civis (Arruda-Santos *et al.*, 2018), porém, todos os três estuários estão vulneráveis devido a combinação de altas temperaturas e grandes cargas de matéria orgânica e nutrientes (naturais e antropogênicos), o que reduz perigosamente os niveis de oxigênio dissolvido na água..

A disponibilidade de oxigênio, fator limitante para o desenvolvimento da vida e qualidade dos estuários (O'Boyle *et al.*, 2009), vem sendo cada vez mais afetada, independente do status de conservação dos estuários. O Capibaribe, o mais urbanizado dos três estuários estudados, apresentou em seus dados, valores um pouco melhores de concentração de oxigênio dissolvido. Porém, é um estuário que necessita de atenção por apresentar uma hidrodinâmica particular (Schettini *et al.*, 2016). Ele corta o principal centro urbano de Pernambuco, sendo fonte de abastecimento de água para a população além de meio de disposição de efluentes, usos claramente incompatíveis.

5. CONCLUSÕES

A comparação dos estuários com diferentes graus de urbanização através do recolhimento de dados disponíveis da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) dos anos de 2006-2009, demonstrou que os três estuários sofrem rotineiramente com a influência antrópica, acarretando problemáticas voltadas a sua qualidade hídrica.

Níveis de oxigênio dissolvido abaixo do recomendado mesmo pela legislação brasileira para a conservação da vida aquática foram encontrados, com maior agravamento no estuário do Rio Jaboatão, onde permaneceu inferior a 2,0 mg L^{-1} (hypóxia permanente). Possivelmente isso

foi devido às descargas de esgoto doméstico *in natura*, aporte urbano, efluentes industriais e nutrientes da lixiviação do solo. Além disso, maiores concentrações de partículas na água dificultam a penetração da luz no estuário e a produção primária.

A periodicidade do monitoramento é fundamental para entendermos como os ambientes estão se comportando no decorrer das mudanças sazonais e dos anos. Para isso, é importante que se tenha um banco de dados consistente das variáveis para que, através de análises espaço-temporais, elas possam aferir de uma maneira mais precisa a qualidade da água e, consequentemente a potencialidade de cada estuário individualmente e de todos os corpos d'água de região em continuar prestando os serviços ecológicos previstos para ambientes costeiros de transição. Recomenda-se a repetição e expansão de estudos de comparação espaço-temporal como este. Por exemplo, a repetição decadal do estudo apresentado aqui com os anos de 2006 a 2009, poderia ser refeita entre 2016 e 2019, assim que os relatórios estivessem disponíveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a CAPES e a FACEPE pelo financiamento de projetos de pesquisa e bolsas de estudo, sobretudo durante o período de produção deste trabalho e, ao CICS. Nova da UNL pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS

Achete, F., Van Der Wegen, M., Roelvink, J. A. Jaffe, B. (2017). How can climate change and engineered water conveyance affect sediment dynamics in the San Francisco Bay-Delta system? *Climatic Change*, 142:375–389. DOI: 10.1007/s10584-017-1954-8

Altieri, A.H., & Gedan, K.B. (2015). Climate change and dead zones. *Global Change Biology*, 21(4): 1395-1406. DOI: 10.1111/gcb.12754

Álvarez-Vázquez, M. A., Prego, R., Ospina-Alvarez, N., Caetano, M., Bernárdez, P., Doval, M., … Vale, C. (2016). Anthropogenic changes in the fluxes to estuaries: Wastewater discharges compared with river loads in small rias. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 179, 112–123. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.08.022

Arruda-Santos, R.H., Schettini, C.A.F., Yogui, G.T., Maciel, D.C., Zanardi-Lamardo, E. (2018). Sources and distribution of aromatic hydrocarbons in a tropical marine protected area estuary under influence of sugarcane cultivation. *Science of The Total Environment*, 624: 935-944. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.174

Barcellos, R.L., Flores-Montes, M.J., Alves, T.M.F., Camargo, P.B. (2016). Modern sedimentary processes and seasonal variations of organic matter in an urban tropical estuary, Jaboatão River (PE), Brazil. *Journal of Coastal Research,* 75(1): 38-42. DOI: 10.2112/SI75-008.1

Barletta, M., & Costa, M. F. (2009). Living and Non-living Resources Exploitation in a Tropical Semi-arid Estuary. *Journal of Coastal Research*, (SI 56), 371–375.

Barletta, M., Costa, M. F., Dantas, D. V. (2020). Ecology of microplastics contamination within food webs of estuarine and coastal ecosystems. *MethodsX*, 100861. DOI: 10.1016/j.mex.2020.100861.

Barletta, M., Lima, A. R. A., & Costa, M. F. (2019). Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries. *Science of The Total Environment*, 651, 1199–1218. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.276

Bezerra, A.P.X.G., Gabriel, F.A., Lorena, E.M.G., Santos, I.G.S., Rolim Neto, F.C. (2018). Environmental Diagnosis of the Permanent Preservation Area (PPA) of the Capibaribe River in the city of Recife – PE. *Scientific Journal of Environmental Sciences,* (ISSN: 2447-0740) 4(1): 005-012.

Brower, R.L., Schramkowski, G.P. (2018). Time Evolution of Estuarine Turbidity Maxima in Well-Mixed, Tidally Dominated Estuaries: The Role of Availability- and Erosion-Limited Conditions. Journal of Physical Oceanography, 48: 1629-1650. DOI: 10.1175/JPO-D-17-0183.1

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Resolução nº 357 de 17 de Março de 2005. CONAMA, Brasília.

Costa, C. R., Costa, M. F., Barletta, M., & Alves, L. H. B. (2017). Interannual water quality changes at the head of a tropical estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(12), 628. DOI: 10.1007/s10661-017-6343-2

Costa, C. R., Ferreira, M. F., Dantas, D. V., & Barletta, M. (2018). Interannual and seasonal variations in estuarine water quality. *Front. Mar. Sci*., 5(301). https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00301

Costa, C.R., Costa, M.F., Barletta, M., Alves, L.H.B. (2017). Interannual water quality changes at the head of a tropical estuary. *Environmental Monitoring Assessment* ,189: 628. DOI: 10.1007/s10661-017-6343-2

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2018). Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco - 2017.

Dixon, J. L., Osburn, C. L., Paerl, H. W., & Peierls, B. L. (2014). Seasonal changes in estuarine dissolved organic matter due to variable flushing time and wind-driven mixing events. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 151, 210–220. DOI: 10.1016/j.ecss.2014.10.013

Ekstrom, J. A., Suatoni, L., Cooley, S. R., Pendleton, L. H., Waldbusser, G. G., Cinner, J. E. (2015). Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification. *Nat. Clim. Chang*., 5: 207–214. DOI: 10.1038/nclimate2508

EPA - United States Environmental Protection Agency. 2015. Human Health Ambient Water Quality Criteria: 2015 Update.

Eyre, B. (1997). Water quality changes in an episodically flushed sub tropical Australian estuary: A 50 year perspective. Marine Chemistry, 59, 177–187.

Goodman, L. R., & Campbell, J.G. (2007). Lethal levels of hypoxia for Gulf Coast estuarine animals. *Marine Environmental Research*, 152(1): 37-42. DOI: 10.1007/s00227-007-0685-1

Hallett, C. S., Valesini, F., & Elliott, M. (2016). A review of Australian approaches for monitoring, assessing and reporting estuarine condition: I. International context and evaluation criteria. *Environmental Science & Policy*, 66, 260–269. DOI: 10.1016/j.envsci.2016.07.014

Halpern B.S., Walbridge S., Selkoe K.A, Kappel, C.V, Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno. J.F., Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319: 948–952. DOI: 10.1126/science.1149345.

Harrison, T. D., & Whitfield, A. K. (2006). Temperature and salinity as primary determinants influencing the biogeography of fishes in South African estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1–2), 335–345. DOI: 10.1016/j.ecss.2005.09.010

Huang, X.P., Huang, L.M., Yue, W.Z. (2003). The characteristics of nutrients and eutrophication in the Pearl River estuary, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 47(1-6): 30-36. DOI: 10.1016/S0025-326X(02)00474-5

Karydis, M., & Kitsiou, D. (2013). Marine water quality monitoring: A review. Marine *Pollution Bulletin*, 77(1–2), 23–36. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.09.012

Kennish, M. J. (1991). Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects. CRC Press.

Kitsiou, D., & Karydis, M. (2011). Coastal marine eutrophication assessment: A review on data analysis. *Environment International*, 37(4), 778–801. DOI: 10.1016/j.envint.2011.02.004

Köchling, T., Sanz, J.L., Galdino, L., Florencio, L. Kato, M.T. (2017). Impact of pollution on the microbial diversity of a tropical river in an urbanized region of northeastern Brazil. International *Microbiology,* 20(1): 11-24. DOI: 10.2436/20.1501.01.281.

Lee, J., K.-T. Park, J.-H. Lim, J.-E. Yoon, and I.-N. Kim. (2018). Hypoxia in Korean coastal waters: A case study of the natural Jinhae Bay and artificial Shihwa Bay. *Frontiers in Marine Science,* 5(70), 1-19. DOI: 10.3389/fmars.2018.00070

Li,G., Liu, J., Diao, Z., Jiang, X., Li, J., ... Tan, Y. (2018). Subsurface low dissolved oxygen occurred at fresh- and saline-water intersection of the Pearl River estuary during the summer period. *Marine Pollution Bulletin*, 126: 585-591. http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.061

Micheli, F., Heiman, K. W., Kappel, C. V., Martone, R. G., Sethi, S. A., Osio, G. C., Fraschetti, S.; Shelton, A.O.; Tanner, J. M. (2016). Combined impacts of natural and human disturbances on rocky shore communities. Ocean Coast. Managenmt, 126:42–50. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2016.03.014.

Mohebbi, M. R., Saeedi, R., Montazeri, A., Azam Vaghefi, K., Labbafi, S., Oktaie, S., … Mohagheghian, A. (2013). Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI). *Ecological Indicators*, 30, 28–34. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.02.008

Nascimento, R. C. M.; Guilherme, B.C. ; Araujo, M. C. B. ; Magarotto, M. ; Silva-Cavalcanti, J. S. (2018). Uso de Indicadores Ambientais em áreas costeiras: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 1, 052-069.

Navratil, O., Esteves, M., Legout, C., Gratiot, N., Nemery, J., Willmore, S., Grangeon, T. (2011). Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment. J. Hydrol. 398: 246–259. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.12.025.

O'Boyle, S., McDermott, G., Wilkes, R. (2009). Dissolved oxygen levels in estuarine and coastal waters around Ireland. *Marine Pollution Bulletin*, 58(11): 1657-1663. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.07.002

Qin, H., He, K., & Fu, G. (2016). Modeling middle and final flush effects of urban runoff pollution in an urbanizing catchment. Journal of Hydrology, 534, 638–647. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.01.038

Renjith, K. R., Chandramohanakumar, N., & Joseph, M. M. (2011). Fractionation and bioavailability of phosphorus in a tropical estuary, Southwest India. Environmental Monitoring and Assessment, 174(1–4), 299–312. DOI: 10.1007/s10661-010-1458-8

Robins, P. E., Skow, M.W., Lewis, M.J., …, Jago, C.F. (2016) Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. *Estuarine Coastal Shelf Sci*., 169: 119–135. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.12.016.

Schettini, C.A.F., Miranda, J.B., Valle-Levinson, A., Truccolo, E.C., Domingues, E.C. (2016). The circulation of the lower Capibaribe Estuary (Brazil) and its implications for the transport of scalars. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(3): 263-276. DOI: 10.1590/S1679-87592016119106403

Tagliani, P. R. A. (2018). Base ecossistêmica para o ordenamento territorial na planície costeira do Rio Grande do Sul. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 44, 36–50. DOI: 10.5380/dma.v44i0.54997

Telesh, I. V., & Khlebovich, V. V. (2010). Principal processes within the estuarine salinity gradient: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 61(4–6), 149–155. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.02.008

Van Diggelen, A.D. & Montagna, P.A. (2016). Is Salinity Variability a Benthic Disturbance in Estuaries? Estuaries and Coasts 39(4):967-980. DOI: 10.1007/s12237-015-0085-9

Wetz, M. S., Hayes, K. C., Fisher, K. V. B., Price, L., & Sterba-Boatwright, B. (2016). Water quality dynamics in an urbanizing subtropical estuary (Oso Bay, Texas). Marine Pollution Bulletin, 104(1–2), 44–53. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.02.013

Xavier, D.A., Barcellos, R.L., Figueira, R.C.L., Schettini, C.A.F. (2016). Evolução sedimentar do estuário do Rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização. *Tropical Oceanography,* 44(2): 74-88. DOI: 10.5914/2016.0126

Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada 20(3):179-195 (2020)
http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n288_Santos.pdf | DOI:10.5894/rgci-n288

Revista de Gestão Costeira Integrada
Journal of Integrated Coastal Zone Management

A articulação entre a gestão ambiental portuária e a gestão costeira integrada: o caso da agenda ambiental local do Porto de Santos/SP - Brasil

Leticia Dechen Puche[1], Simone Mendonça Santos[@ 2]

[@] Corresponding author: sms@usp.br
[1] Pontifícia Universidade Católica de Campinas. CEATEC – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Email: le_dechen@hotmail.com
[2] Universidade de São Paulo - USP

RESUMO: Em face ao caráter estratégico do setor portuário, indispensável para o desenvolvimento económico e social, entende-se que a gestão ambiental portuária deve ir da micro à macroescala, planejando o desenvolvimento portuário no âmbito da gestão costeira. Assim, considerando-se o potencial de atuação da Agenda Ambiental Local (AAL) como instrumento de articulação entre a Gestão Ambiental Portuária e a Gestão Costeira Integrada, o presente artigo parte da revisão sistemática da literatura para posterior indicação de requisitos de boas práticas para a elaboração de AALs, capazes de atuar sobre questões relacionadas com a governança territorial, a integração intersetorial e a integração espacial. Os requisitos foram aplicados à AAL do Porto de Santos/SP - Brasil, revelando tratar-se de uma proposta com indícios de atuação sobre temas como a resiliência do sistema sócio-ecológico e a articulação intergovernamental, mas que, contudo, apresenta limitações relacionadas com a abordagem dos seguintes temas: planeamento integrado; relação porto-cidade; infraestruturas sustentáveis e articulação conhecimento-gestão. Com base nos resultados obtidos, sugere-se que nas próximas revisões da AAL do Porto de Santos sejam realizados procedimentos de: (i) revisão do escopo dos estudos e avaliações realizadas; (ii) diagnóstico e análise das influências do estado da infraestrutura de transporte na sustentabilidade das atividades socioeconómicas da região costeira e; (iii) definição de métodos de monitoramento continuado para o acompanhamento dos resultados obtidos, tendo em vista a adoção de uma AAL efetivamente regional e integrada, de abordagem sistêmica e adaptativa para com as questões socioambientais e económicas do sistema estuarino de Santos e São Vicente.

Palavras-chave: Agenda portuária; Planeamento integrado; Governança territorial.

ABSTRACT: Given the strategic character of the port sector, which is indispensable for economic and social development, it is understood that the environmental management of the port should go from micro to macro scale, planning port development within the scope of coastal management. Thus, considering the potential of the Local Environmental Agenda (LEA) as an instrument of articulation between the Port Environmental Management and the Integrated Coastal Management, this article performs a systematic review of the literature to propose good practices

** Submission: 5 SEP 2019; Peer review: 18 APR 2020; Revised: 4 MAY 2020; Accepted: 4 MAY 2020; Available on-line: 26 AGO 2020*

requirements for designing LEAs capable of addressing issues related to territorial governance, intersectoral and spatial integration. These requirements were applied to the Port of Santos / SP - Brazil LEA, revealing that it is a proposal with some approach to themes such as the resilience of the socio-ecological system and intergovernmental articulation, which, however, has limitations related to the approach of the following themes: integrated planning; port-city relationship; sustainable infrastructures and knowledge-management articulation. Based on the results obtained, for future reviews of the Port of Santos LEA, it is suggested: (i) the revision of the adopted planning objectives; (ii) the diagnosis and analysis of the influences of the state of transport infrastructure on the sustainability of socioeconomic activities in the coastal region and; (iii) the definition of continuous monitoring methods to evaluate the results obtained, enabling the adoption of an effectively regional and integrated LEA, with a systemic and adaptive approach to the socio-environmental and economic issues of the Santos and São Vicente estuarine system.

Keywords: Port agenda; Integrated planning; Territorial governance.

1. INTRODUÇÃO

A localização estratégica para comunicação e transporte, bem como a diversidade de recursos disponíveis nas zonas costeiras fazem com que essas regiões constituam polos preferenciais para ocupação humana (Barragan Muñoz, 2010). Devido à enorme extensão litorânea (alcançando 8.698 km) e às características biofísicas privilegiadas, a costa brasileira abriga diversas atividades económicas, dentre as quais: as atividades industriais (principalmente as dos setores químico e petroquímico), a extração mineral (com destaque para o petróleo e o gás), a pesca marinha, o turismo, a maricultura e as atividades portuárias (Scherer *et al.,* 2010).

Como um modelo que visa restaurar e manter a integridade ecológica dos ecossistemas, bem como reduzir os conflitos de uso dos recursos naturais, garantindo a qualidade ambiental e desenvolvimento socioeconómico (SOUZA, 2009), é de se esperar que a Gestão Costeira Integrada apresente uma série de desafios. No caso brasileiro parte desses desafios deriva da organização político-administrativa territorial do país, que exige coordenação das ações de uma variedade de instituições, com processos, normas e instrumentos de diversas naturezas (Scherer *et al.*, 2010). Além disso, definidas como patrimônio nacional pela Constituição Federal brasileira de 1988, as regiões costeiras do Brasil integram diversos ecossistemas de extrema importância ecológica, o que requer atenção especial dos gestores e administradores públicos (Granzieira, 2014).

O insucesso na implementação de iniciativas de gestão costeira integrada, em todo o mundo, evidencia a necessidade de estratégias de planeamento que favoreçam o engajamento de setores estratégicos, com significativos impactos nas regiões nas quais estão inseridos e que, via de regra, competem por vantagens territoriais (Gárcia Onetti *et al.*, 2018). Nesse sentido, conforme Nicolodi e Petermann (2010) afirmam que, um aspecto fundamental para atingir os objetivos da Gestão Costeira Integrada diz respeito à capacidade de gerenciamento das instituições atuantes, uma vez que, valendo-se de políticas públicas pautadas em um modelo de planeamento estratégico e integrado, a Gestão Costeira Integrada depende do envolvimento das diversas esferas governamentais e atores sociais para uma efetiva implementação das ações propostas. Do mesmo modo, a articulação entre as estratégias setoriais coexistentes na zona costeira é também fundamental, dada a estreita relação entre os objetivos de desenvolvimento setoriais e os modos de apropriação e uso (sustentável) dos recursos naturais (Silva e Farias Filho, 2013).

No Brasil, a Gestão Costeira Integrada tem como marco balizador o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC (Lei nº 7.661 de 1988). Na última versão, definida pela Resolução da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar - CIRM, nº. 5 de 1997, o PNGC reforçou a importância da atuação federal na integração e coordenação das atividades dos diversos setores intervenientes na Gestão Costeira Integrada. Nesse sentido, além da abordagem descentralizada (compartilhada entre União, Estados e Municípios), o PNGC conta, no âmbito da CIRM, com o suporte do Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO) que, por meio de um Plano de Ação Federal da Zona Costeira (PAF-ZC), define diretrizes comuns e articulações sistemáticas entre as políticas setoriais (Granzieira, 2014).

Além do PAF, o PNGC definiu outros instrumentos de planeamento e gestão, nomeadamente: Zonamento Ecológico-Económico Costeiro (ZEEC); os Planos (Nacional, Estadual e Municipal) de Gestão da Zona Costeira (PGZC); o Sistema de Informação (SIGERCO); o Sistema de Monitoramento (SMA); o Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira (RQA); o Plano de o Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima (Projeto Orla) (Diederichsen *et al.,* 2013).

Devido à influência das políticas públicas específicas,

como a Agenda Ambiental Portuária (Resolução CIRM 006/1998), nos portos brasileiros reconhecidos pelos diversos impactos ambientais relacionados com as suas atividades, com destaque para a contaminação das massas de água adjacentes, a disposição inadequada de resíduos sólidos gerados, a modificação do leito marinho devido a atividades de dragagem, além da eventual introdução de organismos exóticos via água de lastro dos navios (Scherer *et al.,* 2010), as questões relacionadas com a gestão ambiental têm recebido maior atenção nos últimos anos (Kitzmann e Asmus, 2006; Lourenço e Asmus, 2015).

Nesse contexto, por iniciativa do GI-GERCO no âmbito do PAF, a Agenda Ambiental Portuária surge da necessidade de compatibilização entre a expansão do setor portuário e a preservação dos recursos costeiros e marinhos. Dessa forma, por meio da ação conjunta e complementar nos âmbitos regional e local (institucional), a Agenda Ambiental Portuária prevê, entre outras ações: a observância dos princípios e diretrizes da Política Nacional de Meio Ambiente, da Política Nacional de Recursos Hídricos e da Política Nacional para os Recursos do Mar; o atendimento aos princípios do PNGC; à compatibilização com os instrumentos de gerenciamento costeiro e; a compatibilização dos Planos de Desenvolvimento e Zonamento dos Portos com os planos diretores municipais e metropolitanos, bem como outros instrumentos de ordenamento territorial (ANTAQ, 2011).

No âmbito regional, a Agenda Ambiental Local (AAL) atua de forma complementar à Agenda Ambiental Portuária, incorporando os aspectos regionais intervenientes nas atividades portuárias. Concretizada no plano de ação definido entre os principais agentes regionais intervenientes nas atividades portuárias, e coordenada pela Autoridade Portuária, a AAL define os compromissos assumidos tendo em vista a preservação dos recursos naturais, a saúde e a segurança ocupacional, sanitária e institucional e a necessária capacitação dos diversos atores nos sentido das boas práticas ambientais (ANTAQ, 2011). Por sua vez, no âmbito local, a Agenda Ambiental Institucional ratifica o compromisso da Autoridade Portuária com a Agenda Ambiental Portuária e a AAL, definindo a missão, a política ambiental, as metas e objetivos ambientais institucionais da organização portuária, contemplando o Sistema de Gestão Ambiental do Porto.

Contudo, muito embora os instrumentos instituídos pelo PNGC tenham propiciado avanços consideráveis, o planeamento integrado das ações nas regiões costeiras do Brasil é ainda latente (Nicolodi e Petermann, 2010). Vale ressaltar que, na Gestão Costeira Integrada, integração diz respeito à adoção de uma abordagem multisetorial para a preservação e uso sustentável desses recursos, por meio da união entre o governo, a comunidade e os setores económicos atuantes nas zonas costeiras (Klumb-Oliveira e Souto, 2015).

Nesse sentido, considerando-se o caráter estratégico do setor portuário, indispensável para o desenvolvimento económico e social, bem como a complexidade de suas atividades operacionais, com impactos sociais, económicos e ambientais que extrapolam os limites do porto (Lorenço e Asmus, 2015), entende-se que a gestão ambiental portuária deve ir da micro à macroescala, planejando o desenvolvimento portuário no âmbito da gestão costeira, incorporando em suas estratégias de expansão o contexto socioambiental regional e as políticas públicas relacionadas (Kitzmann e Asmus, 2006).

O presente artigo parte da revisão sistemática da literatura relacionada com a articulação da Gestão Ambiental Portuária com a Gestão Costeira Integrada para posterior proposição de requisitos de boas práticas a serem observados na elaboração das AALs, que, devido à sua abordagem regional e integrada, podem desempenhar um papel importante como instrumentos de planeamento e gestão portuária e costeira. Assim, considerando a AAL uma oportunidade de atuação no sentido da compatibilização das atividades portuárias com a preservação e uso sustentável dos recursos costeiros, procurou-se a identificar as questões-chave (traduzidas em requisitos de boas práticas) a serem contempladas no processo de construção das AALs, tendo em vista uma atuação mais efetiva no sentido da integração intersetorial, da integração espacial e da governança territorial.

Os requisitos identificados foram aplicados à AAL do Porto de Santos/SP- Brasil, o que permitiu a avaliação do seu potencial como instrumento integrador capaz de lidar com as exigências ambientais das atividades portuárias (microescala) num contexto mais amplo (macroescala) de gestão dos recursos costeiros.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo: o porto de Santos e o papel da Agenda Ambiental Local

Limitado ao norte pelo município de Bertioga (bacia do rio Itapanhaú) e ao sul pelos municípios de Praia Grande e de São Vicente (bacias dos rios Branco, Mariana e Piabaçu) (Cunha, 2006), o sistema estuarino de Santos e São Vicente constitui um ponto de ligação entre as descargas de água doce oriundas de rios da Serra do mar e

as regiões costeiras lodosas e de manguezais adjacentes. Trata-se, portanto, de ecossistema/unidade ambiental de grande produtividade biológica, fundamental para a renovação dos recursos costeiros, que, contudo, se apresenta extremamente vulnerável às alterações de qualidade, dadas as influências das atividades que ocorrem tanto na região metropolitana da cidade de São Paulo, quanto nas áreas urbanas, industriais e portuárias da baixada santista (Silva e Gomes, 2012).

Administrado pela Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP), o Porto de Santos possui instalações portuárias distribuídas entre Santos (margem direita) e Guarujá (margem esquerda) totalizando 15 km de cais de uso público e privado, por meio de arrendamento. A margem esquerda do Porto possui 3 km de cais, contendo 10 armazéns, enquanto a margem direita possui 12 km de cais, contendo 60 armazéns. Devido à sua localização estratégica, a 70 km da Grande São Paulo, o Porto de Santos é o grande exportador da produção agrícola dos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, contando também com um conjunto de terminais especializados capazes de movimentar uma variedade de produtos manufaturados, além de passageiros, no caso de cruzeiros (Cunha *et al.*, 2014).

Além do Porto de Santos, o sistema estuarino de Santos abriga mais seis terminais de uso privado (TUP) – TUP DP World Santos; Terminal Sucocítrico Cutrale (TUP Cutrale); Terminal Marítimo Dow (TUP Dow); Terminal Integrador Portuário Luiz Antônio Mesquita (Tiplam); Terminal Marítimo Privativo de Cubatão (TMPC) e Saipem (Base Logística de Dutos) – que configuram o Complexo portuário de Santos (MI, 2018).

Consultoria Paulista (2006) confronta o atual Plano de Desenvolvimento e Zonamento do Porto (PDZP) de Santos (CODESP, 2006) com um diagnóstico socioambiental da sua área de influência, cujos resultados identificaram conflitos relacionados com a localização dos projetos de expansão e a competição por espaço com comunidades locais, como, por exemplo, sobreposições entre a navegação pelo canal do porto e rotas de pesca artesanal. Além disso, evidenciou o impacto das operações portuárias em relação à poluição por emissões aéreas no terminal de granéis sólidos, no terminal de fertilizantes e aos despejos de produtos químicos ao longo das vias de acesso.

Grande parte dos portos brasileiros, como é o caso do porto de Santos, já existiam a quando do advento da legislação ambiental, de forma que a gestão ambiental portuária é prática relativamente recente no país (Cunha, 2006; Carvalho *et al.*, 2018). Nesses casos, como parte de um processo de adequação ambiental, além de equacionar os passivos ambientais identificados, conforme Portaria nº 424/2011 do Ministério do Meio Ambiente – MMA, os portos devem solicitar licença de operação por meio da apresentação de Relatório de Controle Ambiental (RCA) e do Plano Básico de Regularização Ambiental (PBRA), que descreve os programas que visam mitigar ou compensar os impactos ambientais provocados (Cunha *et al.*, 2014), num processo de licenciamento que mais se assemelha a uma auditoria ambiental (Carvalho *et al.*, 2018).

Simultaneamente, a região que abriga o porto de Santos é objeto de interesse de diversas legislações e normativas ambientais relacionadas à preservação da biodiversidade e ao gerenciamento costeiro. Segundo informações do Zonamento Ecológico Económico Costeiro (ZEEC) da Baixada Santista, aprovado por meio do Decreto Estadual nº 58.996/2013, com ecossistemas complexos inseridos dentro do Bioma da Mata Atlântica, cerca de 40% do território da baixada santista é protegido por Unidades de Conservação (UCs), gerenciadas pela Fundação para Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo (Fundação Florestal), vinculada à Secretaria do Meio Ambiente do Estado e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Há também UCs municipais gerenciadas pelas prefeituras e as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), administradas por proprietários particulares (São Paulo, 2013).

Assim, considerando-se a diversidade de instrumentos de gestão ambiental estabelecidos pela política ambiental brasileira, principalmente os definidos pela Lei 6.938/1981, Cunha (2006) sinaliza a necessidade de integração entre o planeamento e o controle ambiental na gestão ambiental das atividades portuárias. Enquanto os instrumentos de comando e controle, como o licenciamento ambiental, a fiscalização e a definição de espaços territoriais especialmente protegidos, que regulam os empreendimentos e/ou o acesso aos recursos naturais, são amplamente utilizados, o planeamento ambiental, que concilia estratégias de desenvolvimento com a preservação ambiental, deve ser fortalecido. Nesse sentido, destaca-se o papel fundamental de instrumentos como o Zonamento Ecológico Económico (ZEE) e a Avaliação Ambiental Estratégica. O primeiro permitindo a atuação pautada nas características e limites ecológicos, o segundo - vertente mais ampla da Avaliação de Impactos Ambientais, ainda não regulamentada no Brasil - inserindo a variável ambiental nos mais altos níveis de decisão, antecipando as consequências ambientais de políticas, planos e programas de desenvolvimento.

No setor portuário, reconhecido pela dimensão de suas atividades e dosimpactos ambientais direta ou

indiretamente relacionados (Silva e Gomes, 2012), a atuação voluntária por meio da definição de Agendas Ambientais, que possibilitem soluções negociadas para os conflitos identificados, integra as recomendações dos órgãos ambientais e agentes reguladores como a Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (Castro; Almeida, 2012). De fato, a Agenda Ambiental Portuária, como política pública federal, surge como possibilidade de atuação proativa do setor portuário, que assume a sua corresponsabilidade com os objetivos mais amplos de qualidade ambiental (Cunha *et al.*, 2006). Assim, conforme ANTAQ (2011), a Agenda Ambiental Portuária apresenta um modelo institucional para a gestão ambiental portuária no Brasil, identificando mecanismos e ações necessários para: (i) promover o controle ambiental da atividade portuária; (ii) inserir as atividades portuárias no âmbito do gerenciamento costeiro; (iii) implementar unidades de gerenciamento ambiental nos portos organizados; (iv) implementar os setores de Gerenciamento Ambiental nas instalações portuárias fora do porto organizado; (v) regulamentar os procedimentos da operação portuária, adequando-os aos padrões ambientais e; (vi) capacitar recursos humanos para a gestão ambiental portuária.

Assim, como uma iniciativa inovadora, que procura integrar a Política Nacional de Meio Ambiente, a e o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, contemplando os acordos internacionais ratificados pelo Brasil e a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Agenda Ambiental Portuária, pressupõe uma mudança de postura do setor portuário (Carvalho *et al.,* 2018), por meio do reconhecimento do valor agregado do planeamento ambiental da expansão portuária.

De iniciativa da Autoridade Portuária, a Agenda Ambiental Local (AAL) consiste num plano de ação acordado entre os principais atores portuários, procurando, no âmbito regional, a complementação da Agenda Ambiental Portuária, de forma a contemplar os compromissos do porto organizado com a internalização das conformidades ambientais relacionadas com o uso dos recursos naturais (costeiros), a saúde e a segurança ocupacional e sanitária, bem como com a capacitação dos agentes intervenientes (ANTAQ, 2011). Contudo, como instrumento não compulsório de planeamento ambiental, é importante ressaltar as oportunidades que surgem com o processo de construção e adoção de um instrumento estratégico como a AAL que, para além da adequação ambiental de um porto organizado, possibilita a incorporação de novos padrões de Gestão Ambiental Portuária.

Vasconcelos (2014) sugere a possibilidade de incorporação da variável ambiental ao PDZP que parte do diagnóstico das condições socioambientais da área de influência do porto para compatibilizar as restrições de uso com a estratégia de expansão e desenvolvimento portuário. Cunha (2006) destaca que o desenvolvimento de fóruns de negociação ambiental auxilia na superação de barreiras institucionais que dificultam, em cenários complexos como o da maioria dos portos brasileiros, a gestão integrada dos recursos (costeiros) comuns, contribuindo para um processo de planeamento caracterizado por parâmetros regionais e metas de qualidade ambiental compartilhadas pelos diversos atores.

No ponto 3.2 desse artigo, serão apresentados e discutidos os resultados da aplicação dos requisitos propostos à AAL do Porto de Santos, procedimento que permitiu avaliar em que medida a AAL do Porto de Santos foi capaz de aproveitar o processo negociado de tomada de decisão para transformar conflitos identificados num plano de ação conjunta que, entre outros aspectos, contribua para a preservação do capital social, ecológico e ambiental da zona costeira da baixada santista. De notar-se que, mais do que o atendimento das recomendações presentes nas Cartilhas/Guias de elaboração das agendas ambientais portuárias disponíveis (ANTAQ, 2011), os requisitos utilizados procuraram identificar os esforços voluntários de inserção das atividades portuárias nas discussões acerca do uso sustentável da zona costeira. Mais do que a análise da qualidade da AAL do Porto de Santos (iniciativa pioneira no Brasil), a referida avaliação procurou identificar as oportunidades de ampliar os resultados obtidos com esse importante instrumento de planeamento regional e integrado.

2.2 Revisão sistemática da literatura e identificação dos requisitos de boas práticas

A revisão sistemática da literatura constitui uma abordagem investigativa que busca apresentar um resumo das evidências relacionadas a um tema específico, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, análise crítica e síntese da informação selecionada (Gough *et al,.* 2012). As metodologias para a revisão sistemática da literatura preveem a realização de 5 etapas: (i) formulação de uma pergunta de investigação; (ii) busca por evidências que levam à definição de termos ou palavras-chave, seguida das estratégias de busca, definição das bases de dados e de outras fontes de informação a serem pesquisadas; (iii) revisão e seleção dos estudos identificados na busca inicial, avaliando-se os títulos e os resumos (abstracts) dos estudos; (iv) análise de pertinência: leitura dos estudos na íntegra para apreciação dos artigos selecionados quanto à abordagem utilizada e; (v) síntese e apresentação das

informações dos resultados da revisão (Greenhalgh, 1997; Galvão e Pereira, 2014).

Assim, de forma a responder a pergunta de investigação definida no âmbito do presente artigo (quais procedimentos podem ser adotados durante a elaboração das AALs para a articulação da Gestão Ambiental Portuária com a Gestão Costeira Integrada?), procedeu-se à revisão sistemática da literatura**.**

Para resgate de informações na base Scopus foi utilizada a seguinte sequência de termos: *Integrated Coastal Management* AND *Port Environmental Management*, recuperando-se, em 13 de junho de 2019, um total de 105 documentos, incluindo artigos publicados em periódicos, artigos apresentados em eventos e capítulos de livro. No contexto da referida revisão sistemática, optou-se pela análise limitada aos artigos publicados em periódicos, que totalizavam 57 documentos. Em seguida, procedeu-se a triagem desse conjunto inicial, selecionando-se apenas os artigos que em seus resumos abordassem as temáticas da Gestão Ambiental Portuária e da Gestão Costeira Integrada. Ao final do processo de triagem estruturou-se uma amostra contendo 10 artigos científicos que, posteriormente, foram submetidos a uma análise de pertinência por meio da leitura integral dos textos. Dessa análise foram descartados 3 (três) artigos que, apesar de atenderem todos os critérios até aqui definidos, não abordavam os mecanismos ou práticas necessárias à articulação da Gestão Ambiental Portuária com a Gestão Costeira Integrada.

Para resgate de informações na base Scielo, utilizou-se dos mesmos termos utilizados para pesquisa na base Scopus, contudo, traduzidos para o português: Gestão Costeira Integrada AND Gestão Ambiental Portuária. Dessa forma, em 13 de junho de 2019, foi possível recuperar um total de 7 documentos, sendo todos artigos publicados em periódicos. Os resumos de todos os artigos desse conjunto inicial abordavam a temática da Gestão Ambiental Portuária, contudo, após leitura integral dos textos e análise de pertinência, verificou-se que apenas 1 (um) artigo abordava a questão da articulação da Gestão Ambiental Portuária com a Gestão Costeira Integrada. Assim, considerando-se os artigos recuperados nas duas bases de dados, foi possível estruturar um quadro de referências contendo 08 artigos científicos revisados por pares. Embora apenas um número reduzido de artigos tenha atendido os critérios da revisão sistemática da literatura, os artigos selecionados abordavam com profundidade o objeto da presente pesquisa, possibilitando a proposição de um conjunto de 17 requisitos de boas práticas (apresentados em detalhe na seção 3), a serem contemplados nos processos de elaboração das AALs.

Para melhor compreensão e análise dos resultados obtidos, os requisitos identificados foram agregados em temas e temáticas de análise, identificados com base na abordagem metodológica proposta por Xue *et al.* (2004) para a Gestão Costeira Integrada, que prevê cinco formas de integração: (i) a integração intersetorial, que envolve uma ação coordenada dos diversos setores que atuam na região costeira; (ii) a integração intergovernamental, que implica atenção aos vários níveis de governo (do local ao nacional); (iii) integração espacial, que contempla as conexões entre atividades terrestres e marítimas; (iv) a integração ciência-gestão, que lida com a interdisciplinaridade necessária para a compreensão das questões costeiras e a própria ligação entre ciência e administração e; (v) a integração internacional, que surge das interrelações entre os problemas costeiros com questões transfronteiriças internacionais.

Entretanto, tendo em vista que estratégias isoladas são incapazes de atender às diversas questões da Gestão Costeira Integrada, que pressupõe uma atuação complementar e coordenada nos diversos níveis de tomada de decisão, no contexto do presente artigo, foram priorizados os temas e temáticas de análise que traduzissem questões passíveis de atuação no âmbito regional, por meio das AALs, considerando-se tanto os objetivos desse instrumento de planeamento e Gestão Ambiental Portuária, em relação às competências e responsabilidades dos atores e instituições envolvidos em sua elaboração. Posteriormente, seguindo escalas de pontuação e avaliação apresentadas, respectivamente, nas tabelas 1 e 2, avaliou-se o desempenho da AAL do Porto de Santos (Cunha *et al.*, 2014) em relação ao atendimento dos requisitos de boas práticas propostos.

Tabela 1. Escala de pontuação conforme os níveis de desempenho dos requisitos propostos.

Descrição	**Desempenho**	**Pontuação**
Requisito totalmente contemplado	Alto	10
Requisito parcialmente contemplado	Médio	5
Requisito não contemplado	Baixo	0

Fonte: elaborada pelos autores

Importante informar que o conceito de governança aqui utilizado relaciona-se com a construção de um sistema de gerenciamento costeiro adequado, por meio de ciclos de planeamento que articulam ciência e tecnologia às políticas públicas em todos os níveis governamentais, em ambiente social de diálogo e cooperação, via parcerias entre todos os atores e instituições, que procurem caminhos tecnológicos e práticos alternativos para atendimento das exigências sociais, económicas e ambientais (Cicin-Sain e Knecht,1998; Jacobi, 2005).

Tabela 2. Escala de avaliação da Agenda Ambiental Local.

Temáticas	Temas	Quantidade de requisitos	Máxima pontuação no tema	Máxima pontuação na temática
Integração setorial	Participação e envolvimento público	1	10	
	Planeamento integrado	4	40	50
Integração espacial	Relação porto-cidade e sistema territorial de transporte	2	20	
	Infraestruturas sustentáveis	2	20	40
Governança	Resiliência do sistema sócio-ecológico-marítimo	3	30	
	Integração governamental	2	20	
	Articulação conhecimento-gestão	3	30	80
Total		17	170	170
Resultado no tema (r) ou temática(R)				
Desempenho no tema (Dt) ou temática (DT)		Se r ou R < 0,50 = Insatisfatório Se 0,50 ≤ r ou R ≤ 0,75 = Medianamente satisfatório Se R > 0,75 = Altamente satisfatório		

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 A expansão portuária no contexto da Gestão Costeira Integrada

Ao analisar as influências dos tratados e acordos internacionais sobre o gerenciamento costeiro, Barston (1994) identificou um aumento no interesse sobre temas relacionados com o planeamento integrado, com os arranjos institucionais que propiciem a coordenação setorial, com os sistemas de informação e com a avaliação e controle dos riscos e danos ambientais associados às atividades portuárias. Nesse contexto, o autor descreve como principais elementos que configuram a abordagem internacional de gerenciamento costeiro: (i) a adoção dos princípios da precaução e da melhor tecnologia disponível; (ii) a ampla utilização de ferramentas de controle e gestão da qualidade ambiental como as propostas pela *International Standards Organization* (ISO); (iii) adoção de prévia avaliação e comunicação, como forma de otimizar o planeamento da contingência relacionado com as possíveis contaminações por substâncias químicas transportadas e organismos exóticos provenientes de água de lastro em portos) e a prevenção dos danos ambientais relacionados com a expansão das atividades portuárias, por meio de instrumentos de Avaliação de Impacto Ambiental .

Eglington *et al.* (1998) apresentaram os resultados obtidos com o *Barents Sea Sustainable Development Projec*t, um projeto desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em parceria com o governo Russo, cujo objetivo era conciliar o desenvolvimento económico com a preservação dos recursos costeiros na região de Murmank, no noroeste da Rússia, reconhecida por abrigar o único porto de operação contínua do país. Segundo os autores, após diagnóstico das principais questões ambientais da região foram identificadas linhas de ações prioritárias para diversos setores, incluindo o setor portuário e de transporte de cargas, tendo em vista a implementação de um plano regional de Gestão Integrada da Zona Costeira.

Assim, de forma a coordenar as atividades económicas (portuárias, de pesca, de navegação, de exploração de petróleo e gás), foram propostas as seguintes estratégias: (i) definição de diretrizes e requisitos legais de apoio à proteção adequada dos recursos costeiros e marinhos; (ii) reestabelecimento e expansão de programas de monitoramento marinho e estruturação de um banco de dados central e consistente sobre as condições ambientais da zona costeira; (iii) a realização de Avaliação Ambiental Estratégica para atividades económicas propostas nas áreas costeiras; (iv) fortalecer a capacidade de recursos humanos da região para realizar atividades de Gestão Costeira Integrada, incluindo atividades de prevenção à poluição e de gerenciamento de incidentes e; (v) desenvolver sistemas de informação geográfica e programas de sensoriamento (ou detecção) remoto para apoiar a Gestão Costeira Integrada. No caso específico do setor portuário, as recomendações foram: (i) promover uma melhor coordenação dos esforços locais, nacionais e internacionais, visando a abertura da Rota Marítima do Norte da Rússia ao comércio internacional e; (ii) melhorar a segurança da navegação, investindo em melhores tecnologias de navegação.

Xue *et al.* (2004) descreveram o processo de elaboração de um plano de gestão costeira integrada para o porto de Xiemen, na China, implementado como parte do Programa Regional para a Prevenção e Gestão da Poluição Marinha nos Mares da Ásia Oriental (MPP- EAS), de iniciativa da Organização Marítima Internacional (OMI), apoiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF) e pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Segundo os autores, após a aplicação de uma metodologia de Avaliação dos Impactos Cumulativos

das principais atividades da região portuária, foi possível a implementação de uma estratégia que, por meio da combinação de políticas públicas, instrumentos de planeamento ambiental e mecanismos científicos de monitoramento, reforçou a capacidade de prevenção e mitigação dos impactos ambientais sobre os recursos costeiros.

Alguns componentes-chave da abordagem de Gestão Costeira Integrada na região de Xiemen foram fundamentais para o seu sucesso, a saber (Xue *et al.*, 2004): (i) o estabelecimento, pelo governo municipal, de mecanismos de coordenação interinstitucional e multisetorial (incluindo a instituição de um Comitê de Gestão e Coordenação Marítima e leis locais necessárias para legitimar arranjos e mecanismos de mobilização de recursos financeiros públicos e privados), bem como escritórios operacionais para a implementação de programas de gestão costeira integrada; (ii) desenvolvimento de um programa de monitoramento da qualidade ambiental; (iii) a instituição do Marine Expert Group - formado por cientistas, especialistas jurídicos e economistas que os decisores políticos, integrando a avaliação científica e a gestão e; (iv) realização de zonamento dos usos dos recursos naturais, com prioridades definidas em função do nível dos efeitos socioeconómicos e dos impactos ambientais associados.

Outra iniciativa relevante em termos de Gestão Ambiental Portuária, diz respeito ao projeto ECOPORT 8, um esforço conjunto de países do sudeste europeu - no âmbito do *South East Europe Transnational Cooperation Programme*, incluindo organizações científicas e autoridades portuárias da Itália, Grécia, Albânia, Montenegro, Romênia e Bulgária - que visou o estabelecimento de regras comuns que garantam o desenvolvimento sustentável das atividades portuárias na macrorregião Adriático-Jônica (ampliada para o Mar Negro) (NIMH-BAS, 2012). Para isso, o projeto atuou em três linhas de ação: uma análise do contexto legal dos países envolvidos, da União Europeia e das regulamentações ambientais relativas aos portos; monitoramento de alguns indicadores ambientais e; elaboração de diretrizes de fomento às boas práticas ambientais nos portos, por meio de protocolo de sustentabilidade compartilhado entre as autoridades portuárias.

Ao analisarem alguns dos resultados obtidos nas primeiras etapas do ECOPORT 8, Marinsk *et al.* (2012) constataram que, embora a sensibilidade ambiental das autoridades portuárias às questões ambientais tivesse aumentado, havia ainda alguma dificuldade em relação à implementação de políticas ambientais adequadas, devido à complexidade do quadro legislativo que não equilibrava os interesses económicos no transporte marítimo com a devida proteção ambiental. Dessa forma, os autores sugerem uma série de ações relacionadas: aos sistemas de gestão ambiental dos portos; à análise dos riscos ambientais das atividades portuárias, planeamento ambiental e de uso do solo, e à gestão costeira integrada, tendo em vista a efetiva implementação de uma política ambiental na área dos portos do sudeste da Europa.

No que diz respeito ao planeamento ambiental e de uso do solo, Marinsk *et al.* (2012) entendem que uma abordagem preventiva para com as questões ambientais deve ser priorizada, principalmente por meio de: (i) realização de Avaliação Ambiental Estratégica de planos de desenvolvimento portuário, avaliação ambiental de planos diretores e Avaliação de Impacto Ambiental de projetos portuários; (i) alocação de atividades relacionadas com as atividades portuárias em regiões apropriadas de acordo com os potenciais impactos ambientais (zonamento); (iii) aplicação dos princípios de arquitetura verde e planeamento bioclimático nos portos.

Por fim, como uma estratégia global para a gestão ambiental integrada no âmbito do ECOPORT 8, Marink *et al.* (2012) defendem a adoção de princípios e instrumentos utilizados na Gestão Costeira Integrada, a saber: (i) o princípio da integração (setorial e governamental); (ii) o princípio da integração espacial (entre a faixa marítima e terrestre), prevendo inclusive o planeamento do espaço marítimo; (iii) o enfoque adaptativo, focando no papel essencial do monitoramento e observação do mar europeu e dos sistemas de informações geográficas (SIG); (iv) princípios das parcerias institucionais e de redes, viabilizando o desenvolvimento da colaboração e de relações eficazes entre as autoridades locais, cidadãos e empresas de toda a área do sudeste europeu.

Ao correlacionarem a evolução das atividades portuárias no município de Rio Grande (RS, Brasil) com o passivo socioambiental por elas causado, Oliveira *et al.* (2013) evidenciaram algumas lacunas da gestão costeira no Brasil. No caso analisado, ficou evidente a baixa capacidade de articulação dos atores locais, a falta de recursos e capacitação de pessoal, bem como a descontinuidade política que acaba por ofuscar os avanços das melhoras obtidas na articulação entre a gestão pública municipal, o porto e as empresas. Assim, não foi possível observar uma integração entre os instrumentos de gestão ambiental sob tutela de diferentes instituições e o Plano de Desenvolvimento e Zonamento do Porto Organizado de Rio Grande (Oliveira *et al.,* 2013). Os autores concluíram, portanto, pela necessidade de abordagem preventiva para as questões ambientais, bem como uma visão sistêmica de todo o complexo

estuarino, práticas fundamentais ao planeamento ambiental integrado, que considera o processo evolutivo do sistema porto-município-atividades económicas na busca pela sustentabilidade ambiental.

Nas zonas costeiras muitos dos problemas decorrem de tensões ao longo do tempo entre a necessidade de preservação ecológica e o desenvolvimento económico, exigindo mobilização continuada de conhecimento por meio de abordagens integrativas (Puente-Rodríguez *et al.*, 2015). Dessa forma, por meio de revisão da literatura e análise de três casos de estudo, entre eles o esforço colaborativo de um grupo de portos holandeses do Mar de Wadden que procurou definir de uma política ambiental portuária coordenada, os mesmos autores chegam a algumas conclusões: (i) embora as interfaces conhecimento-prática sejam organizadas em torno de um problema emergente é necessário um esforço de monitoramento continuado e uma pesquisa de longo prazo; (ii) as interfaces conhecimento-prática são contexto-específica, por isso, todos os tipos de conhecimentos relevantes (cidadãos, organizações ambientais, indústrias associadas, autoridades portuárias e pesquisadores) devem ser considerados e, de alguma forma, envolvidos nas práticas de Gestão Costeira Integrada; (iii) considerando-se o caso dos portos do Mar de Wadden, abordagens participativas parecem facilitar a integração desses diferentes tipos de conhecimento e, nesse contexto, o papel dos facilitadores (por exemplo, consultores, pesquisadores e cientistas sociais) para integrar o conhecimento e avançar nos projetos torna-se cada vez mais importante.

Nebot *et al.* (2017) apresentam uma visão geral dos principais tópicos contemplados na literatura internacional sobre portos, referindo algumas questões a serem consideradas na expansão portuária em geral e, especificamente, para os portos espanhóis do Mediterrâneo que, devido à expansão urbana e consolidação de uma frente portuária altamente densificada, passam por um processo de reavaliação do seu desenvolvimento. Assim, tendo como premissa a necessidade de abordagem que privilegie a requalificação dos portos existentes no lugar da construção de novos portos, os autores propõem seis estratégias de ação para o desenvolvimento futuro do setor portuário: (i) a formulação de uma política marinha que possibilite a efetiva implementação da Gestão Costeira Integrada; (ii) a implantação de infraestruturas portuárias sustentáveis; (iii) a cooperação entre portos; (iv) a regionalização dos portos; (v) a conectividade urbana e paisagística e; (vi) a integração social dos portos.

Em relação à política marinha e à Gestão Costeira Integrada, Nebot *et al.* (2017) reforçam a necessidade de todos os setores de atividade da zona costeira atuarem em conjunto, balizando as suas políticas em critérios comuns no âmbito regional e compatíveis com o âmbito nacional. Além disso, no caso de qualquer novo projeto portuário avaliar as consequências numa perspectiva ampliada, procurando o equilíbrio entre os ganhos para o setor e o desenvolvimento de outras atividades económicas afetadas, considerando-se as infraestruturas existentes nas proximidades, evitando-se, assim, sobrepressões em áreas, sítios ou setores específicos.

No que diz respeitos às infraestruturas sustentáveis, os autores destacam a importância das autoridades e usuários portuários atuarem de forma proativa e responsável com base numa estratégia económica de desenvolvimento verde. A ideia é que no contexto de um sistema de gestão ambiental, o porto consiga gerenciar todos os aspectos de suas atividades e os impactos ambientais relacionados, garantindo a qualidade ambiental (solo, água e ar), a integridade dos ecossistemas, a eficiência energética, a gestão de materiais e resíduos, a mitigação e a adaptação às mudanças climáticas.

Contudo, considerando-se a complexidade das atividades portuárias, há também que se considerarem os impactos ambientais relacionados com a manutenção e modernização das suas infraestruturas, o que pressupõe a dragagem de leitos e outras obras, relacionadas com a erosão costeira e acesso a novos sítios naturais de relevância ecológica. Assim, além da abordagem preventiva prevista pela Avaliação de Impacto Ambiental e pelo Licenciamento ambiental de projetos portuários, Nebot *et al.* (2017) enfatizam a importância de planos de desenvolvimento portuários que privilegiem instalações de baixo impacto, como marinas secas, ancoragem em portos naturais e instalações removíveis, dentro do conceito de "trabalhar com a natureza", pensando em projetos com design localmente adaptado.

Os mesmos autores entendem que, diante dos potenciais benefícios económicos e o maior nível de eficiência, dada a possibilidade de inovação em clusters, o estabelecimento de redes de cooperação portuária é, também, uma estratégia a ser considerada pelas autoridades portuárias. O conceito de redes de cooperação portuária oferece uma nova perspectiva para a Gestão Ambiental Portuária atuar numa abordagem ecossistêmica, compatível com a Gestão Costeira Integrada. Além disso, no atual contexto de intensa utilização dos recursos costeiros em todo mundo, a cooperação (entre portos de um mesmo país ou, até mesmo, de países diferentes) por meio de iniciativas que podem variar da simples partilha de informações até a definição de políticas e/ou projetos portuários conjuntos, pode constituir alternativa de conciliação entre o desenvolvimento económico e a preservação ambiental.

A estratégia de regionalização dos portos tem como objetivo inserir os portos no contexto de planeamento do sistema territorial de transporte (aeroportos, trens e rodovias), partindo-se do princípio de que a conectividade intermodal aperfeiçoa a distribuição de cargas, facilitando o escoamento a partir dos centros de produção. O conceito de conectividade pressupõe decisões que considerem uma escala geográfica ampliada, para além do perímetro portuário, além do envolvimento de diferentes autoridades e instituições, trabalhando em prol de uma política comum.

A conectividade entre os portos e as cidades está relacionada com as interações entre as atividades portuárias e os desenvolvimentos urbanos nas proximidades, considerando-se a sustentabilidade da orla marítima, como área de transição (entre a faixa terrestre e marítima da zona costeira) que mais necessita ser protegida. Ao mesmo tempo em que as cidades estão à procura de recuperar a sua relação com o mar, os portos mais antigos não dispõem de estruturas operacionais compatíveis com as necessidades culturais, sociais e económicas dos cidadãos (Nebot *et al.*, 2017). Portanto, no contexto da conectividade porto-cidade, importante destacar a necessidade de se revisarem as políticas portuárias em relação às políticas territoriais e urbanas.

Por fim, a integração social dos portos diz respeito à construção de uma cultura portuária/marítima e à compensação dos efeitos da expropriação das áreas públicas pelo setor portuário, por meio da facilitação do acesso da comunidade local ao porto e/ou à oferta de outros serviços aos cidadãos (navegação, oficinas de pesca, mercados locais de produtos marítimos, por exemplo). Em outras palavras, os altos custos e impactos associados à ocupação das áreas costeiras reforçam a necessidade de se abrirem essas áreas às necessidades da população.

García-Onetti *et al.* (2018) entendem que a questão da gestão das zonas costeiras necessita de abordagens integradas e de base ecossistêmica, que pressupõem o estabelecimento de um compromisso político consensual entre os diversos atores e instituições (públicas e privadas). Contudo, há ainda uma série de desafios que impedem o bom desempenho do que eles classificaram como Modelos de Gestão Integrada de Base Ecossistêmica (IEBM - *Models of Integrated and Ecosystem-Based Management*), de que se destacam: os custos excessivos relacionados à implementação desses modelos; a elevada quantidade de informação a ser considerada na tomada de decisão; a necessidade de sistemas legais e administrativos maduros; a conciliação de inúmeros interesses intra e intersetoriais; e a tradição de planeamento autônomo e setorizado. Além disso, embora alguns modelos conceituais venham a ser desenvolvidos para dar suporte à governança na administração pública, não se observam referências/exemplos de incorporação dos princípios dos IEBM por parte dos agentes privados, com destaque para o setor portuário.

Assim, ao confrontar os conceitos e visão tradicional da gestão ambiental empresarial com as abordagens mais recentes de IEBM, García-Onetti *et al.* (2018) desenvolveram um diagrama conceitual (baseado no modelo Força, Pressão, Estado, Impacto, Resposta – EEA, 1995) para auxiliar os agentes económicos a interagirem ativamente com os sistemas socio-ecológicos nos quais estão inseridos, que posteriormente foi aplicado ao caso real do porto de Imbituba no estado de Santa Catarina – Brasil. Os referidos autores partiram do princípio de que mudanças na visão tradicional dos tomadores de decisão poderiam melhorar a relação entre as ferramentas de gestão ambiental empresarial e a Gestão Costeira Integrada, em que se integra o conjunto dos IEBM.

García-Onetti *et al.* (2018) concluíram que a gestão ambiental portuária deve ser repensada no sentido: (i) da utilização de uma abordagem sistêmica e integrada de decisão, que entenda o porto como um sistema operacional integrado ao sistema costeiro e marítimo mais amplo, constituindo o chamado Sistema Portuário Socio-Ecológico, que considera os serviços originados de fontes antrópicas, a relação porto-cidade e o capital natural e os serviços ecossistêmicos; (ii) da priorização de uma gestão de inclusão ativa, baseada em princípios de integração em vez da integração passiva das exigências da administração pública; (iii) da consideração do comportamento humano e do sistema de governança local como fator que influencia o desempenho de suas atividades; (iv) da tomada de decisão que considere o porto como parte de um sistema costeiro-marítimo de governança, assumindo seu papel e corresponsabilidade nas iniciativas de IEBM desenvolvidas, atuando na busca por ambientes e ecossistemas saudáveis e resilientes; (v) da utilização de métodos analíticos e prospectivos de avaliação de alternativas, num contexto de gestão preventiva e compensação ecossistêmica, em contraposição aos tradicionais métodos de diagnóstico e análise ambiental, voltados para uma gestão reativa e de compensação ambiental; (vi) gestão da resiliência do sistema sócio-ecológico no lugar da gestão dos riscos para o setor e; (vii) compreensão do espaço como um recurso limitado e crítico.

A pesquisa bibliográfica demonstra uma certa congruência sobre o papel estratégico que a articulação da Gestão Ambiental Portuária com a Gestão Costeira Integrada, na busca pela sustentabilidade das atividades portuárias a médio e longo prazos. Nesse contexto, a

gestão da resiliência dos sistemas sócio-ecológicos, numa abordagem ecossistêmica, parece constituir um novo paradigma para o setor portuário, que por muito tempo se opôs às abordagens integradas de planeamento. Assim, os requisitos de boas práticas aqui propostos procuraram avaliar a capacidade das AALs de atuar de forma complementar às tradicionais ferramentas de gestão e controle das atividades portuárias – tanto as previstas pelas normas ISO, quanto àquelas relacionadas com a prevenção dos danos ambientais, como o licenciamento ambiental.

A proposta é complementar à gestão ambiental portuária, com procedimentos que possibilitem a construção e adoção de uma AAL estratégica, que atue no sentido: (i) da integração (intersetorial) das principais solicitações dos setores usuários dos recursos costeiros; (ii) da integração (espacial) do porto na cidade e no sistema territorial de transporte e; (iii) da governança do sistema sócio-ecológico-marítimo no qual o porto está inserido. Vale a pena salientar que, o termo "estratégica" diz respeito aos instrumentos de planeamento que atuam em escala geográfica e temporal mais amplas do que aquelas

Tabela 3. Requisitos de boas práticas para a elaboração da Agenda Ambiental Local.

Temáticas	Temas	Requisitos
Integração intersetorial	Participação e envolvimento público	1. Envolver os principais atores políticos e setores usuários da região costeira em todas as etapas de elaboração da Agenda Ambiental Local: do diagnóstico à comunicação e acompanhamento dos resultados.
	Planeamento Integrado	2. Para fins de diagnóstico e prognóstico, definir um escopo adequado à magnitude e significância das influências das atividades portuárias sobre a zona costeira.
		3. Identificar os conflitos entre os principais setores usuários dos recursos costeiros, procurando, sempre que possível, definir diretrizes para solucioná-los, por meio de ações integradoras e medidas de compatibilização da estratégia de desenvolvimento portuário com as características socioeconómicas e ambientais da região costeira.
		4. Identificar critérios comuns para o planeamento e utilização dos recursos naturais pelos diversos atores e setores usuários, considerando as limitações sócio-ecológicas da região costeira.
		5. Definir um método de acompanhamento dos resultados da Agenda Ambiental Local, apropriado à escala regional de planeamento, identificando responsabilidades, bem como os parâmetros a serem monitorados.
Integração espacial	Relação porto-cidade e sistema territorial de transporte	6. Integrar diretrizes de outros instrumentos municipais de planeamento e ordenamento territorial costeiro (Planos Diretores, Zonamento Ecológico-Económico Costeiro e Projeto Orla).
		7. Descrever o estado da conectividade intermodal do transporte e suas influências no transporte local e regional, identificando estratégias para lidar com potenciais conflitos.
	Infraestruturas sustentáveis	8. Avaliar a harmonia paisagística entre as instalações portuárias e as atividades socioculturais da envolvente.
		9. Avaliar o potencial de expansão das atividades portuárias, fomentando a adoção de tecnologias de baixo impacto ambiental e design localmente adaptado.
Governança territorial	Resiliência do sistema socioecológico-marítimo	10. Ponderar demandas sociais por serviços e atividades que possam ser oferecidas à comunidade na região portuária, propondo, dependendo do caso, o estabelecimento de novas atividades e/ou expansão das atividades existentes.
		11. Fomentar o compartilhamento de informações e/ou propostas de ação conjunta entre os portos nacionais, ou entre estes e os portos de outros países (redes portuárias de inovação colaborativa).
		12. Avaliar as oportunidades para estabelecimento ou ampliação de redes cooperativas costeiras de comunicação e difusão de conhecimento, via parcerias com a sociedade civil organizada, instituições de ensino e pesquisa, agências e órgãos dos setores público e privado.
	Integração governamental	13. Integrar as recomendações e diretrizes da Agenda Ambiental Portuária (âmbito nacional), procurando, sempre que possível compatibilizá-las com as diretrizes da Agenda Ambiental Local (âmbito regional).
		14. Analisar o quadro legal e institucional vigente, identificando os arranjos institucionais ou dispositivos regulamentares adicionais necessários ao bom desempenho da Agenda Ambiental Local.
	Articulação conhecimento - gestão	15. Definir programas de capacitação continuada, incluindo a comunidade local na prevenção da poluição e ação contingencial.
		16. Prever, para atores portuários específicos, programas de treinamento/ aprimoramento da capacidade técnica de manipulação e interpretação de dados em SIG.
		17. Estruturar, reestabelecer ou integrar num banco de dados pré-existente os produtos da Agenda Ambiental Local, para compilação e organização das informações necessárias à tomada de decisão sobre o acompanhamento das medidas implementadas.

utilizadas no planeamento ambiental de um único empreendimento e que, numa abordagem participativa e integrada (por vezes voluntária), possibilitam o estabelecimento de um pacto de ação conjunta entre os usuários dos recursos ambientais (costeiros). A tabela 3 apresenta os requisitos de boas práticas propostos, agrupados segundo o tema e a temática com os quais se relacionam. A escala de avaliação do nível de atendimento dos requisitos é apresentada na tabela 1 disponível em Informações de apoio - I.

3.2 Agenda Ambiental Local do Porto de Santos: avaliação global do seu potencial como instrumento regional de articulação entre a Gestão Ambiental Portuária e a Gestão Costeira Integrada

A aplicação dos 17 requisitos propostos à Agenda Ambiental Local (AAL) do Porto de Santos (Cunha *et al.*, 2014) revelou tratar-se de um instrumento de planeamento com alto desempenho em apenas 3 (três) requisitos; médio desempenho em 7 (sete) requisitos e; baixo desempenho em 7 (sete) requisitos (figura 1). O baixo desempenho num número considerável de requisitos, por si só, sugere a existência de lacunas importantes na atual versão da referida AAL, relacionadas com o seu potencial como instrumento de planeamento regional, capaz de articular a Gestão Ambiental Portuária com a Gestão Costeira Integrada.

Contudo, o médio desempenho da AAL do Porto de Santos em 7 (sete) requisitos evidencia que, muito embora não tenha atendido a totalidade dos requisitos propostos para o pleno desenvolvimento dos temas e temáticas relacionados, em pelo menos 5 (cinco) desses requisitos – requisitos 1, 2, 3, 4 e 6 –, o desempenho da AAL do Porto de Santos foi influenciado pela definição de um escopo inadequado à abordagem regional que lhe cabe. No contexto do presente artigo, a definição do escopo de planeamento constitui a etapa inicial nos processos de planeamento que, conforme Santos (2004), preveem a definição de uma estrutura organizacional que contemple os métodos de inquirição a serem empregados, a delimitação da área de estudo e a seleção das escalas de diagnóstico e prognóstico.

Assim, os resultados aqui obtidos sugerem que no caso da AAL do Porto de Santos, tanto a área de planeamento adotada (que deve refletir as interações e pressões sobre os sistemas costeiros) quanto a escala (que reflete o nível de detalhe da informação coletada) devem ser reavaliados. Embora nos itens Controle das emissões atmosféricas (Cunha *et al.,* 2014), Água de Lastro (Cunha *et al.*, 2014) e Gerenciamento de riscos e emergências químicas (Cunha *et al.*, 2014) a AAL consiga extrapolar os limites da área diretamente afetada pelas atividades portuárias, nos demais itens a sua abordagem é, por vezes, limitada ao perímetro do porto, com conteúdo mais próximo do que se espera de uma Agenda Ambiental Institucional.

A análise do desempenho da AAL do Porto de Santos no requisito 4, relacionado com a identificação de critérios comuns para o planeamento e uso dos recursos costeiros; requisito 6, relacionado à integração de diretrizes de outros instrumentos de planeamento e ordenamento territorial e costeiro; bem como no requisito 13, relacionado com a integração das diretrizes e demandas da Agenda Ambiental Portuária federal, permite outra constatação: a atual versão da AAL do Porto de Santos não desempenha totalmente o papel de instrumento regional e integrador, capaz de articular a Gestão Ambiental Portuária com a Gestão Costeira Integrada. A integração das diretrizes regionais referentes ao uso sustentável dos recursos costeiros, por meio de acordo estabelecido entre os diversos atores e instituições, é limitada pela ausência de critérios comuns, traduzidos em indicadores sócio-ecológicos capazes de balizar o planeamento e o uso futuro dos recursos por parte dos setores usuários. A articulação com a Gestão Costeira Integrada é insuficiente, na medida em que não fica evidente a atuação da AAL sobre questões identificadas por outros instrumentos de ordenamento territorial e gerenciamento costeiro ou, de outra forma, quais são os critérios que a AAL identifica como prioritários, a serem atendidos por outras estratégias de planeamento e uso dos recursos costeiros. Por fim, a complementaridade com a Agenda Ambiental Portuária definida no âmbito federal não fica clara, uma vez que não se pode identificar os mecanismos por meio dos quais a AAL do Porto de Santos atua, no âmbito regional, sobre as questões identificadas no âmbito nacional.

Considerando que, o custo excessivo, a necessidade de se recolher um grande número de informações, bem como a necessária resolução de conflitos de múltiplos interesses constituem fatores que podem limitar a adoção de estratégias integradas e de base ecossistêmica (García-Onetti *et al.,* 2018), principalmente em setores com tradição no planeamento setorial e autônomo, como parece ser o caso do setor portuário (Cunha *et al.*, 2006; Nebot *et al.,* 2017), entende-se como fundamental para as futuras revisões da AAL, a revisão do escopo dos estudos e avaliações realizadas. Nesse contexto, é oportuno destacar a influência que a ingerência política de setores específicos pode exercer no já desafiador processo de planeamento regional, favorecendo a adoção de áreas e escalas que conduzam a tomadas de decisão inapropriadas (Santos, 2004).

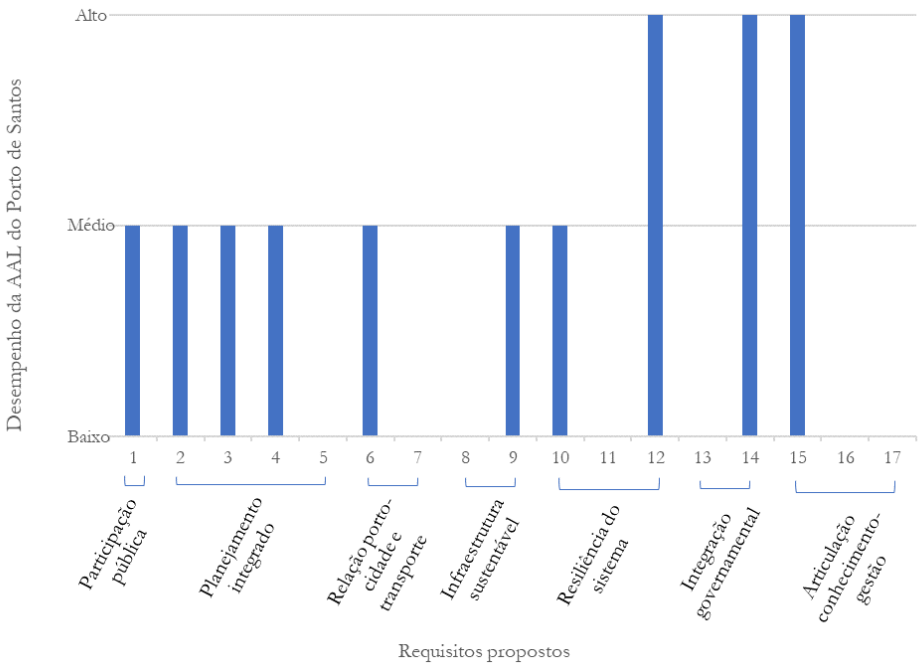


Figura 1. Desempenho da AAL do Porto de Santos nos requisitos propostos.

Por outro lado, a natureza dos requisitos nos quais a AAL alcançou alto desempenho – requisito 12, relacionado com o estabelecimento e/ou ampliação de redes cooperativas de comunicação e difusão do conhecimento; requisito 14, relacionado com o conhecimento do quadro legal e institucional, tendo em vista a identificação de novos arranjos e/ou dispositivos regulamentares adicionais e; requisito 15, relacionado com a capacitação continuada dos diversos atores, tendo em vista a prevenção da poluição e ação contingencial –, sugere que a AAL do Porto de Santos: (i) contribuiu para o fortalecimento das relações entre as autoridades locais, empresas e cidadãos, incorporando o princípio das parcerias institucionais (Marinsk *et al.*, 2012); (ii) propiciou maior compreensão das limitações do quadro legal e institucional vigente na região costeira, favorecendo a identificação de novos arranjos institucionais e normativos, adequados à proteção dos recursos costeiros e; (iii) atuou no fortalecimento da capacidade de recursos humanos na região costeira, mobilizando o conhecimento local por meio de abordagens participativas, estratégia recomendada por Eglington *et al.* (1998) e Puente-Rodríguez *et al.* (2015), em função da necessária compatibilização entre a preservação ecológica e o desenvolvimento socioeconómico da região costeira.

As lacunas evidenciadas pelos 7 (sete) requisitos nos quais a AAL do Porto de Santos obteve baixo desempenho – requisitos 5, 7, 8, 11, 13, 16, 17 – merecem especial atenção. No caso específico do requisito 5, relacionado com o método de acompanhamento das ações propostas no âmbito da AAL, importante ressaltar que ANTAQ (2011), ao definir uma estrutura mínima de conteúdo para as AALs, recomenda a definição de ações relacionadas com o gerenciamento da AAL, entre as quais se destacam: (i) a definição de parâmetros para avaliar o desempenho da agenda e; (ii) acompanhamento, monitoramento e ajustes periódicos dos parâmetros estabelecidos na agenda.

Para além disso, o monitoramento da qualidade ambiental da região costeira é um procedimento recomendado por diversos atores (Eglington *et al.*, 1998; Xue *et al.,* 2004; Marinsk *et al.*, 2012), fundamental para o acompanhamento de estratégias de cogestão adaptativa de recursos de usos comuns (Vivacqua *et al.,* 2009) em sistemas sócio ecológicos altamente complexos (Rebouças *et al.,* 2006), como o Estuário de Santos e São Vicente. Portanto, embora a proposta de desenvolvimento da AAL do Porto de Santos tenha emergido da necessidade de superação dos desafios relacionados com a dragagem para a manutenção das atividades portuárias (Cunha *et al.*, 2014), a abordagem regional, integrada e adaptativa deve ser priorizada, de forma que, a ausência de estratégias para o monitoramento das ações propostas constitui lacuna relevante.

Por sua vez, o desempenho da AAL do Porto de Santos no requisito 7, relacionado com a conectividade intermodal, sugere que, no âmbito da AAL, as influências do estado da infraestrutura de transporte na sustentabilidade das

atividades socioeconómicas da região costeira, foram tidas como irrelevantes. Em regiões onde a atividade portuária é economicamente preponderante e, a estrutura e dinâmica portuária possuem um grau de complexidade elevado, os impactos gerados exigem planeamento sistêmico e de longo prazo, capaz de absorver a convergência de produtos, investimentos, tecnologias e pessoas em momentos de expansão (Oliveira *et al.*, 2013). Assim, no cenário projetado de expansão das atividades do Porto de Santos, como o descrito pela AAL, a descrição e a análise do estado atual da conectividade intermodal é procedimento pertinente, que possibilitaria a previsão de impactos socioambientais sobre as diversas atividades socioeconómicas no estuário, bem como os entraves e os desafios logísticos à expansão das atividades no Porto de Santos.

Os outros requisitos nos quais a AAL do Porto de Santos apresentou um baixo desempenho - requisitos 8, 11, 13, 16 e 17 – dizem respeito às temáticas mais atuais na discussão sobre a articulação entre a Gestão Ambiental Portuária e a Gestão Costeira Integrada. Enquanto Barston (1994) tratou de temas como os princípios da melhor tecnologia disponível, da precaução e da cooperação institucional, discutindo o papel das normas ISO e da Avaliação de Impactos Ambientais, as publicações mais recentes ampliam a discussão para a questão de uma abordagem proativa de corresponsabilização do setor portuário pela gestão sustentável dos bens de uso comum nas regiões costeiras (Marinsk *et al.*, 2012; Puente-Rodríguez *et al.*, 2015; Nebot *et al.*, 2017; Garcia-Onetti *et al.*, 2018). É nesse contexto que surgem as preocupações com temas como a sustentabilidade das infraestruturas portuárias, a regionalização do porto, a articulação entre o conhecimento e a gestão e, com o papel da Avaliação Ambiental Estratégica no (re) planeamento das atividades económicas na zona costeira.

No caso da AAL do Porto de Santos, embora sejam recomendadas a realização de Avaliação Ambiental Estratégica para o planeamento das atividades de dragagem do estuário de Santos e de São Vicente e a articulação do PDZP a esse processo, observa-se que (figura 2), os demais temas preconizados pela literatura recente não foram contemplados (desempenho insatisfatório), ou foram contemplados de forma bastante incipiente (desempenho medianamente satisfatório). Tais resultados contribuíram para que a AAL do Porto de Santos apresentasse um desempenho insatisfatório nas 3 (três) temáticas avaliadas (figura 3): (i) Governança; (ii) Integração espacial e; (iii) Integração intersetorial.

Por fim, entre as 3 (três) temáticas avaliadas, foi na temática da Governança que a AAL do Porto de Santos obteve o melhor desempenho, que, contudo, foi fortemente influenciado pelo desempenho insatisfatório da mesma no tema "Articulação conhecimento-gestão", que contempla os requisitos 16 e 17, relacionados com a capacitação técnica de atores portuários para a manipulação de dados em

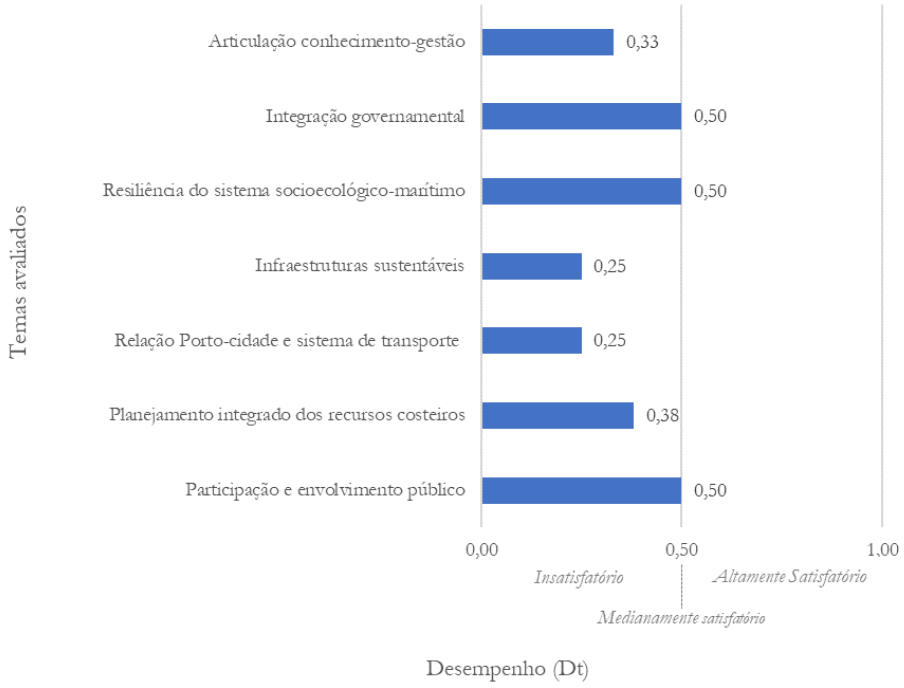


Figura 2. Desempenho da AAL do Porto de Santos nos temas avaliados

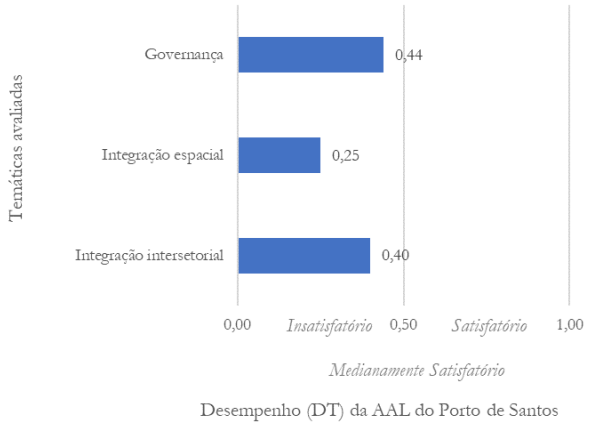


Figura 3. Desempenho da AAL do Porto de Santos nas temáticas avaliadas.

SIG e à organização das informações necessárias para a decisão numa base de dados acessível ao público, respectivamente. Considerando-se que tais requisitos reforçam a importância de uma abordagem sistêmica no tratamento dos problemas portuários e costeiros, onde a manipulação de dados e informações em diferentes escalas, bem como o monitoramento são procedimentos fundamentais (Marinsk *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2013), pode-se afirmar que, embora a AAL traga indícios de uma preocupação com a questão da resiliência do sistema sócio-ecológico e com a articulação intergovernamental (temas da temática "governança" cujos desempenhos foram medianamente satisfatório), há ainda a a necessidade de estratégias de planeamento de abordagem sistêmica e integrada para atividades portuárias no Estuário de Santos e São Vicente, capazes de articular a gestão ambiental portuária com a gestão costeira integrada.

4. CONCLUSÕES

Iniciativas de Gestão Costeira Integrada em todo o mundo têm encontrado uma série de desafios, relacionados com modelos de planeamento integrado e com a capacidade de articulação e cooperação intersetorial. Nesse sentido, dado o caráter estratégico do setor portuário no Brasil, cuja inserção da variável ambiental no processo de planeamento do uso e apropriação dos recursos naturais e costeiros é preocupação relativamente recente, o presente artigo partiu da premissa de que a Gestão Ambiental Portuária deve ser também estratégica, planejando o desenvolvimento portuário no âmbito da Gestão Costeira Integrada. Dessa forma, foram propostos um conjunto de 17 requisitos de boas práticas a serem observados na elaboração das Agendas Ambientais Locais de abordagem regional, participativa e integrada, capazes, portanto, de desempenhar um papel importante de instrumento de planeamento ambiental e de articulação entre a Gestão Ambiental Portuária e a Gestão Costeira Integrada.

Os requisitos propostos foram aplicados à AAL do Porto de Santos/SP – Brasil, localizado no Estuário de Santos e São Vicente, ecossistema de grande produtividade biológica, fundamental para a renovação dos recursos costeiros regionais que, contudo, se apresenta extremamente vulnerável face às intervenções sofridas ao longo do processo de ocupação do litoral e da região metropolitana do Estado de São Paulo. Os resultados demonstraram tratar-se de proposta que apresenta desempenho um insatisfatório nas três temáticas de análise definidas: governança territorial; integração intersetorial e; integração espacial, evidenciando sua incapacidade de articular a Gestão Ambiental Portuária à Gestão Costeira Integrada. Assim, embora a AAL traga indícios de certa preocupação com a questão da resiliência do sistema sócio-ecológico e com a articulação intergovernamental, há ainda uma lacuna no que diz respeito às estratégias de planeamento de abordagem efetivamente regional, sistêmica e integrada para atividades portuárias no Estuário de Santos e São Vicente.

Nesse sentido, para as futuras revisões da AAL do Porto de Santos sugere-se: (i) a revisão do escopo das avaliações realizadas, reavaliando-se tanto a área de estudo como as escalas de diagnóstico e prognóstico adotadas, possibilitando a identificação de critérios sócio-ecológicos comuns, no âmbito regional, para o planeamento e utilização dos recursos naturais pelos diversos atores e setores usuários do sistema estuarino de Santos e São Vicente; (ii) o diagnóstico e análise das influências do estado da infraestrutura de transporte na sustentabilidade das atividades socioeconómicas da região costeira, aproximando a AAL de outros instrumentos de planeamento setorial, como o próprio Plano de Desenvolvimento e Zonamento Portuário e; (iii) a definição de métodos de monitoramento continuado, tendo em vista o acompanhamento dos resultados obtidos com a AAL, possibilitando a adaptação e melhoria contínua do sistema de gestão ambiental dos recursos comuns, na região costeira. Entende-se que tais procedimentos contribuiriam para a construção de uma AAL efetivamente regional e integrada, de abordagem sistêmica e adaptativa para com as questões socioambientais e económicas do sistema estuarino de Santos e São Vicente.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Transportes Aquaviários (Brasil) – ANTAQ (2011) – Agendas Ambientais Portuárias. 64p., ANTAQ, Brasília, Brasil. Disponível em: http://web.antaq.gov.br/portalv3/pdf/CARTILHAAgendasAmbientaisPortuarias.pdf

Barragán Muñoz, J.M. (coord.) (2010) - *Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un diagnóstico. Necesidad de Cambio*. 380 p., Red IBERMAR (CYTED), Cádiz, Espanha. ISBN: 978-84-693-0355-9.

Barston, R. P. (1994) - International Dimensions of Coastal Zone Management. *Ocean & Coastal Management*, 23 (1): 93-116. DOI: 10.1016/0964-5691(94)90076-0.

Carvalho, D. D. F.; Vasconcelos, F. N.; Rosa, T. S. (2018) - A construção de um regime internacional ambiental para os portos. Revista Conjuntura Austral, 9(45): 88-106. DOI: 10.22456/2178-8839.78393

Castro, S. M.; Almeida, J. R. (2012) – Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão. Sociedade & Natureza, 24(3): 519-534. DOI: 10.1590/S1982-45132012000300011

Cicin-Sain, B., Knecht, R.W. (1998). *Integrated Coastal and Ocean Management Concepts and Practices*, Island Press, Washington DC, EUA. ISBN: 1559636041.

Consultoria Paulista. (2006) Estudo de conflitos legais e socioambientais para ocupação do solo em área destinada à atividade portuária. Santos, 2006.

Companhia Docas do Estado de São Paulo – CODESP (2006) – Plano de Desenvolvimento e Zonamento do Porto de Santos. 179p. CODESP, Santos, Brasil. Disponível em: http://www.portodesantos.com.br/wp_porto/wp-content/uploads/2018/02/PDZPS2006.pdf

Cunha, I. A. (2006) - Fronteiras da gestão: os conflitos ambientais das atividades portuárias. *Revista de Administração Pública (RAP)*, 40(6):1019-1040. DOI: 10.1590/S0034-76122006000600005.

Cunha, I. A. *et al.* (2014) – *Agenda Ambiental do Porto de Santos*. 212p., Editora universitária Leopoldianum, Santos, Brasil. ISBN: 978-85-60360-30-7

Diederichsen, S. D. *et al.* (2013) - Gestão costeira no município de Florianópolis, SC, Brasil: Um diagnóstico. *Revista de Gestão Costeira Integrada,* 13(4): 499-512. DOI: 10.5894/rgci425

Eglington, A.; Israel, R.; Vartanov, R. (1998) - Towards sustainable development for the Murmansk region. *Ocean & Coastal Management,* 41 (2-3): 257-271. DOI: 10.1016/S0964-5691(98)00068-4

Elsevier (2017) - Scopus Content Coverage Guide. 28p., ELSEVIER, Amsterdã, Holanda. Disponível em: https://www.elsevier.com/?a=69451

Galvão, T. F.; Pereira, M. G. (2014) - Revisões sistemática da literatura: passos para sua elaboração. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, 23(1):183-184. DOI: 10.5123/S1679-49742014000100018

García-Onetti, J.; Scherer, M. E. G.; Barragán, J. M. (2018) - Integrated and ecosystemic approaches for bridging the gap between environmental management and port management. *Journal of Environmental Management*, 206: 615-624. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.11.004

Gough, D.; Oliver, S.; Thomas, J. (2012) Introducing systematic reviews. In: Gough, D.; Oliver, S.; Thomas, J. (Eds). An introduction to systematic reviews. 352p Londres: SAGE Publications,Reino Unido. ISBN 978-1-4739-2942-5.

Granzieira, M. L. M. (2014) - Direito Ambiental – 3ª Edição – Revista e Atualizada. 808p., Editora Atlas S.A., São Paulo, Brasil. ISBN: 978-85-224-8439-3.

Greenhalgh, T. (1997) – Papers that summarize other papers (systematic reviews and meta-analyses). BMJ, 315(1), 672-3. DOI: 10.1136/bmj.315.7109.672

Jacobi, P. (2005) - Governança institucional de problemas ambientais. *Política & Sociedade,* 4(7): 119:137. DOI: 10.5007/%25x

Kitzmann, D.; Asmus M. (2006) - Gestão ambiental portuária: desafios e possibilidades. *Revista de Administração Pública (RAP)*, 40(6): 1041-1060. DOI: 10.1590/S0034-76122006000600006

Klumb-Oliveira, L. A.; Souto, R. D. (2015) - Integrated coastal management in Brazil: analysis of the National Coastal Management Plan and selected tools based on international standards. *Journal of Integrated Costal Zone Management,* 15(3):311-323. DOI: 10.5894/rgci531

Lourenço, A. V.; Asmus, M. (2015) - Gestão Ambiental Portuária: fragilidades, desafios e potencialidades no porto do Rio Grande, RS, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada,* 15(2):223-235. DOI: 10.5894/rgci498

Marinsk, J.; Floqi, T.; Droumeva, G.; Branca, T.; Vatralova, A. (2012) - Environmental Improvement with additional instruments for environmental protection in port areas. Geo-Eco-Marina (ISSN: 12246808), 18: 173-178, Bucareste, Romêmnia. Disponível em: https://www.geoecomar.ro/website/publicatii/Nr.18-2012/13_marinski_BT.pdf

Ministério da Infraestrutura - MI (2018) – Plano Mestre do Complexo Portuário de Santos -Sumário Executivo. 120p. MI, Brasília, Brasil. Disponível em: http://www.infraestrutura.gov.br/images/SNP/planeamento_portuario/planos_mestres/sumario_executivo/SSZ_SumExec_p.simples_270219.pdf

National Institute of Meteorology and Hydrology at Bulgarian Academy of Sciences – NIMH-BAS (2012) - Project ECOPORT 8 ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF TRANSBORDER CORRIDOR PORTS – final report. NIMHS-BAS, Bulgária. Disponível em:

Nebot, N.; Rosa Jiménez, C.; Nibot, R. P.; Perea-Medina, B. (2017) - Challenges for the future of ports. What can be learnt from the Spanish Mediterranean ports? *Ocean & Coastal Management,* 137 (1): 165 – 174. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2016.12.016

Nicolodi, J. L.; Petermann, R. M. (2010) - Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 10(2): 151-177. DOI: 10.5894/rgci206

Oliveira, D. S.; Domingues, M. V. D. R.; Asmus, M. L.; Abdallah, P. R. (2013) - Expansão Portuária, Desenvolvimento Municipal e Alterações Ambientais no Brasil: Desafios para a gestão costeira. *Revista de Gestão Costeira Integrada,* 13(1): 79-87. DOI: 10.5894/rgci356

PACKER, A.L. *et al.*, orgs. SciELO (2014) – 15 Anos de Acesso Aberto: um estudo analítico sobre Acesso Aberto e comunicação científica. 188 p., UNESCO, Paris, França. ISBN 978-92-3701-237-6. Disponível em: 10.7476/9789237012376.

Puente-Rodríguez, D.; Giebels, D.; De Jonge, V. N. (2015) - Strengthening coastal zone management in the Wadden Sea by applying 'knowledge-practice interfaces'. *Ocean & Coastal Management,* 108: 27-38. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.05.017

Rebouças, G. N.; Filardi; A. C. L.; Vieira, P. F. (2006) – Gestão integrada e participativa da pesca artesanal: potencialidades e

obstáculos no litoral de Santa Catarina. Ambiente & Sociedade, 9(2): 83-104. DOI: 10.1590/S1414-753X2006000200005

Santos, R. F. (2004) – Planeamento Ambiental – teoria e prática. 184p. Oficina de textos, São Paulo, Brasil. ISBN 978-85-86238-62-8.

São Paulo (Estado)- Secretaria de Meio Ambiente – SMA (2013) - Zonamento Ecológico-Económico – setor costeiro da Baixada Santista. 104 p. SMA, São Paulo, Brasil. (ISBN 978-85-8156-013-7). Disponível em: http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cpla/2011/05/ZEE_PUBLICACAO.pdf

Scherer, M.; Sanches, M.; Negreiros, D. H. (2010) – Gestão das zonas costeiras e as políticas públicas do Brasil: um diagnóstico. In: Barragán Muñoz, J.M. (coord.), *Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un diagnóstico. Necesidad de Cambio,* pp. 293-329, Red IBERMAR (CYTED), Cádiz, Espanha. ISBN: 978-84-693-0355-9. Disponível em: http://www.ibermar.org/documentos/publicaciones/FASE%20I.pdf

Silva, J. S.; Farias Filho, M. S. (2013) - Instrumentos legais de prevenção de impactos ambientais na zona costeira: estratégias integradas de gestão territorial. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental – REMEA*, 32(2): 7-26. DOI: 10.14295/remea.v32i2.4742

Silva, O. R.; Gomes, M. B. M. (2012) – Impactos das atividades portuárias no sistema estuarino de Santos. RMS - Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN: 2318-3233), 2(2): 64-81, São Paulo, Brasil. Disponível em: http://www.revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/186

Souza, C. R. G. (2009) – A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 9(1): 17-37. DOI: 10.5894/rgci147

Vasconcelos, F. N. (2014) - Os Desafios da Legislação Ambiental para os Portos: A Interface Ambiental no Porto de Vitoria/ES. In: 3o Seminário Nacional sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais ao parcelamento – a dimensão ambiental da cidade. Belém, Brasil pp. 1-20. Disponível em: http://anpur.org.br/app-urbana-2014/anais/ARQUIVOS/GT2-100-15-20140510164720.pdf

Vivacqua, M., Santos, C. R., Vieira, P. F. (2009) - Governança territorial em zonas costeiras protegidas: uma avaliação exploratória da experiência catarinense. *Desenvolvimento e Meio Ambiente,* 1(19): 159-171. DOI: 10.5380/dma.v19i0.13759

Xue, X.; Hong, H.; Charles, A. T. (2004) - Cumulative environmental impacts and integrated coastal management: the case of Xiamen, China. *Journal of Environmental Management*, 71(1): 271–283. DOI: 10.1016/j.jenvman.2004.03.006.

Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada 20(3):197-209 (2020)
http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n337_Bio.pdf | DOI:10.5894/rgci-n337

Revista de Gestão Costeira Integrada
Journal of Integrated Coastal Zone Management

Indicadores de vulnerabilidade de erosão costeira: Um estudo de caso no Norte de Portugal

Ana Bio[@ 1], José Alberto Gonçalves[2], José Pinho[3], Luís Vieira[4], José Vieira[5], Gueorgui Smirnov[6], Luísa Bastos[7]

[@] Correesponding author: anabio@ciimar.up.pt
[1] CIIMAR – Universidade do Porto
[2] CIIMAR & Fac. Ciências, Universidade do Porto, jagoncal@fc.up.pt
[3] Universidade do Minho, jpinho@civil.uminho.pt
[4] Universidade do Minho, luis.vasquez.vieira@gmail.com
[5] Universidade do Minho, jvieira@civil.uminho.pt
[6] Universidade do Minho, smirnov@math.uminho.pt
[7] CIIMAR & Fac. Ciências, Universidade do Porto, lcbastos@fc.up.pt

RESUMO: A gestão costeira enfrenta grandes desafios relacionados com a crescente vulnerabilidade resultante do impacto de atividades antrópicas como o turismo, urbanização crescente e instalação de infraestruturas, ao que se associa um crescente risco decorrente dos impactos de alterações climáticas. Uma gestão costeira integrada requer, assim, a avaliação da vulnerabilidade e dos riscos costeiros em cenários de alterações climáticas, relacionados com a subida do nível médio do mar ou o aumento de frequência e intensidade de eventos extremos. Neste trabalho apresenta-se a metodologia seguida no âmbito do projeto MarRisk, para a determinação e quantificação de diversos indicadores morfométricos e morfodinâmicos de vulnerabilidade, baseada na classificação de praias e em modelos digitais de terreno e superfície, obtidos a partir de levantamentos de LiDAR e de fotografia aérea, de 2011, 2017 e 2018. Os resultados obtidos para a costa norte de Portugal, entre Espinho e Caminha são apresentados e discutidos. As metodologias aplicadas permitiram obter imagens de elevada resolução (ortofotos) e indicadores morfométricos (posição da linha de praia, largura e volume de praias e dunas, declive da face da praia) e morfodinâmicos (variações da posição da linha de praia e do volume observadas entre levantamentos) para a área de estudo. Observou-se, em média para toda a área de estudo, estabilidade da linha de praia entre 2011 e 2017, mas uma regressão de mais de 17 m entre 2017 e 2018, o que pode, em parte, dever-se a efeitos sazonais. Quanto ao volume do sistema praia/dunas, observou-se uma (aparente) acentuada acreção de 10% entre 2011 e 2017, e erosão de 2% entre 2017 e 2018. Contudo, demonstramos que o modelo digital de terreno obtido a partir do levantamento com LiDAR não é diretamente comparável com os modelos digitais de superfície produzidos no âmbito do projeto, e que o aumento de volume observado é, pelo menos em parte, devido à diferença de metodologias e não a uma real acreção. Sugere-se a implementação de um plano de monitorização preventivo, baseado em métodos normalizados definidos a partir do conhecimento adquirido relativo às dinâmicas instaladas nesta região.

Palavras-chave: Vulnerabilidade Costeira, Erosão Costeira, Riscos Costeiros, Morfodinâmica.

** Submission: 7 JAN 2020; Peer review: 1 MAR 2020; Revised: 7 MAY 2020; Accepted: 7 MAY 2020; Available on-line:26 AGO 2020*

ABSTRACT: Coastal management is challenging given the increasing vulnerability due to impacts of human activities, like tourism, growing settlements and development of infrastructures, associated with the growing risk of climate change impacts. Integrated Coastal Zone Management thus requires an evaluation of coastal vulnerability and risks for climate change scenarios, which predict sea-level rise and an increase in the frequency and intensity of extreme events. In this work, the methodology used to quantify several morphometric and morphodynamic vulnerability indicators, in the scope of the MarRisk project, is presented. Indicators are determined based on beach classification and on digital terrain and surface models, derived from LiDAR and aerial photography survey data, collected in 2011, 2017 and 2018. Results obtained for the Northern-Portuguese coast are presented and discussed. The applied methodology resulted in high-resolution imagery (orthophotos) and in morphometric (shoreline position, beach and dune width and volume, shoreface slope) and morphodynamic (changes of shoreline position and beach/dune volume between surveys) indicators for the study area. On average, and for the whole area studied, the coastline was stable between 2011 and 2017, but retreated more than 17 m between 2017 and 2018, which can be partly attributed to seasonal effects. The beach/dune volume (apparently) increased by 10% between 2011 and 2017 and decreased by 2% between 2017 and 2018. However, we found that the digital terrain model (DTM) based on the LiDAR data cannot be directly compared to the digital surface models (DSM) obtained during the project, as at least part of the observed increase in volume is due to differences in the method and not to real accretion. The implementation of a preventive monitoring plan is suggested, which should use normalized methods, defined according to the knowledge acquired about the dynamics established in the region.

Keywords: Coastal Vulnerability, Coastal Erosion, Coastal Risks, Morphodynamics.

1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos indicam que, globalmente, a erosão e a inundação constituem presentemente e no futuro os maiores perigos para as zonas costeiras (Nicholls *et al.,* 2007; Nicholls 2010). Cerca de um quarto da costa arenosa mundial encontra-se em erosão, ameaçando populações e ecossistemas costeiros e causando a perda de território e prejuízos económicos (Luijendijk 2018). Consequentemente, a erosão costeira e o risco de inundação têm sido uma preocupação crescente dos gestores de zonas costeiras (*e.g.* Neumann *et al.,* 2015; Antonioli *et al.,* 2018; Forzieri *et al.,* 2018; Harrison *et al.,* 2019), particularmente tendo em conta os potenciais efeitos das alterações climáticas (IPCC 2007, 2014). Efeitos previstos, como o aumento do nível médio da água do mar (NMM) e a intensificação e o aumento de frequência de tempestades, têm o potencial para agravar a situação já presentemente preocupante (Vitousek *et al.,* 2017). Tendo em conta que um quinto da população europeia vive a menos de 10 km de distância da costa (EEA 2006, 2013), muitas vezes em zonas pouco elevadas, estima-se que 13 milhões de pessoas seriam afetadas por um aumento do NMM em 1 m. É, portanto, essencial avaliar vulnerabilidades e entender dinâmicas costeiras, para um processo de decisão e planeamento bem fundamentado e uma gestão integrada sustentável, com aplicação das estratégias de gestão de risco, e das medidas de mitigação e proteção mais adequadas para a situação local.

O presente trabalho insere-se no projeto MarRisk (http://www.poctep.eu/pt-pt/2014-2020/marrisk) que visa assegurar um crescimento inteligente e sustentável para zonas costeiras no norte de Portugal e na Galiza, aumentar a resiliência aos potenciais impactos de alterações climáticas e melhorar a resposta a desastres naturais e antrópicos. Neste projeto, vulnerabilidade e riscos costeiros relacionados com as alterações climáticas foram estudados, tendo sido possível definir vários indicadores morfométricos e morfodinâmicos relacionados com a vulnerabilidade costeira face a riscos de erosão, galgamento e inundação.

A avaliação de riscos costeiros é geralmente baseada em indicadores derivados de caraterísticas físicas, ou morfológicas, do sistema costeiro e dos mecanismos que o afetam, tal como a agitação marítima (Carapuço *et al.*, 2016; Nguyen *et al.*, 2016). Indicadores de vulnerabilidade de erosão e inundação podem ser morfométricos (baseados em declive, elevação, largura de praias e dunas, volume sedimentar) e morfodinâmicos (*e.g.*, movimento da linha de costa ou de praia, e balanços sedimentares), refletir outras caraterísticas topográficas (*e.g.*, descontinuidades nas dunas, presença de sistemas fluviais), ou considerar o efeito da vegetação dunar ou impactos de tempestades (Aucelli *et al.,* 2018; Eichentopf *et al.,* 2019). Ferreira *et al.* (2017), que estudaram os efeitos de tempestades nas zonas costeiras, propõem a utilização de indicadores hidrodinâmicos e morfodinâmicos baseados em processos que relacionam o impacto das tempestades com a morfodinâmica costeira, incluindo a dinâmica da linha de costa e das dunas, e a erosão vertical.

Indicadores morfométricos e morfodinâmicos, obtidos a partir de medições repetidas no terreno, geralmente em

perfis perpendiculares à costa (Eichentopf *et al.,* 2019; Jimenez *et al.,* 2016), são atualmente fáceis de obter. Com o desenvolvimento de técnicas de deteção remota, a observação e caraterização de áreas costeiras tornou-se muito mais abrangente e eficiente. Levantamentos com sensores óticos, através de fotografia aérea (Aucelli *et al.,* 2018; Johnson *et al.,* 2015; Gonçalves *et al.,* 2018) ou sistemas terrestres (Bio *et al.,* 2015), ou por radar (LiDAR) (*e.g.* Antonioli *et al.,* 2017; Nijland *et al.,* 2017; Mauff *et al.,* 2018), a partir de satélites, aviões ou drones, permitem obter modelos (de menor ou maior resolução) para toda a morfologia da praia. Isso facilita a monitorização, ou seja, a obtenção de séries temporais de observações necessárias para a avaliação da dinâmica instalada.

No presente estudo analisaram-se dados de um levantamento nacional aéreo com sensor LiDAR (de 2011) e de dois levantamentos regionais de fotografia aérea (2017 e 2018). O objetivo foi estabelecer uma metodologia para a extração e quantificação de indicadores morfométricos e morfodinâmicos a partir de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de Superfície (MDS) e avaliar a aplicabilidade e possíveis limitações no uso desses dados. O trabalho focou-se em indicadores de erosão baseados na linha de praia e no volume sedimentar das praias no Norte de Portugal.

2. ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho incidiu sobre a costa Atlântica entre Espinho e Caminha, no norte de Portugal (Fig. 1), com uma extensão de cerca de 90 km. A costa Norte-Atlântica Portuguesa apresenta uma morfologia dinâmica, sobretudo devido ao clima oceânico altamente energético, com alturas de onda significativa ao largo entre 2 m e 3 m, e períodos de onda entre 8 s e 12 s. A morfologia é ainda localmente afetada por intervenções humanas, incluindo urbanizações e estruturas de proteção costeira (esporões e quebra-mares) que alteram as correntes e a direção das ondas incidentes, gerando padrões locais de erosão ou acreção. A zona estudada apresenta tipologias de costa variadas, incluindo alguns trechos altamente dinâmicos e vulneráveis à erosão (*e.g.*, Moledo, Vila Praia de Âncora, Amorosa, Rio de Moinhos, Esposende, Ofir e Vila Chã).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Levantamentos e Modelos Digitais

Foram realizados dois levantamentos baseados em fotografia aérea, um em Novembro de 2017 e outro em Maio de 2018. Os levantamentos foram efetuados a partir de uma pequena aeronave, equipada com uma câmara digital fotogramétrica de alta resolução (Vexcel UltraCam Falcon, 9420×14430 pixéis), com voos a cerca de 1900 m de altitude, ao longo da costa norte-portuguesa entre Gaia e Caminha (ca. 77 km) em 2017 e entre Espinho e Caminha (ca. 90 km) em 2018, cobrindo uma faixa terrestre de aproximadamente 1 km de largura (Fig. 1). A essa altitude a resolução (tamanho do pixel) no terreno é de aproximadamente 13 cm. As fotografias foram recolhidas numa faixa única, com sobreposição de 80%, de modo a permitir a análise fotogramétrica e a extração do Modelo Digital de Superfície (MDS) (Gonçalves *et al.,* 2018).

As imagens foram diretamente georreferenciadas a partir do sistema GNSS/INS a bordo da aeronave, utilizando-se para as observações GNSS o modo de posicionamento relativo em pósprocessamento. Para cada fotografia a posição do centro de projeção da câmara e os ângulos atitudinais (inclinações nos três planos) foram registados. Apesar da elevada precisão dessa informação, foram utilizados também alguns pontos de apoio levantados no terreno, sobretudo em zonas urbanas, que foram utilizados para recalcular os parâmetros da orientação externa das fotografias aéreas, corrigindo tendências sistemáticas, sobretudo nos ângulos de atitude (Gonçalves *et al.,* 2011).

MDS com 0,5 m de resolução foram obtidos automaticamente, a partir de imagens sobrepostas, com base em pontos correlacionados, usando o *software* Agisoft Photoscan (Agisoft 2018) (Fig. 2). É habitual aplicar-se uma filtragem ao MDS, de forma a transformá-lo num modelo digital do terreno (MDT), mas uma vez que nos locais em estudo praticamente não existe vegetação ou edificado, optou-se por não o fazer, mantendo-se assim o MDS. Criaram-se, ainda, ortomosaicos das fotografias aéreas, com uma resolução no terreno normalizada para 12,5 cm.

A fim de avaliar a morfodinâmica de médio prazo, analisou-se também o Modelo Digital de Terreno (MDT) obtido a partir do levantamento nacional efetuado com tecnologia LiDAR em Novembro/Dezembro de 2011 (DGT 2018), numa parceria entre o Instituto Geográfico Português (IGP), Direção-Geral do Território (DGT), e o INAG (Instituto da Água, I. P.), e disponibilizado com uma resolução de 1 m numa faixa costeira terrestre de 600 m de largura (Fig. 2). Este modelo foi validado, tendo, de acordo com os autores (APA, I. P. e DGT), um erro médio quadrático de 0,154 m, com 90% dos pontos de controlo a apresentarem um desvio <0,26 m.

3.2 Indicadores

Com base nas fotografias aéreas, delimitou-se a área de estudo, incluindo apenas a parte emersa da costa,

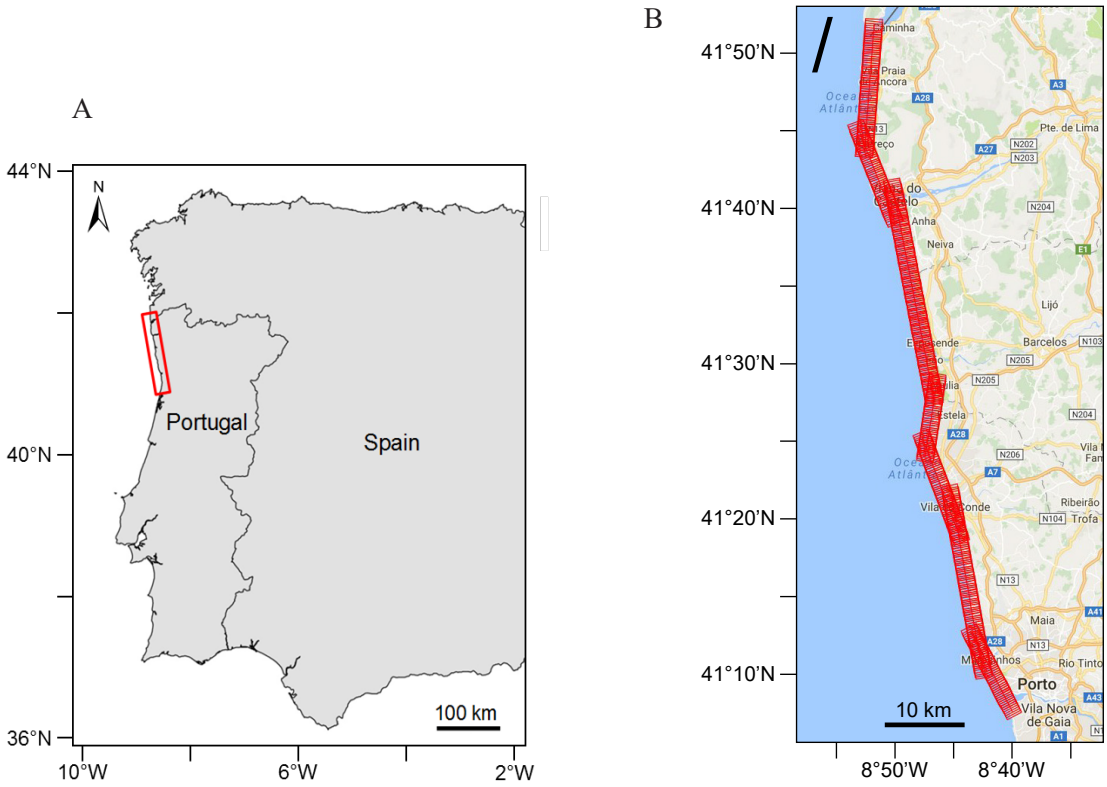


Figura 1. Localização da área de estudo no norte de Portugal (A) e plano de voo do levantamento de Novembro de 2017 (B).

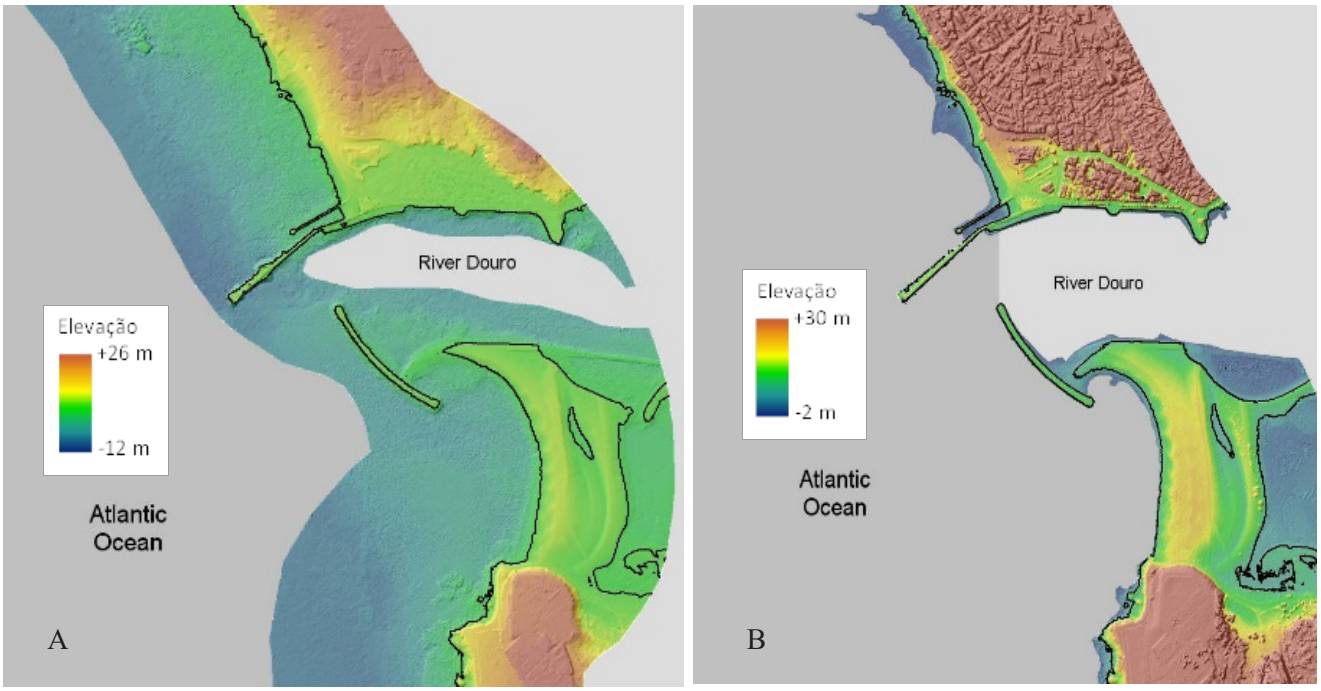


Figura 2. Exemplos do MDT obtido com LiDAR em 2011 (A) e do MDS obtido em 2017 (B), com elevação referente ao NMM.

nomeadamente praias e sistemas dunares. A fim de distinguir entre trechos mais ou menos vulneráveis nas várias divisões administrativas, a costa foi previamente caracterizada, com observações *in situ* e a partir de imagens aéreas (ortomosaicos), e dividida em segmentos delimitados pelas freguesias e de acordo com as tipologias de costa identificadas na área de estudo. Delimitaram-se, assim, diferentes segmentos: totalmente rochosos, seguidamente considerados como sendo do Tipo 1; arenosos com afloramentos rochosos, Tipo 2; compostos por praias de seixo com presença de afloramentos rochosos, Tipo 3; e predominantemente arenosos, Tipo 4. Obtiveram-se 87 segmentos comuns aos três levantamentos, 21 do Tipo 1, 41 do Tipo 2, 3 do Tipo 3 e 22 do Tipo 4, distribuídos por 34 freguesias.

No âmbito do projeto MarRisk consideraram-se vários indicadores relacionados com a vulnerabilidade e os riscos de erosão, galgamento e inundação costeiros, definidos a partir da geomorfologia, da ocupação do terreno (incluindo a vegetação dunar, ou falta dela, áreas cultivadas, florestadas ou urbanizadas) e intervenções humanas, tais como estruturas de proteção e defesa (*e.g.*, molhes, quebra-mares e enrocamentos). Este trabalho foca-se apenas nos seguintes indicadores morfométricos e morfodinâmicos: posição da linha de praia e sua dinâmica; volume da duna e da praia e sua dinâmica; e declive da face da praia. Os indicadores foram extraídos do MDT (2011) e dos MDS (2017 e 2018), num Sistema de Informação Geográfica (SIG) construído para o efeito recorrendo ao programa ArcGIS versão 10.6.1. Todas as análises foram realizadas de modo agregado para a área de estudo e para os segmentos determinados pelas 34 freguesias abrangidas e os 4 tipos de costa considerados.

Como *proxy* para a linha de praia, considerou-se a cota de 1,05 m acima do nível médio do mar (NMM de Cascais 1938), correspondente ao nível médio de preia-mar em marés vivas (calculado com base numa série temporal de 19 anos de dados do marégrafo de Aveiro; Lopes 2016). Para determinar o avanço ou recuo da linha de praia, calculou-se a distância média entre linhas de praia obtidas para os diferentes levantamentos, nos diferentes segmentos da área de estudo. A deslocação dessa linha foi determinada calculando as áreas entre linhas de levantamentos sucessivos, consideradas negativas se representarem uma regressão e positivas se representarem um avanço em direção ao mar, e dividindo essas áreas pelo comprimento médio das linhas. Obtiveram-se assim para cada segmento distâncias médias entre linhas, que constituem estimativas do avanço ou recuo da linha de praia entre levantamentos.

A linha de praia foi também utilizada para a determinação da orientação de cada segmento. Este indicador é importante para a avaliação do impacto da agitação marítima, correntes costeiras e a ação do vento nas praias arenosas, sendo ainda útil para a definição de perfis perpendiculares à costa em cada segmento. A linha de praia extraída de cada um dos MDS foi simplificada usando o algoritmo de Douglas-Peucker (ArcGIS Cartography Tools), com tolerância máxima de 25 m. Visto que a orientação da praia pode oscilar ao longo do tempo, a orientação dos segmentos e a consequente localização dos perfis perpendiculares foram apenas definidos a partir dos dados do levantamento de 2011, mantendo-se nas análises realizadas para os levantamentos posteriores. Traçou-se um perfil central em cada segmento, perpendicular à costa, e calculou-se o declive da praia adotando-se um modelo linear para os valores observados entre as cotas de 2 m e 4 m (considerou-se, em função dos perfis obtidos, que estas cotas delimitam em regra a face de praia nesta região).

A largura da praia e o volume foram calculados a partir do MDT e dos MDS. A erosão ou acreção foi determinada pela diferença entre volumes de levantamentos sucessivos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A segmentação da costa de acordo com o tipo de costa e a freguesia produziu 87 segmentos de dimensões variadas, com comprimentos entre 18 m e 5332 m, e larguras médias, para o sistema de praia e dunas acima da cota de 1,05 m, entre 5 m e 407 m. Os cálculos para avaliar a morfodinâmica foram, portanto, efetuados de forma ponderada. O movimento médio da linha de praia foi ponderado relativamente ao comprimento dos segmentos (*i.e.*, o comprimento da linha de praia de cada segmento). A variação do volume foi calculada por metro linear de linha de praia, e as médias foram ponderadas relativamente ao comprimento dos segmentos.

4.1 Linha de praia

A extração de indicadores a partir dos modelos digitais de elevação ou terreno revelou-se por vezes difícil. Assim há muitos trechos em que uma extração automática da linha de praia se torna impossível, devido aos afloramentos rochosos, que produzem isolinhas extremamente fragmentadas para a cota pretendida (Fig. 3 A). Mas, mesmo em zonas arenosas, onde a topografia é menos acidentada, a linha teria que ser muito simplificada para eliminar as variações de pequena escala (Fig. 3 B) e possibilitar uma análise da dinâmica entre levantamentos, perdendo por vezes o traçado característico do trecho costeiro em causa. Depois de vários ensaios e testes com os algoritmos de simplificação automática disponíveis no *software* ArcGIS optou-se por traçar a linha de

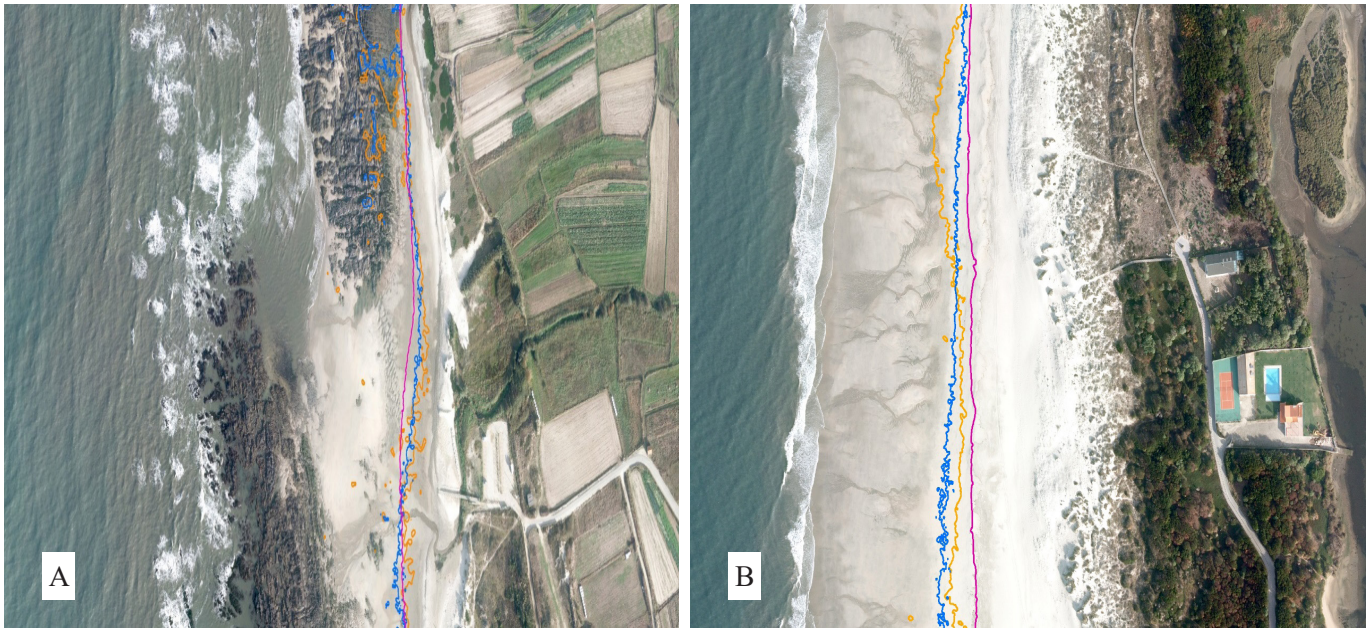


Figura 3. Isolinhas à cota de 1,05 m acima do NMM, num trecho de praia com afloramentos rochosos (A) e num trecho arenoso (B). A ortofoto é de Novembro de 2017, as isolinhas representantes da linha de praia foram extraída do MDT obtido com LiDAR (magenta) e dos MDS obtidos a partir de fotografias aéreas de 2017 (azul) e de 2018 (laranja).

praia manualmente, seguindo a isolinha de 1,05 m mais contínua (Fig. 4). A linha de praia correspondente ao MDT de 2011 foi subsequentemente simplificada (aplicando o algoritmo de Douglas-Peucker) para determinar a orientação de cada segmento e a localização do perfil perpendicular.

Em média, observou-se estabilidade da linha de praia entre 2011 e 2017 e uma regressão de 1,53 m entre 2017 e 2018 (Tabela 1). Estas dinâmicas poderão ser explicadas pelas escalas temporais e pela sazonalidade característica da dinâmica costeira. As observações de 2011 (LiDAR) e 2017 (fotografia) foram ambas realizadas no início do inverno, pelo que as diferenças sazonais nestas duas linhas poderão ser negligenciáveis. Assim, observa-se uma estabilidade temporária neste período (6 anos). Contudo, entre Novembro de 2017 e Maio de 2018, a costa esteve sujeita a agitação marítima mais energética, que se reflete normalmente em transporte transversal de sedimentos da praia emersa para a praia imersa. É, portanto, provável, que a regressão da linha de praia observada seja em parte devida a fenómenos sazonais e que a costa tenha recuperado (pelo menos parcialmente) nos meses seguintes. Entre Novembro de 2017 e Maio de 2018 observaram-se perdas em todos os tipos de costa analisados, sendo as costas arenosas as que sofreram maiores perdas, regredindo em média 3,94 m, e as rochosas e arenosas com afloramentos rochosos as menos afetadas (Tabela 1) como expectável. Note-se que, entre 2011 e 2017, apesar da dominância de segmentos com progressão da linha de praia em direção ao mar e um movimento médio quase nulo, as praias rochosas e de seixos com afloramentos rochosos apresentaram, em média, recuos na linha de praia. Para as praias rochosas, este facto resulta de alguns segmentos de elevada extensão com recuos acentuados pesarem de forma acentuada na média obtida para esses tipos de costa. Dos 8 segmentos rochosos em regressão, com uma extensão total de 5,4 km, dois segmentos com 1,9 e 1,7 km de comprimento apresentaram regressões de 13 m e 16 m, respetivamente. Nas praias de seixos com afloramentos rochosos, a linha de praia de um segmento recuou mais de 5 m enquanto os outros dois avançaram apenas 0,6 m. Na Figura 5 representa-se a dinâmica da linha de praia entre levantamentos realizados. Por segmento, o movimento da linha de praia apresentou valores de -17,3 m (regressão) a 24,7 m (progressão), entre Nov./Dez. 2011 e Nov. 2017, e de -24,8 m e 20,9 m, entre Nov. 2017 e Maio 2018. Muitos segmentos apresentam tendências opostas para os dois períodos estudados.

4.2 Volumetria

Visto que os MDS apresentavam áreas mal definidas (causadas por afloramentos rochosos e ondas em rebentação) nas zonas abaixo de 1 m NMM, optou-se por considerar apenas a área com cotas superiores a 1 m para o cálculo dos volumes. Tal como referido, e a fim de obter parâmetros comparáveis, os volumes e diferenças entre volumes foram analisados por metro linear de linha de praia.

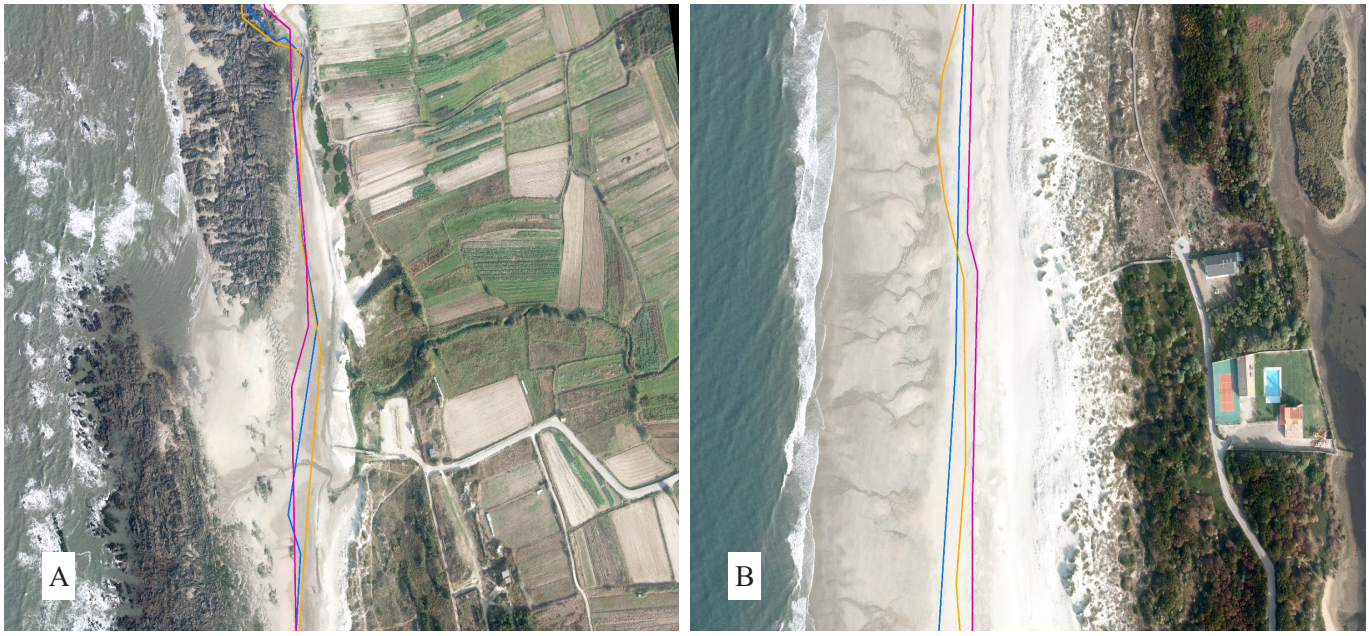


Figura 4. Isolinhas à cota de 1,05 m acima do NMM simplificadas, num trecho de praia com afloramentos rochosos (A) e num trecho arenoso (B). A ortofoto é de Novembro de 2017, as isolinhas foram extraída do MDT obtido com LiDAR (magenta) e dos MDS obtidos a partir de fotografias aéreas de 2017 (azul) e de 2018 (laranja).

Tabela 1. Variações da linha de praia entre levantamentos, para a área de estudo de forma agregada e por tipologia de costa, com apresentação do número de segmentos (#), da percentagem de segmentos que avançaram ou recuaram entre 2011 e Novembro de 2017 e entre Novembro de 2017 e Maio de 2018, e da média ponderada (pelo comprimento de cada segmento) do movimento em direção ao mar (valores positivos).

Tipologia de segmentos costeiros	#	2011 a Nov. 2017			Nov. 2017 a Maio 2018		
		Avanço	Recuo	Média (m)	Avanço	Recuo	Média (m)
Agregada	87	**59%**	41%	**0,02**	38%	**62%**	-1,53
Rochosos	21	**62%**	38%	-0,77	43%	**57%**	-0,27
Arenosos com rochas	41	**63%**	37%	**0,04**	44%	**56%**	-0,73
Seixos com rochas	3	**67%**	33%	-0,22	33%	**67%**	-1,61
Arenosos	22	**45%**	55%	**0,50**	23%	**77%**	-3,94

Em termos de volume, observou-se um aumento acentuado entre 2011 e 2017. Em média, o volume aumentou 71,2 m^3 por metro linear de costa entre 2011 e 2017 e diminuiu 17,1 m^3 por metro linear de costa entre 2017 e 2018 (Tabela 2). Foram novamente as praias arenosas as mais dinâmicas, com uma acreção média superior a 100 m^3/m, entre 2011 e 2017, e com perda média de mais de 43 m^3/m, entre 2017 e 2018. Por segmento, a diferença de volume entre observações variou de 108,6 m^3/m a 2035,2 m^3/m, entre Nov./Dez. 2011 e Nov. 2017, e de -372,3 m^3/m a 85,3 m^3/m, entre Nov. 2017 e Maio 2018 (Fig. 5). Tal como para a linha de praia, muitos segmentos apresentam em termos de volumetria tendências opostas para os dois períodos estudados.

Considerando a área de estudo de modo agregado, o volume aumentou mais de 6 milhões de metros cúbicos entre 2011 e 2017, o que corresponde a 9,7% do volume do sistema praia/dunas acima do NMM. Esse aumento acentuado, verificou-se sobretudo nas praias arenosas e, surpreendentemente, também nas praias rochosas (Tabela 2). Tendo em conta que as praias rochosas são supostamente as mais estáveis e que no terreno não verificámos uma maior cobertura das rochas com areia, os MDT/MDS foram analisados em mais detalhe. Verificou-se que parte do (aparente) aumento de volume não está relacionado com acreção de sedimentos, mas sim com vegetação. O MDT de 2011 foi obtido a partir de dados medidos com o LiDAR, um método capaz de penetrar a vegetação e detetar a superfície do terreno, e sujeitos a uma filtragem e correção em que estruturas, tais como edificado e vegetação, foram eliminadas do modelo. De facto, observamos que muitos dos segmentos que mais ganharam em volume entre 2011 e 2017 são segmentos com dunas arborizadas (Fig. 6). O facto de o DEM de 2017 considerar o volume dessa

vegetação explica por si só um aumento do volume. Imagens de 2010 (GoogleEarth) mostram que nessa data já existia vegetação abundante, embora menos desenvolvida do que nos anos 2017 e 2018. Note-se que também encontrámos zonas com perda de volume da vegetação entre 2017 e 2018, o que indica que nem toda a aparente perda de volume observada nesse período, que totaliza mais de 2%, representa erosão (Fig. 7). Contudo encontram-se também diferenças entre 2011 e 2017 nas áreas rochosas. O MDT é suavizado nessas zonas, sugerindo um processamento da imagem do LiDAR que "filtrou" parte dos afloramentos rochosos (Fig. 8).

4.3 Declive

Nos resultados obtidos, em conformidade com a metodologia descrita para a caracterização dos declives de praia, verificou-se uma diversidade de declives em alguns segmentos mais longos. Optou-se por considerar na análise realizada o declive observado no perfil central de cada segmento. Uma vez que a morfologia das praias não apresenta uma face claramente delimitada, consideraram-se, para efeito de quantificação dos declives, cotas fixas, assumindo que aqueles correspondem ao declive medido em cada perfil entre os pontos de cota 2 m e cota 4 m (Fig. 9). Os declives apresentaram valores entre 5% (3°) e 68% (31°), sendo mais acentuados nos segmentos rochosos (7-61%), seguidos dos segmentos arenosos com afloramentos rochosos (4-36%), dos arenosos (5-26%) e dos três de seixos com afloramentos rochosos (9-21%). Para cada segmento, os declives variaram pouco entre os levantamentos analisados (tal como no exemplo da Fig. 9).

5. CONCLUSÕES

As metodologias apresentadas permitiram quantificar indicadores, ou parâmetros para posterior quantificação de indicadores deles derivados, de vulnerabilidade à erosão costeira, a partir de modelos da morfologia das praias e dunas, que podem ser usados para análises de risco e no apoio à gestão integrada das zonas costeiras. Estes resultados são essenciais para a tomada de medidas adequadas de proteção e mitigação dos efeitos dos riscos costeiros, incluindo potenciais efeitos de alterações climáticas. Numa fase posterior pretende-se avaliar a capacidade dos parâmetros estudados para se constituírem como indicadores de vulnerabilidade à erosão, e procurar obter índices derivados da respetiva agregação para caracterização dos diferentes segmentos costeiros (*e.g.*, Aucelli *et al.,* 2018).

Verificou-se que a quantificação de indicadores morfométricos e morfodinâmicos nem sempre é fácil e direta. Em sistemas complexos como as zonas costeiras, e em sistemas naturais em geral, é preciso trabalhar com simplificações e pressupostos, ignorando particularidades locais que podem ter grande impacto na vulnerabilidade costeira à erosão, galgamento e inundação.

Verificou-se também que modelos de terreno obtidos com metodologias diferentes podem não ser diretamente comparáveis, se não representarem as particularidades locais da mesma forma. Isso tem, sobretudo, implicações para estudos da dinâmica costeira de médio e longo prazo. No presente caso, poder-se-ia aplicar um filtro para remover a vegetação dos MDS de 2017 e 2018, convertendo-os em MDT, para depois se poderem comparar com o MDT de 2011. Contudo, os algoritmos para a filtração de objetos do software utilizado funcionam bem em zonas arenosas, filtrando pessoas a caminhar na praia ou gaivotas, mas mal em zonas arborizadas (como algumas dunas da área de estudo). Os resultados não são portanto comparáveis com os do LiDAR, cujo radar tem um grau de penetração que permite observar o terreno em zonas arborizadas.

Uma avaliação adequada da morfodinâmica requer uma série temporal extensa de levantamentos consistentes e comparáveis (de preferência normalizados), o que reforça a necessidade da implementação de planos de monitorização costeira, de apoio à gestão integrada e sustentável das zonas costeiras. Em tempos de grande incerteza sobre a segurança e sustentabilidade das zonas costeiras face às alterações climáticas, a implementação de

Tabela 2. Variações de volume entre levantamentos, para a área de estudo, de forma agregada e por tipologia de costa, com apresentação do número de segmentos (#), da percentagem de segmentos que aumentaram ou diminuíram de volume, entre 2011 e Novembro de 2017 e entre Novembro de 2017 e Maio de 2018, e da variação por metro linear.

Tipologia de segmentos costeiros	#	2011 a Nov. 2017			Nov. 2017 a Maio 2018		
		Acreção	Erosão	Média (m^3/m)	Acreção	Erosão	Média (m^3/m)
Agregada	87	**80%**	20%	**71,20**	38%	**62%**	-17,14
Rochosos	21	**95%**	5%	**93,65**	40%	**60%**	-6,12
Arenosos com rochas	41	**78%**	22%	**55,73**	44%	**56%**	-9,56
Seixo com rochas	3	**67%**	33%	**22,20**	**67%**	33%	-1,54
Arenosos	22	**73%**	27%	**100,90**	23%	**77%**	-43,13

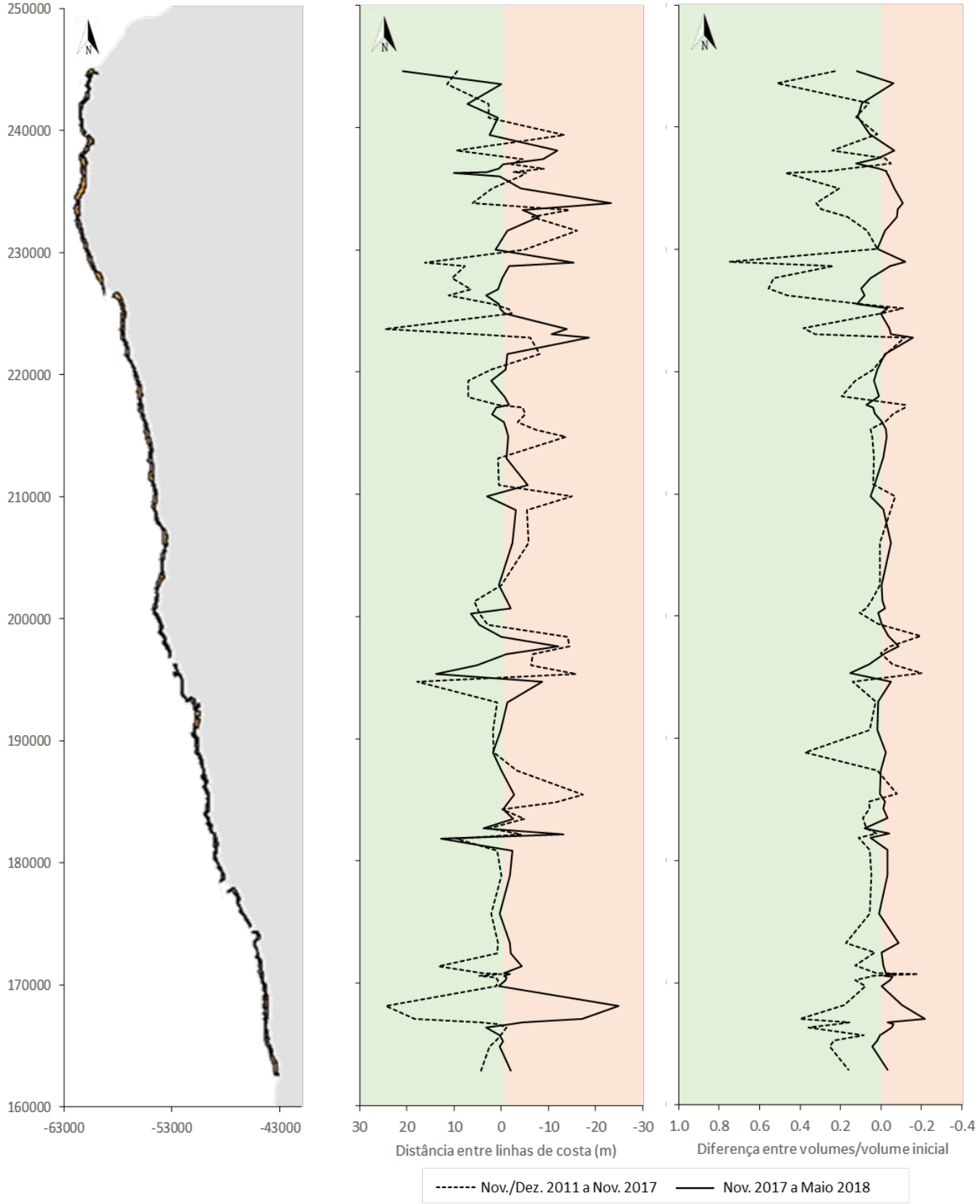


Figura 5. Morfodinâmica observada ao longo da costa: faixa costeira apresentada em coordenadas planas (ETRS98 Portugal TM06) (A); distância média entre linhas de praia (B) e diferença em volume (C), observadas entre Nov./Dez. 2011 e Nov. 2017 e entre Nov. 2017 e Maio 2018, por segmento, apresentada em relação à latitude central de cada segmento.

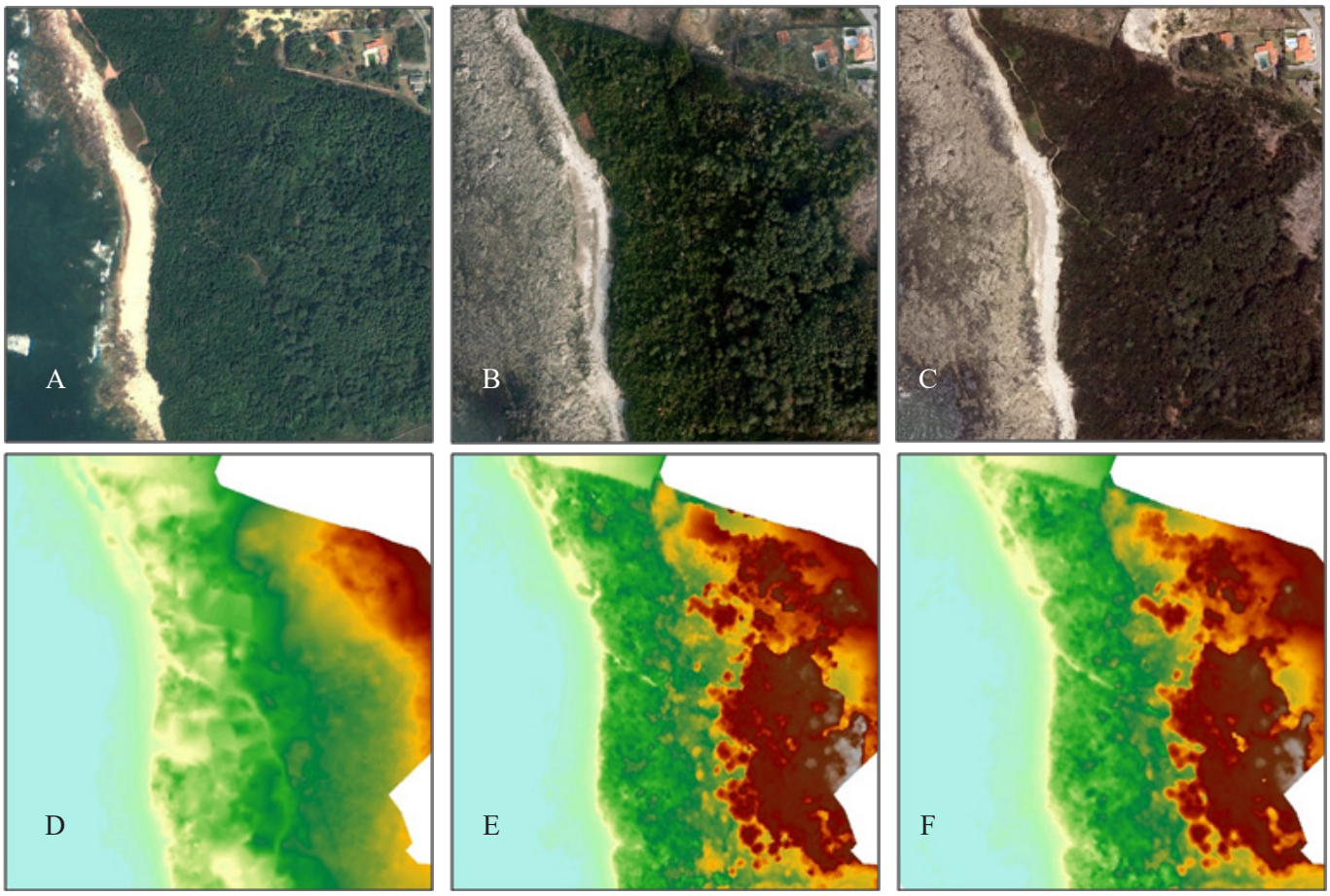


Figura 6. Pormenor da área de estudo com cobertura vegetal: ortofotos obtidos em Setembro de 2010 (GoogleEarth) (A), Novembro de 2017 (B) e Maio de 2018 (C), MDT de 2011 (D), MDS de 2017 (E) e MDS de 2018 (F) (modelos com a mesma escala de cor).

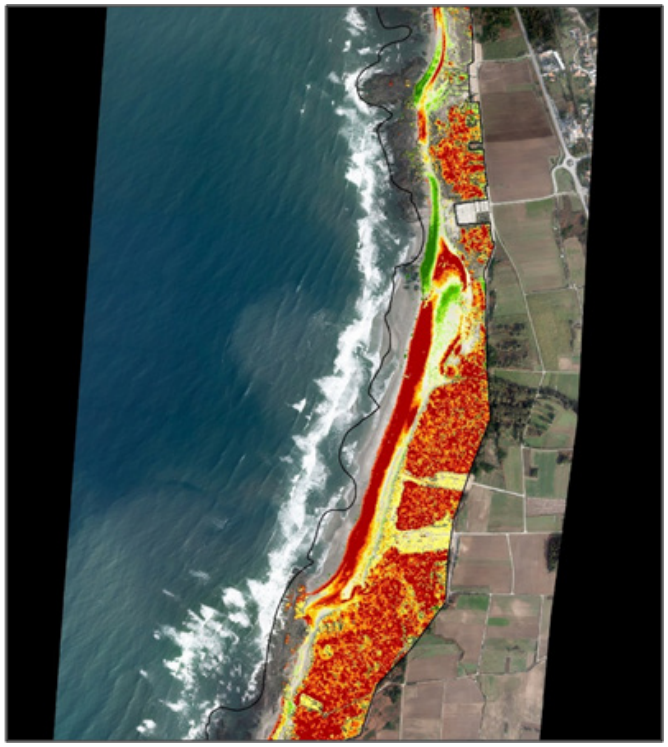


Figura 7. Diferença entre os MDS de Novembro de 2017 e Maio de 2018; observam-se trechos de praia arenosa com erosão (vermelho) e acreção (verde) e uma diminuição marcada da vegetação nas dunas (vermelho).

um plano nacional (ou vários regionais) de monitorização é, portanto, essencial. A nível nacional, o programa COSMO (https://cosmo.apambiente.pt/) constitui um passo na direção certa, tendo como objetivo a aquisição sistemática e com padrões de recolha, processamento e análise idênticos e padronizados, para a totalidade da faixa costeira nacional; embora, se limite a perfis e áreas limitadas em zonas selecionadas. A sua continuidade e o aumento da cobertura espacial é essencial para se caracterizarem de forma contínua os processos dinâmicos intensos e a variabilidade espacial intrínseca da costa NO de Portugal conforme se constata pelos resultados apresentados neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento do Programa Interreg V-A Espanha-Portugal (POCTEP), projeto 0262_MarRISK_1_E, que apoiou o presente estudo. Este estudo foi ainda parcialmente apoiado pelo fundo estratégico UID/Multi/04423/2019 através de fundos nacionais da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia e o Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (ERDF), no âmbito do programa PT2020.

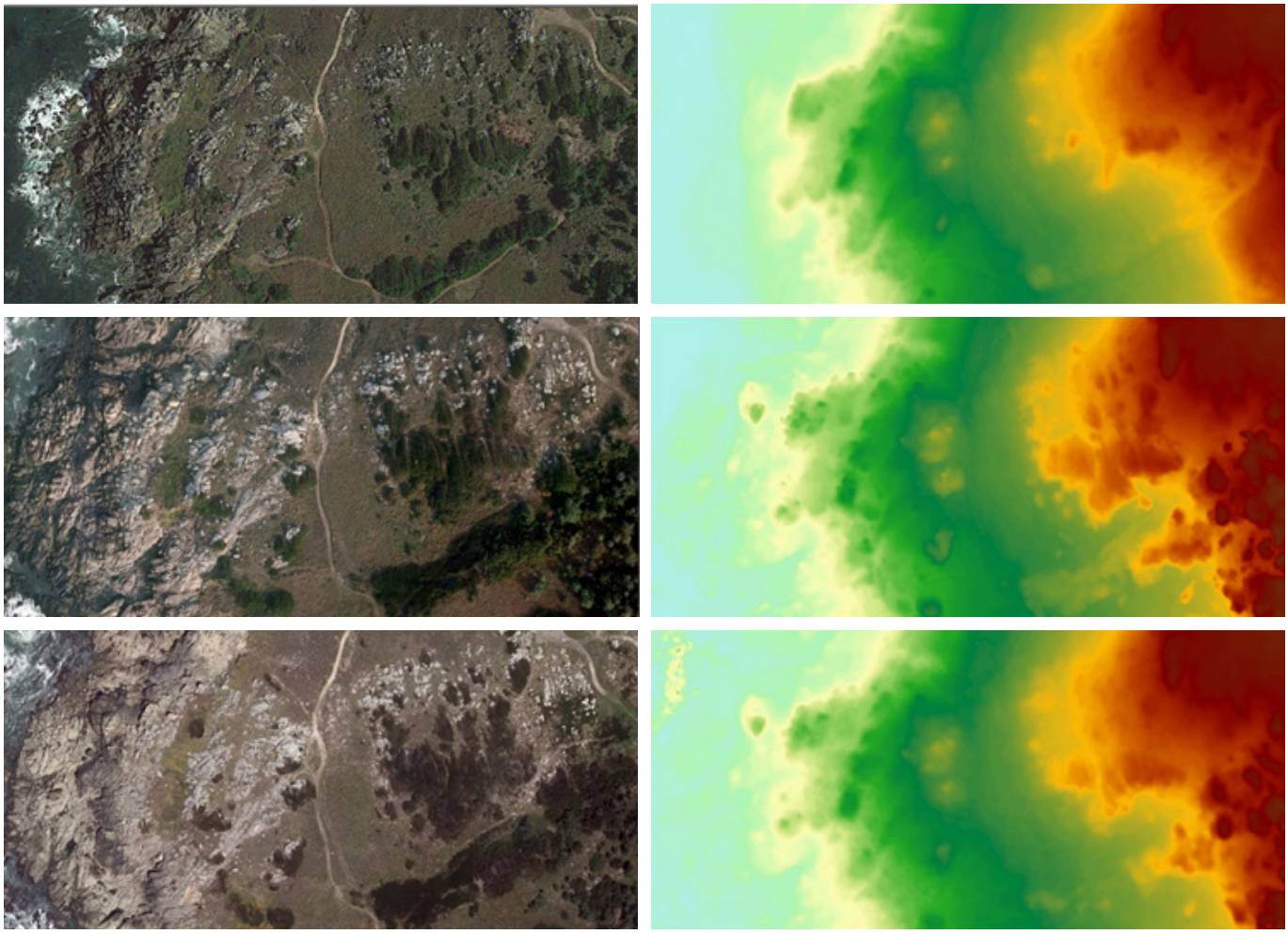


Figura 8. Pormenor da área de estudo com afloramentos rochosos: ortofotos obtidos em Agosto de 2013 (GoogleEarth) (A), Novembro de 2017 (C) e Maio 2018 (E), MDT de 2011 (B), MDS de 2017 (D) e MDS de 2018 (F) (modelos com a mesma escala de cor).

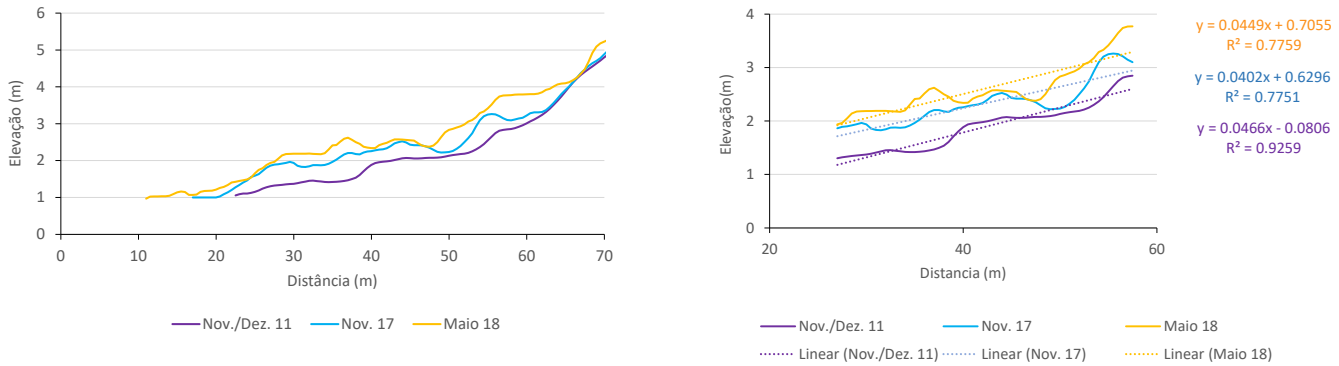


Figura 9. Perfis do MDT de 2011 e dos MDS de 2017 e 2018 para uma praia rochosa (A). Tal como para a análise dos volumes, considerou-se apenas o perfil acima da cota 1 m (NMM). O declive foi determinado por regressão linear para o trecho delimitado pelas cotas 2 m e 4 m NMM (B).

REFERÊNCIAS

Agisoft (2018). Agisoft Photoscan User Manual, Professional Edition, Version 1.4.

Antonioli, F., Anzidei, M., Amorosi, A., Presti, V. L., Mastronuzzi, G., Deiana, G., … Vecchio, A. (2017). Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100. *Quaternary Science Reviews*, *158*, 29–43. doi: 10.1016/j.quascirev.2016.12.021

Antunes, C. (2007). Previsão de Marés dos Portos Principais de Portugal URL: http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html (consultado em 10 de Dezembro 2019).

Aucelli, P. P. C., Paola, G. D., Rizzo, A., & Rosskopf, C. M. (2018). Present day and future scenarios of coastal erosion and flooding processes along the Italian Adriatic coast: the case of Molise region. *Environmental Earth Sciences*, *77*(10). doi: 10.1007/s12665-018-7535-y

Bio, A., Bastos, L., Granja, H., Pinho, J., Gonçalves, J., Henriques, R., Madeira, S., Magalhães, A., Rodrigues, D. (2015). Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two Portuguese case studies. *Revista De Gestão Costeira Integrada*, 47–63. doi: 10.5894/rgci490

Carapuço, M. M., Taborda, R., Silveira, T. M., Psuty, N. P., Andrade, C., & Freitas, M. C. (2016). Coastal geoindicators: Towards the establishment of a common framework for sandy coastal environments. *Earth-Science Reviews*, *154*, 183–190. doi: 10.1016/j.earscirev.2016.01.002

DGT – Direção-Geral do Território (2018). *Modelo Digital do Terreno das Zonas Costeiras de Portugal Continental com resolução de 1 m (400 m em terra) – LiDAR (Continente) metadados e auto-avaliação*. Last updated: 02-02-2018, available at: http://snig.dgterritorio.pt/geoportal/catalog/search/resource/detailsPretty.page?uuid=%7BEC94A6C0-0971-4725-B647-2FEC93594D88%7D

EEA–European Environment Agency (2006). *The changing faces of Europe's coastal areas*. EEA Report No. 6/2006. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_6

EEA–European Environment Agency (2013) Balancing the future of Europe's coasts. EEA Report No. 12/2013. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. https://www.eea.europa.eu/publications/balancing-the-future-of-europes

Eichentopf, S., Karunarathna, H., & Alsina, J. M. (2019). Morphodynamics of sandy beaches under the influence of storm sequences: Current research status and future needs. *Water Science and Engineering*, *12*(3), 221–234. doi: 10.1016/j.wse.2019.09.007

Ferreira, Ó., Plomaritis, T. A., & Costas, S. (2017). Process-based indicators to assess storm induced coastal hazards. *Earth-Science Reviews*, *173*, 159–167. doi: 10.1016/j.earscirev.2017.07.010

Forzieri, G., Bianchi, A., Silva, F. B. E., Herrera, M. A. M., Leblois, A., Lavalle, C., … Feyen, L. (2018). Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. *Global Environmental Change*, *48*, 97–107. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2017.11.007

Gonçalves, J. A., Bastos, L., Madeira, S., Magalhães, A., & Bio, A. (2018). Three-dimensional data collection for coastal management – efficiency and applicability of terrestrial and airborne methods. *International Journal of Remote Sensing*, *39*(24), 9380–9399. doi: 10.1080/01431161.2018.1523591

Gonçalves, J., Bastos, L., Pinho, J. & Granja, H. (2011). Digital aerial photography to monitor changes in coastal areas based on direct georeferencing. 5th EARSeL Workshop on Remote Sensing of the Coastal Zone, Prague, June 2011. http://www.conferences.earsel.org/abstract/show/2689

Harrison, P. A., Dunford, R. W., Holman, I. P., Cojocaru, G., Madsen, M. S., Chen, P.-Y., Pedde, S., Sandars, D. (2019). Differences between low-end and high-end climate change impacts in Europe across multiple sectors. *Regional Environmental Change*, *19*(3), 695–709. doi: 10.1007/s10113-018-1352-4

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects.* Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V. R.,C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee,K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea & L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge,United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688

Jiménez, A. C., Ávila, J. I. E., Lacouture, M. M. V., & Casarín, R. S. (2016). Classification of Beach Erosion Vulnerability on the Yucatan Coast. *Coastal Management*, *44*(4), 333–349. doi: 10.1080/08920753.2016.1155038

Johnson, J. M., Moore, L. J., Ells, K., Murray, A. B., Adams, P. N., Mackenzie, R. A., & Jaeger, J. M. (2015). Recent shifts in coastline change and shoreline stabilization linked to storm climate change. *Earth Surface Processes and Landforms*, *40*(5), 569–585. doi: 10.1002/esp.3650

Lopes, C. (2016). *Avaliação de Risco de Inundação na Ria de Aveiro em Cenários Atuais e Futuros*.Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 224 p. https://ria.ua.pt/handle/10773/16277?mode=full

Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G. & Aarninkhof, S. (2018). The State of the World's Beaches. Scientific Reports 8: 6641. doi:10.1038/s41598-018-24630-6

Mauff, B. L., Juigner, M., Ba, A., Robin, M., Launeau, P., & Fattal, P. (2018). Coastal monitoring solutions of the geomorphological response of beach-dune systems using multi-temporal LiDAR datasets (Vendée coast, France). *Geomorphology*, *304*, 121–140. doi: 10.1016/j.geomorph.2017.12.037

Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J., & Nicholls, R. J. (2015). Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. *Plos One*, *10*(3). doi: 10.1371/journal.pone.0118571

Nguyen, T. T., Bonetti, J., Rogers, K., & Woodroffe, C. D. (2016). Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean & Coastal Management*, *123*, 18–43. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2015.11.022

Nicholls, R. J. (2010). *Impacts of and responses to sea-level rise*. In: Church, J. A., Woodworth, P. L., Aarup, T. & Wilson, W. S. (eds.) Understanding sea-level rise and variability. Wiley-Blackwell, Oxford. 10.1002/9781444323276.ch2

Nicholls, R. J., Wong, P. P., Burket, V. R., Codignotto, J., Hay, J. E., McLean, R. F., Ragoonaden, S. & Woodroffe, C. D. (2007). *Coastal systems and low-lying areas*. In: Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. & Hanson, C. E. (eds) Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 315–356

Nijland, W., Reshitnyk, L. Y., Starzomski, B. M., Reynolds, J. D., Darimont, C. T., & Nelson, T. A. (2017). Deriving Rich Coastal Morphology and Shore Zone Classification from LIDAR Terrain Models. *Journal of Coastal Research*, *33*(4), 949–958. doi: 10.2112/jcoastres-d-16-00109.1

Vitousek, S., Barnard, P. L., Fletcher, C. H., Frazer, N., Erikson, L., & Storlazzi, C. D. (2017). Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. *Scientific Reports*, *7*(1). doi: 10.1038/s41598-017-01362-7

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS
UNIVALI
UAlg CIMA UNIVERSIDADE DO ALGARVE
UFRN UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO
IMPRENSA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA COIMBRA UNIVERSITY PRESS