
• REVISTA DE
**GESTÃO COSTEIRA
INTEGRADA**

Journal of Integrated Coastal Zone Management

VOL. **17**(1): Setembro **2017**
September

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

GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA

Journal of Integrated Coastal Zone Management



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

**Volume 17, Issue 1
September 2017**

Editorial Board

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

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

Conceição Freitas
Associate Editor
<cfreitas@fc.ul.pt>

Marcus Pollete
Section Editor
<mpollete13@gmail.com>

Marinez Scherer
Section Editor
<marinezscherer@gmail.com>

André Fortunato
Section Editor
<afortunato@lnec.pt>

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

Publishers

Editorial consortium comprising:

- APRH - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.
e-mail: aprh@aprh.pt web page: <http://www.aprh.pt>
- CIMA - Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Edifício 7, Campus Universitário de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.
e-mail: cima@ualg.pt web page: <http://www.cima.ualg.pt>
- UNIVALI - Universidade do Vale do 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, nº 1, 3000-214 Coimbra
e-mail: imprensauc@ci.uc.pt web page: http://www.uc.pt/imprensa_uc

Secretariat

Ana Estêvão (APRH), André Cardoso (APRH)

Copy editing

Francisco Taveira Pinto, Paulo Rosa Santos, Marinez Scherer

Formatting and pagination

Andre Cardoso (APRH)

web page

Andre Cardoso (APRH)

SciELO DTD markup

André Cardoso (APRH)

Cover design

Flatland Design

ISSN: 1646-8872

GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA

Journal of Integrated Coastal Zone Management

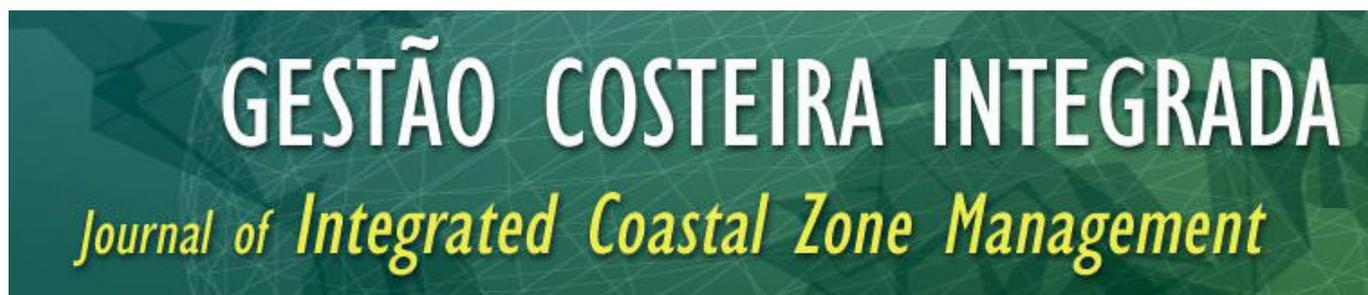
Journal of Integrated Coastal Zone Management / *Revista da Gestão Costeira Integrada*

17(1) – September 2017

Table of Contents

Articles

Márcia Lima Carlos Coelho	5	O modelo de evolução da linha de costa LTC: pressupostos, evolução, validação e aplicação
Silvia Luís Fabiana E.P. Freitas Nuno Rodrigues António J.A. Nogueira Catarina Roseta-Palma Maria Luísa Lima Luísa Pinho Filomena Cardoso Martins António Betâmio de Almeida Góneri Le Cozannet Vincent Jolivet Ana I. Lillebø	19	Beliefs on the local effects of climate change: Causal attribution of flooding and shoreline retreat
Samanta da Costa Cristiano Eduardo Guimarães Barboza Eduardo Marques Martins Nelson Luiz Sambaqui Gruber	37	Caracterização da costa marinha do Balneário Camacho (Santa Catarina, Brasil) como subsídio à gestão
Letícia Sebastião Miranda Kátia Helena Lipp-Nissinen	65	Delimitation of permanent preservation areas of Paurá Lagoon (Middle Coast of Rio Grande do Sul, Brazil) using multitemporal satellite image analysis



O modelo de evolução da linha de costa LTC: pressupostos, evolução, validação e aplicação

LTC shoreline evolution model: assumptions, evolution, validation and application

Márcia Lima^{@, 1}, Carlos Coelho¹

[@] Autor correspondente: marcia.lima@ua.pt

¹ Departamento de Engenharia Civil & RISCO, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal.

RESUMO: A modelação numérica da evolução da posição da linha de costa assume um papel preponderante, não só na compreensão dos complexos fenómenos que envolvem a dinâmica das zonas costeiras, como no auxílio à gestão e planeamento costeiro. Existem diversos modelos numéricos para avaliar a possível evolução da linha de costa, sendo os mais utilizados e simples os modelos baseados na teoria de “uma linha” de Pelnard-Considère (1956). O modelo numérico LTC (*Long-Term Configuration*, Coelho, 2005), baseado na teoria de “uma linha”, foi desenvolvido com o objetivo de simular a médio e longo prazo a evolução da configuração da linha de costa, com base em diferentes cenários naturais e antropogénicos. O modelo foi desenvolvido em 2005, na Universidade de Aveiro, tendo sido, desde então, alvo de alterações e melhorias, não só na Universidade de Aveiro como na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Desta forma, este trabalho pretende compilar toda a informação relevante relativa aos pressupostos considerados e correspondente validação, evolução e aplicação do modelo até à data, permitindo a sua utilização e compreensão por parte de utilizadores que já trabalhem com o modelo ou que o pretendam fazer.

Palavras-chave: modelo numérico, *Long-Term Configuration*, teoria de “uma linha”, posição da linha de costa, zona costeira.

ABSTRACT: The numerical modelling of the shoreline evolution is very important to understand the complexity of the processes related to the dynamic variability of sandy beaches and to support coastal zone planning and management. There are several numerical models to evaluate shoreline changes, however the simplest and most used models are based in the one-line theory (Pelnard-Considère, 1956). LTC (Long-Term Configuration) numerical model, developed by Coelho (2005), is based in oneline theory and simulates medium to long-term coastal configuration evolution, considering the evaluation of natural and anthropogenic scenarios. LTC was developed in 2005 at Aveiro University and since then it was modified and improved in collaboration with the Faculty of Engineering of the University of Porto. Thus, this work aims to assemble the existing information about LTC model, namely, the model assumptions and correspondent validations, the model evolution and its application so far. It is intended that this work allows the former and the new users to understand and to apply the model.

Keywords: numerical model, Long-Term Configuration, one-line theory, shoreline position, coastal zone.

1. INTRODUÇÃO

A modelação numérica da evolução da posição da linha de costa é indispensável, não só para compreender e prever a dinâmica dos sistemas costeiros, como para auxiliar uma efetiva tomada de decisões. De acordo com Hanson *et al.* (2003), não existe ainda um modelo universal para análise e previsão da evolução da costa na escala da dezena de anos. Os autores defendem que, dependendo da natureza do problema e dos objetivos do projeto, existe um número alargado de modelos com abordagens distintas e com pontos de vista específicos.

A evolução da morfologia costeira é o resultado da interação de processos físicos complexos que, na maior parte dos casos, não podem ser matematicamente representados de forma exata. As formulações numéricas são deterministas, baseadas em leis físicas conhecidas, ou semiempíricas, obtidas a partir de medições de campo ou em laboratório.

Os modelos analíticos de evolução da linha de costa são soluções fechadas da equação diferencial da conservação de massa, simplificada para o transporte de sedimentos sob condições de agitação marítima constantes no espaço e no tempo (Silva, 2010). O primeiro modelo deste tipo foi introduzido pela teoria de “uma linha” (Pelnard-Considère, 1956), que considera que o perfil de praia, limitado ao largo por uma profundidade de fecho para além da qual não existe movimento significativo dos fundos, se move paralelamente a si próprio.

Por outro lado, os modelos numéricos da evolução da linha de costa são uma generalização dos modelos analíticos, simulando a evolução da linha de costa para diferentes configurações de praia, podendo incluir diversos tipos de estruturas costeiras e condições de fronteira, sob ação da agitação marítima variável no espaço e no tempo (Silva, 2010).

Os modelos mais utilizados e simples para prever a evolução da posição da linha de costa são baseados na técnica de “uma linha”, que assume que o perfil de fundo se mantém constante mas pode ser deslocado na direção perpendicular à costa, como resultado dos fenómenos de erosão ou acreção. Os modelos de múltiplas linhas foram desenvolvidos para descrever o movimento das batimétricas a determinadas profundidades, de forma análoga aos modelos de uma linha. Apesar do detalhe adicional, estes modelos não obtiveram sucesso devido à dificuldade de relacionar de forma realista o transporte transversal e a distribuição do transporte longitudinal. Estes modelos requerem mais calibração e não resultam numa melhoria significativa dos resultados (Hanson *et al.*, 2003).

Segundo Vicente e Clímaco (2003), o funcionamento dos modelos numéricos unidimensionais baseia-se no cálculo

do transporte de sedimentos ao longo do litoral, efetuado a partir das características das ondas na rebentação e na aplicação da equação de conservação de massa dos volumes de areia movimentados. A variação da posição da linha de água é calculada em cada célula em que se divide o trecho de praia, a partir das diferenças de caudal sólido que nela entram e a abandonam, num certo intervalo de tempo e admitindo-se que o perfil transversal no seu avanço ou recuo se desloca paralelamente a si próprio, sem alteração de forma.

Admite-se que a variação da topo-hidrografia no tempo é devida unicamente aos gradientes longitudinais do transporte sedimentar. Assim, o balanço dos volumes de sedimentos em transporte numa secção elementar do sector costeiro (Figura 1 - Esquema de definição de um modelo de 1-linha (Gravens *et al.*, 1991).) é traduzido

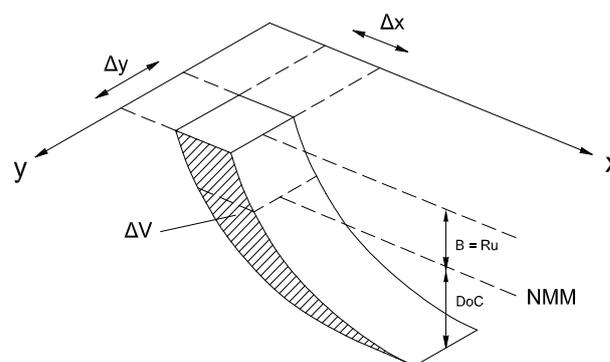


Figura 1 - Esquema de definição de um modelo de 1-linha (Gravens *et al.*, 1991).

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \left(\frac{\partial Q}{\partial y} + q_x \right) \quad (1)$$

pela equação de conservação de massa, Equação 1 (Silva, 2010).

onde V representa o volume de sedimentos contido na secção de largura infinitesimal ∂y , Q a taxa de transporte longitudinal de sedimentos, q_x eventuais fornecimentos exteriores de sedimentos (fontes aluvionares, por exemplo) por unidade de largura de praia e t o tempo.

A conservação de massa ao longo de um comprimento infinitesimal da linha de costa expressa através da equação da conservação de massa (Equação 1), admitindo que

$$\frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{1}{DoC + R_u} \left(\frac{\partial Q}{\partial y} - q_x \right) \quad (2)$$

o perfil se move paralelamente a si próprio (Figura 1 - Esquema de definição de um modelo de 1-linha (Gravens et al., 1991).), pode ser expressa segundo:

onde DoC representa a profundidade de fecho, R_u o limite de espraiamento máximo da onda e Q a taxa de transporte longitudinal de sedimentos. De referir que, segundo, Silva (2010), na expressão anterior foi considerado o parâmetro R_u , apesar de na formulação original ser admitida a altura da berma da praia (B), uma vez que ambos podem definir o limite do perfil ativo, respetivamente, de acordo com Hanson (1989) e Smith (2003).

Os modelos de configuração da linha de costa pretendem auxiliar o projeto da posição futura da zona litoral. Para efeitos de aplicação a casos reais e no mercado aberto a consultores existem diversos modelos que pretendem simular a evolução da linha de costa. O GENESIS (Hanson e Kraus, 1989), o LTC (Coelho, 2005), o LITMOD (Vicente e Clímaco, 2003), o LITPACK (DHI, 2009), o ONELINE (Dabees e Kamphuis, 1998) e o UNIBEST (Deltares, 2016), são alguns exemplos de modelos numéricos, baseados na teoria de uma linha.

O modelo numérico LTC, desenvolvido em Coelho (2005), é um modelo de simulação a médio e longo prazo, e foi desenvolvido com base nos pressupostos dos modelos existentes, apresentando no entanto algumas particularidades com o intuito de colmatar lacunas e melhorar a aproximação dos resultados à realidade.

Desde o seu desenvolvimento em 2005, que o modelo LTC tem vindo a ser aplicado em diversos estudos e trabalhos, tendo alguns dos quais motivado alterações e melhorias no algoritmo. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo descrever não só a versão inicial do modelo, como reunir toda a informação existente relativamente às alterações introduzidas no modelo e a aplicações baseadas no mesmo.

2. DESCRIÇÃO DO MODELO NUMÉRICO LTC

O modelo LTC admite o estabelecimento de cenários naturais e antropogénicos, permitindo a sua avaliação a médio e longo prazo, podendo também ser utilizado como ferramenta complementar na análise de situações de vulnerabilidade e risco à ação do mar e na escolha de soluções de engenharia para controlo da erosão (Coelho, 2005).

O LTC foi concebido para aplicação a praias arenosas, onde o principal processo que controla a evolução da linha de costa é o transporte longitudinal de sedimentos. Este depende das condições de agitação marítima, do nível da água do mar, da existência de fontes/sumidouros

de sedimentos, das características sedimentares e morfológicas da praia, das estruturas de defesa costeira existentes e das condições de fronteira da área de estudo. Pode ser entendido como uma combinação de um modelo de evolução de linha de costa clássico de “uma linha” (Hanson e Kraus, 1989) com um modelo de evolução de perfil transversal. O modelo LTC pode ser aplicado para projeção da posição da linha de costa em horizontes temporais de médio e longo-termo (10, 20, 50 anos), em trechos costeiros com dimensão variável, num limite máximo de duas ou três dezenas de quilómetros.

O modelo assume que cada onda atua individualmente durante um determinado período de tempo, o passo de tempo computacional, procedendo à sua transformação desde o largo até à rebentação. Para cada onda é estimado o transporte sólido longitudinal induzido, fazendo-se um balanço sedimentar, em cada trecho elementar da praia, através da equação de conservação de massa, e avaliando qual o volume de sedimentos em erosão ou acreção. O volume calculado é distribuído pelo perfil transversal ativo, definido entre o limite de espraiamento máximo da onda (R_u) e a profundidade de fecho (DoC). Verifica-se uma subida (acreção) ou descida (erosão) uniforme de todos os pontos do perfil ativo, sendo efetuadas correções a essas variações junto aos limites emerso e submerso do perfil (ver Figura 3, na secção 2.1.3). Nestes limites, a variação do perfil é controlada pelas inclinações mínimas, definidas pelo utilizador para o perfil submerso e para o perfil emerso, e pela estabilidade dos taludes criados, função do ângulo de repouso dos sedimentos. Esta técnica permite ao utilizador testar diversos parâmetros de controlo da distribuição sedimentar ao longo do perfil transversal e conseqüentemente da sua evolução ao longo do tempo (Coelho, 2005 e Coelho *et al.*, 2013).

2.1 Formulação Teórica

Neste subcapítulo expõem-se os principais conceitos teóricos que servem de base ao funcionamento do modelo LTC, nomeadamente os pressupostos relativos aos fenómenos de transformação da onda, transporte longitudinal de sedimentos (estimativa da taxa potencial de sedimentos transportados), balanço de massa e evolução do perfil transversal (alteração de cotas dos pontos da grelha que representam a área modelada), com base no trabalho de Coelho (2005).

2.1.1 Transformação da onda

As características ao largo de cada uma das ondas consideradas na simulação são conhecidas procedendo-se à sua transformação até à rebentação, considerando de forma simplificada os fenómenos da refração, difração (junto às estruturas costeiras) e empolamento (o LTC não

tem em conta os efeitos da reflexão). Para tal, admite-se que estas características são idênticas em toda a extensão longitudinal do sector costeiro modelado, e recorre-se à teoria linear da onda (Dean e Dalrymple, 1994). O procedimento utilizado consiste na estimativa da profundidade para a qual ocorre a rebentação, h_b , e dos parâmetros caracterizadores das ondas na rebentação, altura de onda (H_b) e direcção de incidência de onda na rebentação (θ_b), a partir dos parâmetros caracterizadores ao largo, altura de onda (H_0) e direcção de proveniência, ou rumo (θ_0). De referir que, o ângulo de incidência da onda traduz o ângulo definido entre a crista da onda e a linha de costa.

No pressuposto inicial de que a altura de onda na rebentação é aproximadamente igual à altura de onda ao

$$\gamma_b = \frac{H_b}{h_b} \quad (3)$$

largo, começa por calcular-se a profundidade para a qual ocorre a rebentação, h_b , através do critério do índice de profundidade de rebentação:

Este critério tem sido universalmente utilizado, sendo o seu valor mais comum $\gamma_b = 0,78$. A profundidade de rebentação estimada desta forma será idêntica em toda a extensão longitudinal do sector costeiro em estudo, mas a localização da linha de rebentação será variável em planta, em função da topo-hidrografia.

Admitindo que ao longo da propagação da onda as linhas

$$\frac{\sin \theta_b}{L_b} = \frac{\sin \theta_0}{L_0} \quad (4)$$

batimétricas são paralelas à linha de rebentação pode calcular-se o ângulo de incidência da onda na rebentação θ_b , através da *Lei de Snell*:

onde L_b representa o comprimento de onda na rebentação, L_0 o comprimento de onda ao largo e θ_0 o ângulo de incidência da onda ao largo (de acordo com Coelho, 2005, este ângulo está limitado a $\pm 42^\circ$ por questões de cálculo numérico, pelo que, quando estes limites são ultrapassados é feita uma correção à orientação da linha de costa).

Assumindo uma praia uniforme com uma batimetria paralela, a altura de onda na rebentação pode ser estimada através da Equação 5, onde K_r representa o coeficiente de refração e K_s o coeficiente de empolamento. O coeficiente de refração na rebentação depende da direcção de incidência de onda, ao largo e na rebentação, e pode

$$H_b = K_r K_s H_0 \quad (5)$$

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \theta_0}{\cos \theta_b}} \quad (6)$$

$$K_s = \frac{\cosh \frac{2\pi h_b}{L_b}}{\sqrt{\sinh \frac{2\pi h_b}{L_b} \cosh \frac{2\pi h_b}{L_b} + \frac{2\pi h_b}{L_b}}} \quad (7)$$

ser estimado pela Equação 6. Por sua vez, o coeficiente de empolamento depende da profundidade e do comprimento de onda na rebentação e pode ser estimado através da Equação 7.

O comprimento de onda na rebentação, L_b , é calculado através da Equação 8 e depende do valor do comprimento de onda ao largo, L_0 , obtido através da Equação 9. No

$$L_b = L_0 \tanh \frac{2\pi h_b}{L_b} \quad (8)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (9)$$

$$T = 1,21H_0 + 6,92 \quad (10)$$

modelo LTC o período de onda ao largo (T) é obtido em função da altura de onda ao largo, através da Equação 10, baseada na análise dos registos de agitação na boia de Leixões, entre 1981 e 2003 (Coelho, 2005).

O método descrito para caracterizar a transformação da onda desde o largo até à zona de rebentação é bastante simples, resultando em alturas e direcções de incidência das ondas longitudinalmente variáveis, em função da orientação da linha de rebentação, cuja variação espacial é imposta pela topo-hidrografia.

Quando na sua propagação em direcção à costa, a onda encontra um obstáculo, como um esporão ou um quebramar, dá-se o fenómeno da difração, que consiste na transmissão lateral de energia e atenuação da altura de onda na direcção da frente de onda. Surge então um determinado padrão de alturas de onda na zona abrigada pelo obstáculo, que pode ser representado pelo quociente entre a altura de onda em cada ponto, $P(x, y)$, e a altura

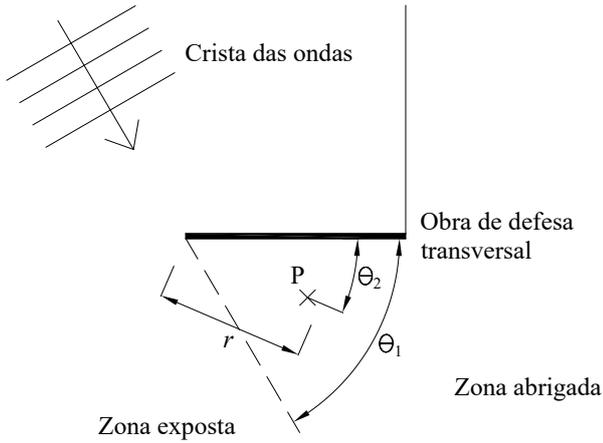


Figura 2 - Variáveis utilizadas na caracterização da difração, num ponto P, localizado na zona abrigada de uma obra de defesa transversal, esporão ou quebramar (Coelho, 2005).

de onda incidente, e que é habitualmente designado por coeficiente de difração, K_d , Figura 2 - Variáveis utilizadas na caracterização da difração, num ponto P, localizado na zona abrigada de uma obra de defesa transversal, esporão ou quebramar (Coelho, 2005)..

Na versão inicial do modelo LTC, Coelho (2005) incorporou um método para o cálculo do coeficiente de difração em regiões abrigadas por estruturas costeiras, baseando-se nos resultados do ábaco apresentado por Sorensen *et al.* (2003), para uma onda com uma direção de incidência que faz um ângulo de 60° com um quebramar semi-infinito. Após alguma análise o autor

$$K_d = C_1 + \left(\frac{e^{-\frac{2r}{L_i}} + 0,01 \frac{r}{L_i} + 0,2}{1,2} \right) C_2 \quad (11)$$

generalizou matematicamente o ábaco, para uma onda com um comprimento de onda incidente, L_i , com uma direção de incidência definida através do ângulo θ_1 , Figura 2, definindo o coeficiente de difração num ponto $P(x,y)$, que se encontra a uma distância r da extremidade do quebramar semi-infinito, segundo uma direção que faz um ângulo θ_2 com a direção do ponto de difracção, pela seguinte equação:

$$H_b = K_d K_s K_r H_0 \quad (12)$$

onde, $C_1 = \left(1 - \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1}\right)^2$ e $C_2 = 1 - C_1$. Desta forma, a

Equação 5 pode ser modificada de forma a incluir o efeito da difração na presença de estruturas costeiras (considerando $K_d = 1$ no caso de não existirem estruturas), sendo a altura de onda na rebentação obtida através da

$$Q = K \frac{\rho \sqrt{g/\gamma_b}}{16(\rho_s - \rho)(1-n)} H_{sb}^{5/2} \sin(2\theta_b) \quad (13)$$

$$Q = 2,27 H_{sb}^2 T_p^{1,5} m_b^{0,75} d_{50}^{-0,25} \sin^{0,6}(2\theta_b) \quad (14)$$

expressão seguinte:

2.1.2 Transporte longitudinal de sedimentos

O modelo LTC inclui duas formulações para a estimativa da taxa de transporte longitudinal de sedimentos: a fórmula CERC (1984), traduzida pela Equação 13, e uma fórmula desenvolvida por Kamphuis *et al.* (1986), com base num estudo em modelo físico com fundos móveis (Equação 14).

onde K representa um coeficiente empírico, ρ a massa volúmica da água, ρ_s a massa volúmica da areia, g a aceleração da gravidade, n a porosidade da areia, γ_b o índice de profundidade de rebentação, H_{sb} a altura de onda significativa na rebentação, θ_b o ângulo de incidência da onda na rebentação, T_p o período de pico do espectro da agitação marítima ao largo, m_b o declive de praia que causa a rebentação, e d_{50} o diâmetro mediano dos sedimentos.

O utilizador pode escolher uma das duas opções disponíveis para, a partir dos valores encontrados para as características da onda na rebentação, das propriedades da água e dos sedimentos e da topo-hidrografia, fazer uma estimativa da taxa potencial de transporte longitudinal, ao longo do sector costeiro modelado. A taxa de transporte sedimentar efetiva é em geral inferior à taxa potencial estimada, sendo limitada pela disponibilidade

$$\Delta V = (Q_i - Q_{i-1} + Q_{ext}) \Delta t = (\Delta Q + Q_{ext}) \Delta t \quad (15)$$

sedimentar ao longo do sector costeiro.

2.1.3 Balanço de massa e evolução do perfil transversal

Discretizando a equação da conservação de massa

(Equação 1) em intervalos de tempo Δt , a análise ao longo da linha de costa para trechos de comprimento Δy ,

$$\Delta z = \frac{\Delta V}{(\text{largura ativa})\Delta y} \quad (16)$$

permite relacionar a variação de volume com a variação no tempo dos caudais sólidos em transporte:

Considera-se que $Q_{ext} = q_{ext} \Delta y$ e que a variação do volume de areia (ΔV) no comprimento Δy é distribuída uniformemente em toda a largura ativa do perfil transversal, representando uma variação na cota dos pontos do perfil igual a Δz . Assim, a Equação 16 permite o cálculo da alteração no perfil transversal representativo do trecho Δy , por variação do volume de areia ΔV .

A variação do caudal sólido em transporte no comprimento Δy resulta da diferença entre os volumes que entram (Q_i) e que saem (Q_{i-1}) do trecho de comprimento Δy em cada intervalo de tempo Δt . Os volumes sólidos em transporte no intervalo Δt dependem essencialmente das características da onda na rebentação (altura e orientação) sendo calculados para cada comprimento de linha de costa Δy , de acordo com o critério definido pelo utilizador, recorrendo a uma das expressões propostas (Equação 13 ou 14).

$$R_u = 0,27(\tan \beta H_0 L_0)^{1/2} \quad (17)$$

$$DoC = 2,28H_0 - 68,5 \left(\frac{H_0^2}{gT^2} \right) \quad (18)$$

$$DoC = 1,75H_0 - 57,9 \left(\frac{H_0^2}{gT^2} \right) \quad (19)$$

Admite-se que a extensão do perfil para a qual há variação morfológica significativa corresponde à largura do perfil ativo de praia, limitado pelas posições em planta correspondentes ao limite de espraiamento máximo da onda (R_u) e à profundidade de fecho (DoC). O limite de espraiamento da onda é calculado no LTC através da formulação de Ruggiero *et al.* (1997), Equação 17, e para o cálculo da profundidade de fecho o modelo LTC tem disponíveis duas formulações, Hallermeier (1978) e Birkemeier (1985), respetivamente, Equação 18 e 19.

onde $\tan \beta$ representa o declive da face da praia (equivalente a m_b).

A Figura 3 representa uma das principais diferenças

entre o modelo LTC e os modelos de uma linha, em particular o GENESIS, onde qualquer ponto do perfil ativo é suficiente para caracterizar a alteração da posição da linha de costa (Δx). No modelo LTC procede-se à variação uniforme das cotas dos pontos situados no perfil ativo, no entanto, procede-se também ao ajuste do perfil ativo com as zonas adjacentes, tendo em conta os seguintes aspetos: em situação de acreção, quando o talude de cálculo tem uma inclinação superior ao ângulo de atrito que caracteriza as areias, é considerado o deslizamento das areias para zonas mais profundas. Na zona emersa, a acumulação de sedimentos prolonga a praia na horizontal, ou com um declive definido pelo utilizador. Em situações de erosão, para evitar a escavação continuada na zona da largura ativa, o volume que aprofundaria o perfil é na prática subtraído da zona mais alta do mesmo. Nesta zona, caso existam taludes de cálculo com inclinação superior ao ângulo de atrito das areias, dá-se também o deslizamento, com conseqüente correção das formas do perfil. O número de células adjacentes onde é feito o ajuste do perfil vai depender do ângulo do talude de cálculo (o ajuste é feito até que este seja inferior ao ângulo de atrito, na zona imersa, ou, na zona emersa, até que a praia se prolongue na horizontal ou segundo um ângulo definido pelo utilizador).

2.2 Estrutura computacional

O esquema da Figura 4 representa, de forma simplificada, a estrutura computacional do modelo LTC, desenvolvido em linguagem de programação *FORTRAN*. A topohidrografia deve ser fornecida no início da execução do modelo, sendo atualizada a cada passo de tempo computacional. É efetuada a propagação das ondas sobre a batimetria real, sendo estimadas as características da onda na rebentação. São calculadas as taxas de transporte sólido longitudinal no domínio computacional e o balanço dos volumes em transporte para cada trecho de costa, após o que é efetuada a atualização das cotas do fundo e calculada a nova topohidrografia.

Para facilitar alterações e potenciar alternativas em métodos de cálculo, o programa é composto por sub-rotinas relativamente diferenciadas e de pequena extensão, aumentando a simplicidade e compreensão de cada uma delas. O programa principal recorre a estas sub-rotinas ao longo do processo de cálculo automático. A interligação entre as diferentes sub-rotinas, bem como a descrição de cada uma delas, pode ser consultada em Coelho (2005).

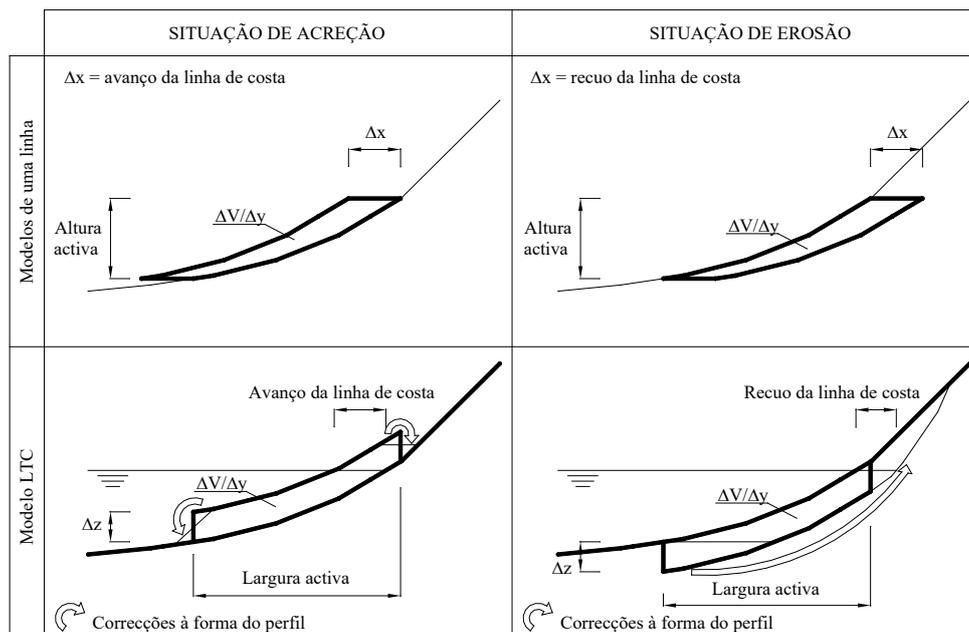


Figura 3 - Representação esquemática da formulação de base nos modelos de uma linha e no modelo LTC (Coelho, 2005).

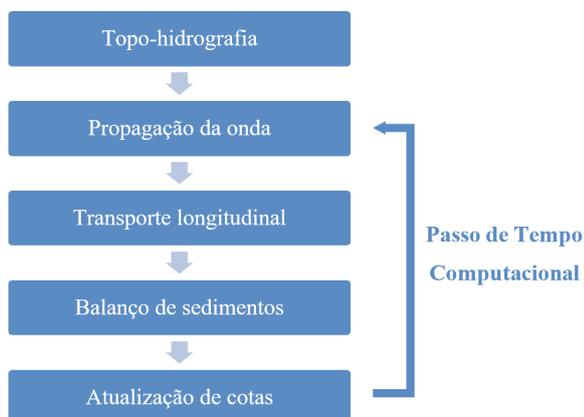


Figura 4 - Estrutura computacional do modelo LTC (baseado em Silva, 2010).

3. EVOLUÇÃO DO MODELO LTC

No sentido de colmatar as lacunas e limitações da versão inicial do modelo, algumas delas identificadas em Coelho (2005) e outras detetadas com a sua utilização, o modelo tem sido alvo de evolução, não só na Universidade de Aveiro, onde surgiu a versão inicial, como na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Descrevem-se em seguida as duas versões existentes até à data, nomeadas de acordo com o autor e o ano de desenvolvimento.

3.1 Versão LTC-RS2010

Silva (2010) realizou uma série de testes genéricos, com o objetivo de demonstrar as potencialidades e limitações do modelo, bem como a sensibilidade do seu desempenho à variação dos muitos parâmetros intervenientes na sua formulação. A análise dos resultados destes testes permitiu uma otimização do desempenho do modelo, através de modificações pontuais do código. Descrevem-se em seguida, as alterações concretizadas por Silva (2010) que originaram a versão LTC-RS2010.

- Implementação de um método alternativo para o cálculo da difração: Silva (2010) incorporou no modelo LTC o método expedito de Kraus (1984), como alternativa ao existente para a estimativa dos coeficientes de difração junto a obstáculos. O modelo LTC passou assim a dispor de um método adicional para o cálculo da difração, devendo a seleção do método ser efetuada pelo utilizador.
- Definição de um critério de estabilidade numérica: Silva (2010) analisou a adequabilidade de um critério de estabilidade numérica (Kamphuis, 2000), implementando uma nova subrotina de cálculo que permite a escolha do passo de

$$\frac{Q}{(DoC + R_u)\theta_b} \frac{\Delta t}{\Delta y^2} < \frac{1}{2} \quad (20)$$

tempo que garante que o critério de estabilidade numérica é respeitado. O passo de tempo crítico é determinado em função das características da agitação marítima na rebentação, da altura do perfil ativo e da resolução da malha segundo a direção longitudinal (Equação 20). Com esta alteração, os resultados modificaram-se, observando-se a atenuação no tempo do efeito de recuo e variabilidade da posição da linha de costa ao longo do sector modelado (para mais detalhes, consultar Silva, 2010).

- Definição da profundidade de fecho: no caso de um clima de agitação marítima variado no tempo, para cada onda é estimada uma *DoC*. Silva (2010) implementou no modelo a possibilidade de se considerar uma *DoC* que permanece constante no decurso das simulações, estimada através da formulação original de Hallermeier (1978), para valores conhecidos da altura de onda significativa que é excedida 12 horas/ano, $H_{s,0.137}$, e do período de onda significativo médio.
- Controlo das obras de defesa transversais: a condição numérica que identifica a presença de estrutura de defesa foi modificada, para que se mantivesse o controlo da posição, mesmo quando o limite de espraçamento não se situa no ponto da grelha correspondente à cabeça do esporão.

3.1 Versão LTC-CC2012

Com o objetivo de melhorar o desempenho do modelo LTC e colmatar algumas das lacunas identificadas por Silva (2010), a versão LTC-RS2010 foi alvo de alterações originando assim a versão LTC-CC2012.

- Adição de duas novas metodologias de consideração da agitação marítima, passando a

ser possível a geração aleatória de uma sequência de ondas sistematicamente igual, representativa de um ano típico de agitação, com base nas percentagens de ocorrência em diferentes classes de altura de onda e de rumo de proveniência, e a leitura de uma série temporal específica (com base em registos), através do ficheiro “wave.dat”.

- Correção no cálculo de volumes: foi corrigido o cálculo dos volumes reais disponíveis para transporte numa situação genérica, em que num determinado instante de tempo o perfil estivesse a perder sedimentos simultaneamente para Norte e para Sul, sem ter capacidade de alimentar realmente esse transporte.
- Atenuação do efeito erosivo a sotamar de um esporão: foi introduzida a opção de atenuar o efeito erosivo na zona a sotamar dos esporões. Nestes casos, a profundidade de fecho avança no sentido das maiores profundidades, aumentando a largura do perfil ativo a sotamar do esporão, permitindo distribuir o défice sedimentar que tipicamente aí ocorre, por uma maior largura do perfil transversal, diminuindo por isso o impacto do efeito erosivo nessa zona.
- Verificação da variação das cotas do terreno: foi incorporada uma verificação das cotas do terreno, ao longo da direção longitudinal, para toda a largura ativa da área modelada. Esta verificação corresponde a um filtro que elimina grandes variações de cotas do terreno, ao longo da direção longitudinal à costa. A variação máxima é definida pelo utilizador através do valor introduzido para o ângulo de inclinação longitudinal do terreno.
- Controlo da evolução do perfil transversal: foi introduzida uma nova opção de controlo da

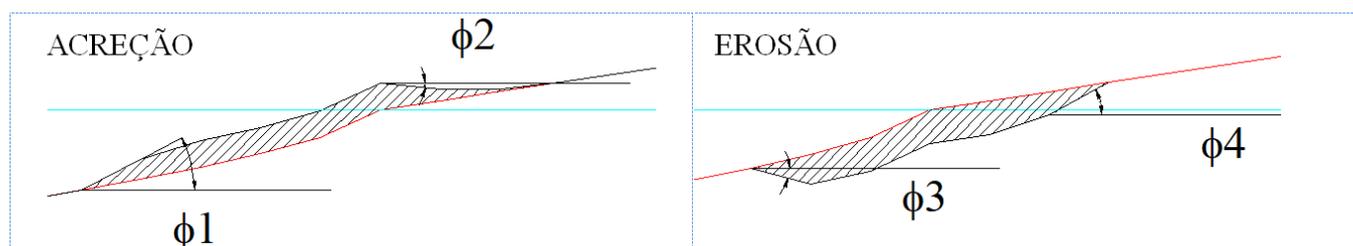


Figura 5 - Representação dos ângulos máximos do terreno com a horizontal, submersos e emersos, em situação de acreção e erosão.

evolução da forma do perfil transversal ao longo da simulação. Esta modalidade de controlo da evolução dos perfis transversais permite a existência de inclinações negativas ao longo do perfil transversal (Figura 5), o que permitirá uma mais fácil inclusão de uma opção futura para quebramares destacados. Foi também assegurado o controlo da evolução do perfil, em situações de dragagens (ou seja, operações de alimentação artificial de areias, introduzindo volumes negativos).

4. APLICAÇÃO DO LTC

O modelo LTC, desde o seu desenvolvimento, tem vindo a ser utilizado em diversos estudos e projetos, dando origem a inúmeras publicações, nomeadamente, artigos científicos e dissertações de mestrado e doutoramento (Figura 6 - Número de publicações onde se descrevem aplicações do modelo numérico LTC.). Desta forma, apresenta-se um levantamento de todos os trabalhos onde o modelo numérico LTC foi utilizado, no sentido de identificar o tipo de análises que já foram efetuadas e potenciais problemas detetados na sua aplicação. A comparação do desempenho do modelo com outros modelos numéricos de evolução da linha de costa, nomeadamente o GENESIS, e com resultados de modelação física à escala reduzida (realizados na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) já foi concretizada em alguns dos trabalhos descritos em seguida e valida os resultados obtidos com o modelo LTC.

Na generalidade dos trabalhos, o modelo LTC foi aplicado à costa noroeste portuguesa, na maioria das vezes, a sul do porto de Aveiro (trechos Barra - Costa Nova - Vagueira - Areão - Mira), em trabalhos desenvolvidos por Coelho *et al.* (2004, 2006b, 2006c, 2006d, 2009,

2010), Coelho e Veloso-Gomes (2005a, 2005b), Silva *et al.* (2007a, 2011), Carpinteiro (2009), Pereira (2010), Reis (2010), Rodrigues (2010), Alves (2012), Coelho e Pereira (2013), Pereira e Coelho (2013), Pereira *et al.* (2013), Baptista *et al.* (2014), Bertucco (2014), Dias *et al.* (2014), Guimarães (2014) e Guimarães *et al.* (2016). O modelo foi também aplicado à parte norte do distrito de Aveiro, nos trechos Esmoriz - Furadouro - S. Jacinto (Coelho e Pereira, 2013, Pereira *et al.*, 2013, Dias *et al.*, 2014 e Cruz, 2015) e à zona a sul do quebramar portuário da Figueira da Foz (Coelho *et al.*, 2006d). Os trabalhos desenvolvidos por Silva *et al.* (2007b), Almeida (2011) e Roebeling *et al.* (2011) foram aplicados a toda a costa noroeste portuguesa e os trabalhos de Coelho *et al.* (2006a, 2013), Oliveira (2012), Bertucco (2014), Rodeia (2014) e Guimarães *et al.* (2015) traduzem análises aplicadas a casos de estudo hipotéticos.

A classificação da vulnerabilidade de uma determinada zona e a construção de mapas de risco foram objetivos dos trabalhos desenvolvidos por Coelho e Veloso-Gomes (2005b), Coelho *et al.* (2006b e 2006c), Pereira (2010), Pereira e Coelho (2013) e Dias *et al.* (2014). As consequências na evolução da linha de costa provocadas pelas alterações climáticas, nomeadamente a subida do nível do mar e alterações da agitação marítima, foram alvo de estudo nos trabalhos desenvolvidos por Coelho *et al.* (2009), Pereira (2010), Coelho e Pereira (2013), Pereira e Coelho (2013) e Dias *et al.* (2014). Coelho *et al.* (2006d) recorreram ao modelo LTC para análise dos riscos da erosão acentuada que se verifica a sotamar dos quebramares portuários de Aveiro e da Figueira da Foz e Silva *et al.* (2007a) desenvolveram um estudo de previsão da evolução do comportamento do sistema praia-duna no litoral de Aveiro, uma vez que o acentuado recuo da linha de costa nesta zona faz antecipar a rutura do sistema dunar. Ainda no sentido de compreender as causas e o impacto da erosão acentuada que se verifica

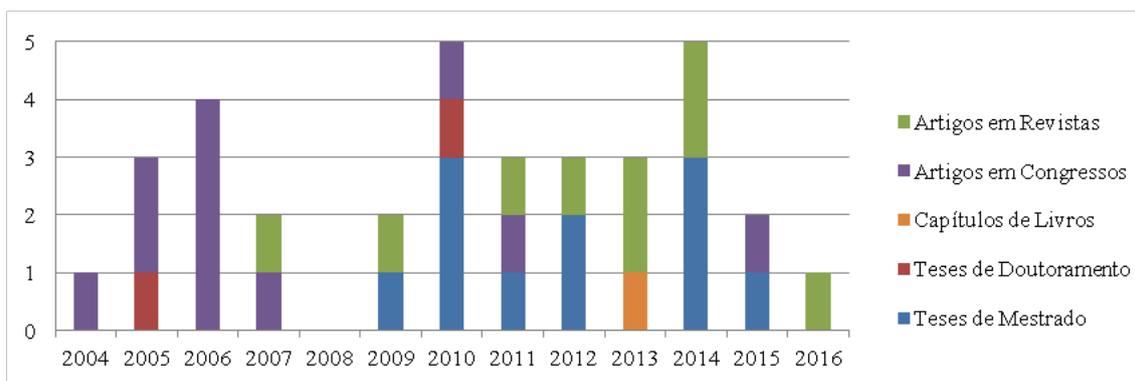


Figura 6 - Número de publicações onde se descrevem aplicações do modelo numérico LTC.

na costa noroeste portuguesa, Silva *et al.* (2007b) utilizaram o modelo LTC para sustentar a discussão entre a importância relativa das causas da erosão.

Coelho *et al.* (2006a) aplicaram o modelo a um caso de estudo hipotético, com o objetivo de simular cada uma das intervenções de defesa disponíveis pela modelação com o LTC: entrada de sedimentos no sistema através de um ponto fixo (simulando o efeito de um rio); alimentações artificiais de praia; esporões e campos de esporões; obras longitudinais aderentes; e o efeito combinado das opções anteriores. A aplicação do modelo LTC ao estudo de alimentações artificiais de praia foi também realizada nos trabalhos desenvolvidos por Carpinteiro (2009), Coelho *et al.* (2010) e Rodrigues (2010), que simulam a transposição de areias da praia de S. Jacinto para as praias localizadas a sul e estudam a gestão de sedimentos no trecho costeiro a sul do quebramar portuário.

Reis (2010), Almeida (2011), Roebeling *et al.* (2011), Alves (2012), Oliveira (2012) e Cruz (2015) desenvolveram análises de custo-benefício e análises económico-ambientais da implantação de obras de defesa costeira e utilizaram o modelo numérico LTC para quantificação das áreas de erosão e acreção ao longo do tempo (benefícios). Alves (2012) e Oliveira (2012) incidiram o estudo na análise de esporões, Cruz (2015) em obras longitudinais aderentes e Reis (2010) e Roebeling *et al.* (2011) analisaram, para além dos dois tipos de intervenção anteriores, alimentações artificiais de praia.

O modelo LTC foi também aplicado por vários autores para análise do impacto da construção de um esporão na hidrodinâmica e na evolução da linha de costa. Bertucco (2014) analisou o efeito da difração a sotamar de estruturas transversais na evolução da linha de costa e Rodeia (2014) analisou a evolução da linha de costa a barlar da estrutura. Ainda relativamente à análise de esporões, nos trabalhos desenvolvidos por Silva *et al.* (2011), Guimarães (2014) e Guimarães *et al.* (2016) os resultados da aplicação do modelo LTC foram comparados/validados com os resultados obtidos em modelo físico, com o objetivo de melhorar o desempenho do modelo numérico. Nos dois últimos trabalhos referidos, os resultados do modelo numérico foram ainda comparados com o modelo analítico de Pelnard-Considère (1956).

Pereira *et al.* (2013), Baptista *et al.* (2014), Bertucco (2014) e Dias *et al.* (2014) recorreram à utilização do modelo LTC em simultâneo como o modelo GENESIS, com o objetivo de comparar o desempenho de ambos os modelos e validar os resultados do modelo LTC. Ainda relativamente à comparação dos dois modelos, Coelho *et al.* (2013) analisaram a influência da definição da largura ativa. Os pressupostos de definição dos limites da largura

ativa diferem para ambos os modelos, desencadeando diferenças nos resultados e consequentemente na posição da linha de costa (Coelho *et al.*, 2013).

Nos trabalhos desenvolvidos por Bertucco (2014), Guimarães (2014), Cruz (2015) e Guimarães *et al.* (2015) foram ainda desenvolvidas análises de sensibilidade a determinados parâmetros do modelo LTC. No primeiro trabalho foram analisados o passo de cálculo temporal, a variação da largura do perfil ativo a sotamar e os ângulos de atrito dos sedimentos. Guimarães (2014) e Guimarães *et al.* (2015) analisaram a variação da largura do perfil ativo a sotamar, os ângulos de atrito dos sedimentos, a batimetria inicial e as fórmulas de cálculo do transporte sedimentar. Por último, em Cruz (2015), foram feitos testes de sensibilidade à variação da agitação marítima (constante e variável), ao parâmetro empírico e ao passo de cálculo temporal da simulação.

Outros trabalhos de aplicação do LTC tiveram por objetivo apresentar o modelo (Coelho *et al.*, 2004 e Coelho e Veloso-Gomes, 2005b) e a sua validação, comparando o desempenho com outros modelos e com dados de campo (Baptista *et al.*, 2014). Na avaliação de todos os trabalhos verifica-se a aplicação em horizontes temporais de simulação que variam entre os 10 e os 100 anos, em trechos costeiros com uma extensão máxima de 35 km (não sendo recomendável a simulação de trechos mais extensos).

Na abordagem feita aos trabalhos de aplicação do LTC foram detetados alguns problemas no funcionamento e identificadas sugestões de melhoria. Guimarães (2014) detetou problemas na utilização da nova opção de controlo da evolução do perfil transversal (versão LTC-CC2012) e Rodeia (2014) registou a ocorrência de instabilidades numéricas quando consideradas alturas de onda superiores a 6 metros nas simulações do caso de estudo. Coelho e Veloso-Gomes (2005a) sugerem melhorias no modelo ao nível da caracterização da granulometria das areias, da validade do pressuposto do cálculo da profundidade de fecho, da influência da variação da agitação marítima no cálculo do transporte sedimentar, na avaliação de forma mais precisa da inclinação da praia e do impacto de se considerar constante a distribuição transversal dos sedimentos em transporte.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo numérico LTC apresenta já um vasto campo de aplicação e continua a permitir a incorporação de alterações e alternativas de cálculo, com vista ao melhoramento do seu desempenho. Por este motivo, pretendeu-se com este trabalho reunir toda a informação relativa ao modelo LTC desde o seu desenvolvimento, em 2005. Assim, foi descrito o modelo e apresentados

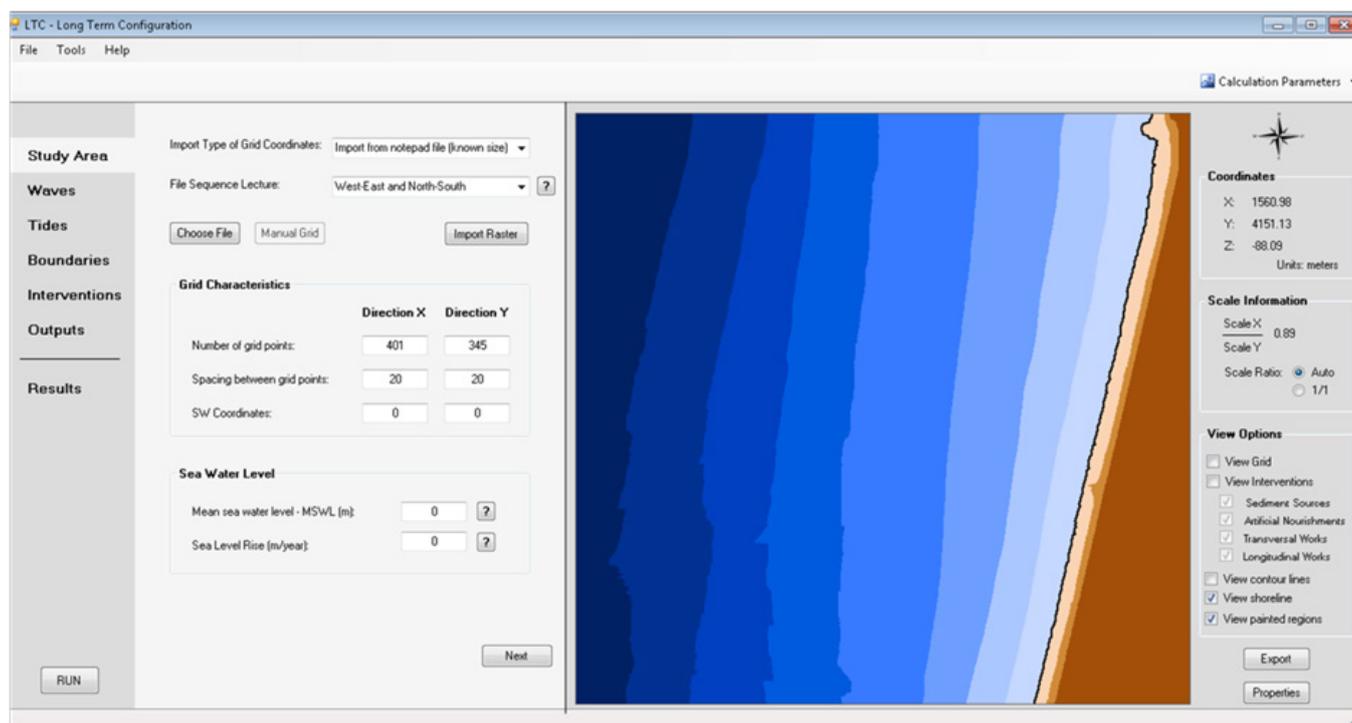


Figura 7 - Janela da interface gráfica em desenvolvimento para o modelo numérico LTC.

os pressupostos em que se baseia, foram enumeradas as alterações feitas na versão inicial, que resultaram na versão LTC-RS2010 e LTC-CC2012, e foi realizado um levantamento de todos os trabalhos onde foi aplicado o modelo, de forma a auxiliar os utilizadores na sua compreensão e aplicação.

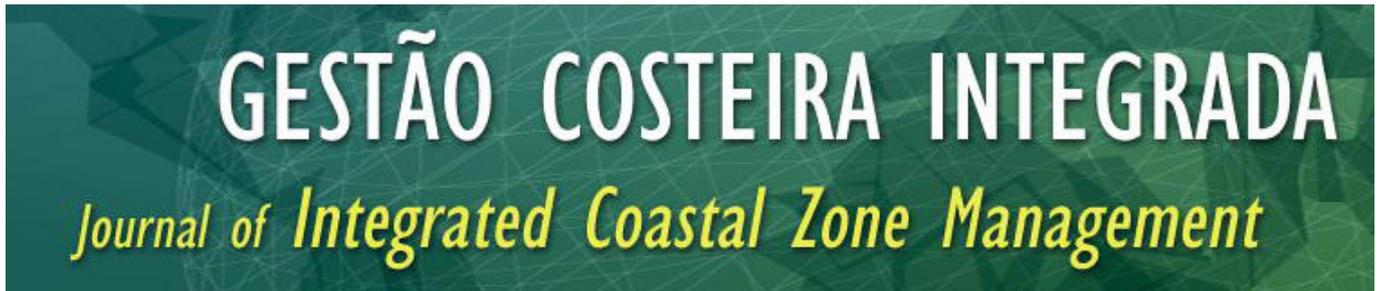
De referir ainda que está em desenvolvimento uma interface gráfica para o modelo numérico LTC (Figura 7) e uma nova versão do algoritmo de evolução da linha de costa (versão LTC-ML2016), que pretendem facilitar a interação com o utilizador e melhorar o desempenho do modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, P. (2011). Análise económico-ambiental de alimentação artificial de praias. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 84p.
- Alves, T. (2012). Análise económico-ambiental espacial de esporões no centro de Portugal. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 119p.
- Baptista, P., Coelho, C., Pereira, C., Bernardes, C. e Veloso Gomes, F. (2014). Beach Morphology and Shoreline Evolution: Monitoring and Modeling Medium-Term Responses (Portuguese NW Coast Study Site). *Coastal Engineering Journal*, Elsevier, 84: 23-37.
- Bertucco, G. (2014). Modeling the Diffraction Effects of Coastal Structures in the Shoreline Evolution. Dissertação de Mestrado, Università Degli Studi Di Padova, Dipartimento di Ingegneria Civile, Padova, Itália, 125p.
- Birkemeier, W. A. (1985). Field Data on Seaward Limit of Profile Change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 111:3, pp. 598-602.
- Carpinteiro, F. (2009). Transposição Artificial de Areias na Barra de Aveiro. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 84p.
- CERC (1984). *Shore Protection Manual*. DC: U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering and Research Center, U.S. Government Printing Office.
- Coelho, C., Taveira-Pinto, F., Veloso-Gomes, F. e Pais-Barbosa, J. (2004). Coastal Evolution and Coastal Works in the southern part of Aveiro Lagoon Inlet, Portugal. *Proceedings of the 29th International Conference on Coastal Engineering*, Lisboa, Portugal, Vol. 4, pp. 3914-3926.
- Coelho, C. (2005). Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 405p.
- Coelho, C. e Veloso-Gomes, F. (2005a). Um Modelo de Previsão de Evolução de Zonas Costeiras Arenosas, a Médio e Longo Termo. 4º Congresso Luso Moçambicano de Engenharia, Maputo, Moçambique, pp. 425-439.
- Coelho, C. e Veloso-Gomes, F. (2005b). Classificação de Vulnerabilidades e Riscos como Contributo no Planeamento das Zonas Costeiras. *Trabalhos do III Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, Maputo, Moçambique.
- Coelho, C., Silva, R. e Veloso-Gomes, F. (2006a). Shoreline Evolution Model – A Tool to Compare Coastal Protection Measures. *Coastal Dynamics, Geomorphology and Protection*, 8th International Conference LITTORAL 2006 - Coastal Innovations and Initiatives, Gdansk, Polónia, pp. 115-123. ISBN 83 88617 82-6.

- Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F. e Taveira-Pinto, F. (2006b). Avaliação de Riscos. Modelos de Previsão da Evolução da Configuração Costeira. Recursos Hídricos e Ambiente las Jornadas de Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, pp. 17-25. ISBN 978-989-95557-0-9.
- Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F. e Taveira-Pinto, F. (2006c). A Vulnerability Analysis Approach for the Portuguese West Coast. Risk Analysis 2006 - Fifth International Conference on Computer Simulation in Risk Analysis and Hazard Mitigation, Malta, edited by V. Popov & C.A. Brebbia, Wessex Institute of Technology, UK, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 91, pp. 251-262. ISBN 1-84564-172-8.
- Coelho, C., Veloso-Gomes, F. e Silva, R. (2006d). Shoreline Coastal Evolution Model: Two Portuguese Case Studies. Coastal Engineering 2006, Proceedings of the 30th International Conference on Coastal Engineering, San Diego, USA, Vol. 4, pp. 3430-3441. ISBN 978-981-270-992-9.
- Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F. e Taveira-Pinto, F. (2009). Potential Effects of Climate Change on NW Portuguese Coastal Zones. ICES Journal of Marine Science 66:1497-1507.
- Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F. e Rodrigues, L. (2010). Artificial nourishment and sand by-passing in the Aveiro inlet, Portugal - Numerical studies. Proceedings of the Coastal Engineering Conference.
- Coelho, C., Lima, M. e Veloso-Gomes, F. (2013). Relationship between cross-shore active profile and one-line shoreline evolution models performance. Journal of Coastal Research, SPEC. ISSUE 65, 2107-2112.
- Coelho, C. e Pereira, C. (2013). Previsão de Recuo da Linha de Costa. In: Dias, J. M. & Alves, F. L. (Eds), Risco de Cheias e Estratégias de Adaptação para a Zona Costeira e Lagunar da Ria de Aveiro, Universidade de Aveiro, CESAM - Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Aveiro, pp. 22-26.
- Cruz, T. S. (2015). Análise Custo-Benefício de Obras Longitudinais Aderentes. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 160p.
- Dabees, M. A. e Kamphuis, J. W. (1998). ONELINE, A Numerical Model for Shoreline Change. In: 26th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark, American Society of Civil Engineers, pp. 2668-2681.
- Dean, R. G. e Dalrymple, R. A. (1994). Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. Advanced Series on Ocean Engineering, Englewood Cliffs, New Jersey: World Scientific, ISBN 978-981-02-0421-1, 368p.
- Deltares (2016). Deltares. Enabling Delta Life. UNIBEST Software. <https://www.deltares.nl/en/software/unibest-cl/>. Última visualização a 30 de Maio de 2016.
- DHI (2009). An Integrated Modelling System for Littoral Processes and Coastline Kinetics. A Short Description and Tutorial. 14p.
- Dias, J. M., Lopes, C. L., Coelho, C., Pereira, C., Alves, F. L., Sousa, L. P., Antunes, I. C., Fernandes, M. L. e Philips, M. R. (2014). Influence of mean sea level rise on Ria de Aveiro littoral: adaptation strategies for flooding events and shoreline retreat. A.N. and Cooper In: Green, J.A.G. (eds.), Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa), Journal of Coastal Research, Special Issue No. 70, pp. 320-325. ISSN 0749-0208.
- Gravens, M. B., Kraus, N. C. e Hanson, H. (1991). GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change. Report 2, Workbook and System User's Manual, U. S. Army Corps of Engineer, 431p.
- Guimarães, A. (2014). Ensaio em Modelo Físico e Numérico do Impacto de um Esporão. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 123p.
- Guimarães, A., Lima, M., Coelho, C., Silva, R. e Veloso-Gomes, F. (2015). Análise Paramétrica do Transporte Sedimentar a Barlamar de um Esporão: Impacto na Evolução da Linha de Costa. Trabalhos do VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 14 a 16 de Outubro, Aveiro, Portugal, 2A2_Artigo_033, 15p. ISBN 978-989-8509-13-0.
- Guimarães, A., Lima, M., Coelho, C., Silva, R. e Veloso-Gomes, F. (2016). Groin impacts on updrift morphology: Physical and numerical study. Coastal Engineering, 109, 63-75.
- Hallermeier, R. J. (1978). Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion. Proceedings, 16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, pp.1493-1512.
- Hanson, H. (1989). GENESIS - A Generalized Shoreline Change Numerical Model. Journal of Coastal Research, 5(1), Charlottesville (Virginia), ISSN 0749-0208, pp. 1-27.
- Hanson, H. e Kraus, C. (1989). GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change. Report 1, Technical Reference, Technical Report CERC-89-19, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS, 185p.
- Hanson, H., Aarninkhof, S., Capobianco, M., Jiménez, J. A., Larson, M., Nicholls, R. J., Plant, N. G., Southgate, H. N., Steetzel, H. J., Stive, M. J. F. e De Vriend, H. J. (2003). Modelling of Coastal Evolution on Yearly to Decadal Time Scales. Journal of Coastal Research, 19, 4, pp. 790-811.
- Kamphuis, J. K., Davies, M. H., Nairn, R. B. e Sayao, O. J. (1986). Calculation of Littoral Sand Transport Rate. Coastal Engineering, Nº 10, pp. 1-21.
- Kamphuis, J. W. (2000). Introduction to Coastal Engineering and Management. Advanced Series on Ocean Engineering, Singapore: World Scientific, 437p. ISBN 981-02-3830-4.
- Kraus, N. C. (1984). Estimate of Breaking Wave Height behind Structures. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 110:2, pp. 276-282.
- Oliveira, A. (2012). Discussão do custo e benefício das intervenções de defesa costeira. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 91p.
- Pelnaud-Considère, R. (1956). Essai de Theorie de l'Evolution des Forms de Rivage en Plage de Sable et de Galets (in French). 4th Journees de l'Hydraulique, Les Energies de la Mer, Question III, Rapport No. 1, pp. 289-298.
- Pereira, C. (2010). Risco de Erosão para Diferentes Cenários de Evolução do Litoral de Aveiro. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro Aveiro, Portugal, 78p.
- Pereira, C. e Coelho, C. (2013). Mapping Erosion Risk Map under different Scenarios of Climate Change for Aveiro Coast, Portugal. Natural Hazards, Springer, DOI: 10.1007/s11069-013-0748-1.

- Pereira, C., Coelho, C., Ribeiro, A., Fortunato, A., Lopes, C. L. e Dias, J. M. (2013). Numerical modelling of shoreline evolution in the Aveiro coast, Portugal – climate change scenarios. England) Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, pp. 2161-2166, ISSN 0749-0208.
- Reis, E. (2010). Evolução da linha de costa e defesa das zonas costeiras – Análise custo/benefício. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 105p.
- Rodeia, L. (2014). Impacto dos Esporões no Transporte Sedimentar - Formulações e Modelos. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 80p.
- Rodrigues, L. (2010). Gestão de sedimentos na zona costeira - alimentações artificiais. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 97p.
- Roebeling, P., Coelho, C. e Reis, E. (2011). Coastal erosion and coastal defense interventions: a costbenefit analysis. Journal of Coastal Research, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), Szczecin, Poland, pp. 1415-1419. ISSN 0749-0208.
- Ruggiero, P., Kaminsky, G. M., Komar, P. D. e McDougal, W. G. (1997). Extreme Waves and Coastal Erosion in the Pacific Northwest. Ocean Wave Measurement and Analysis, Proceedings of the 3rd International Symposium, Waves '97, pp. 947-961.
- Silva, R., Coelho, C., Taveira-Pinto, F. e Veloso-Gomes, F. (2007a). Coastline Numerical Evolution for Dune-Beach System Adaptation - Analysis in Aveiro Coastal Stretch, Portugal. Conferencia Internacional sobre Restauración y Gestión de las Dunas Costeras, Santander, Espanha, 3 a 5 Outubro 2007, pp. 100-106. ISBN: 978-84-8102-497-5.
- Silva, R., Coelho, C., Veloso-Gomes, F. e Taveira-Pinto, F. (2007b). Dynamic numerical simulation of medium term coastal evolution of the West Coast of Portugal. Journal of Coastal Research, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), 263 – 267, Gold Coast, Australia. ISSN 0749.0208.
- Silva, R. (2010). Avaliação Experimental e Numérica de Parâmetros Associados a Modelos de Evolução da Linha de Costa. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 488p.
- Silva, R., Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F. e Coelho, C. (2011). 3D Movable Bed Model Results Integration in Shoreline Change Model. Seventh International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes - Coastal Sediments '11, Miami, Florida, USA, 2 a 6 de Maio, Eds. Rosati, J.D., Wang, P., Roberts, T.M, World Scientific Publishing. ISBN-13 978-981-4355-52-0.
- Smith, J. M. (2003). Surf Zone Hydrodynamics. In: Vincent, L. (editor), Coastal Engineering Manual, Part II, Coastal Hydrodynamics, Chapter II-4, Engineer Manual 1110-2-1100, U. S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 42p.
- Sorensen, R., Thompson, E. F., Briggs, M., Chasten, M. A. e Lillycrop, L. (2003). Harbour Hydrodynamics. In: Demirbilek, Z. (editor), Coastal Engineering Manual, Part II, Coastal Hydrodynamics, Chapter II-7, Engineer Manual 1110-2-1100, U. S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 98p.
- Vicente, C. M. e Clímaco, M. (2003). Evolução de Linhas de Costa. Desenvolvimento e Aplicação de um Modelo Numérico. Informação Técnica Hidráulica ITH 42, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 167p.



Beliefs on the local effects of climate change: Causal attribution of flooding and shoreline retreat

Perceção e crenças sobre os efeitos locais das alterações climáticas: Atribuição causal de inundações e recuo de linha de costa

Silvia Luís^{@, 1}, Fabiana E.P. Freitas², Nuno Rodrigues², António J.A. Nogueira², Catarina Roseta-Palma³, Maria Luísa Lima⁴, Luísa Pinho², Filomena Cardoso Martins⁵, António Betâmio de Almeida⁶, Góneri Le Cozannet⁷, Vincent Jolivet⁸, Ana I. Lillebø²

@ Autor correspondente: silvia_luis@iscte.pt

¹ ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

² Universidade de Aveiro (UAVER), Departamento de Biologia & Centro de Estudos do Ambiente e do Mar

³ Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), Business Research Unit

⁴ Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), Centro de Investigação e de Intervenção em Psicologia Social

⁵ Universidade de Aveiro (UAVER), Departamento de Ambiente e Ordenamento & Centro de Estudos do Ambiente e do Mar

⁶ Universidade de Lisboa (ULISBOA), Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

⁷ Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

⁸ ACTeon – Environment, Research & Consultancy

ABSTRACT: Adaptation to climate change is a process that should engage different participants, including not only researchers and technicians but also other stakeholders and local individuals and, therefore, it is important to understand their beliefs on the local effects of climate change. Recent studies illustrate a linear relation between coastal distance and scepticism, which is lower in coastal zones than in inland. A possible explanation is that people living inland do not experience (or do not perceive) particular natural hazards as being caused by climate change, or attribute the natural hazards to other causes, apart from climate change. This might influence the relative importance of dealing with direct anthropogenic effects and planning adaptation to climate change. Therefore, the goal of this work was to explore this effect by comparing beliefs on the local effects of climate change in Aveiro region (Portugal), specifically in Baixo Vouga Lagunar (BVL, located in the inner side of Ria de Aveiro Coastal Lagoon, 10 km distance from the coast) with the nearby coastal zone between Esmoriz and Vagueira settlements. Stakeholders were interviewed and local individuals were surveyed in order to explore causal attributions towards relevant local

environmental problems and compare with data available from the coastal zone. Natural hazards concerned flooding in BVL and shoreline retreat in the coastal zone. Results suggest that in BVL both stakeholders and local residents did not attribute local natural hazards to climate change. However, in the coastal zone, local natural hazards were indeed mostly attributed to climate change. This attribution to climate change was further correlated to a higher risk perception of natural hazards in the coastal zone but not in BVL. Thereby, it is important to consider distance from the shoreline in order to promote local processes of adaptation to climate change.

Keywords: causal attribution, risk perception, local individuals, stakeholders, Aveiro Lagoon, anthropogenic activities.

RESUMO: A adaptação às alterações climáticas é um processo que deverá envolver vários atores, incluindo não só académicos e técnicos, mas também atores-chave e residentes, importando compreender as suas perceções quanto às alterações climáticas. Estudos recentes mostram que existe uma relação linear entre a distância a que as pessoas vivem da costa e o quanto acreditam nas alterações climáticas, sendo o ceticismo menor nas zonas costeiras do que no interior. Uma das razões poderá ser o facto de as pessoas que vivem afastadas da costa não estarem expostas diretamente (ou explicitamente) a determinados problemas ambientais como resultado das alterações climáticas, ou atribuíam os problemas ambientais a outras causas que não as alterações climáticas. As diferenças na perceção dos indivíduos quanto às causas dos perigos ambientais naturais podem traduzir-se no estabelecimento de diferentes prioridades para lidar com os efeitos diretos de impactes antropogénicos, bem como condicionar a motivação para a adaptação às alterações climáticas. O estudo pretendeu explorar este efeito da dimensão espacial comparando crenças ambientais na região de Aveiro (Portugal), especificamente no Baixo Vouga Lagunar (BVL, localizado na margem interior do sistema lagunar, Ria de Aveiro, a 10 km da costa), com a zona costeira próxima entre as povoações de Esmoriz e Vagueira. Consistiu na realização de entrevistas a atores-chave e de questionários a residentes, com vista a explorar as atribuições causais dos principais perigos ambientais naturais no BVL, comparando com dados de investigação disponíveis da zona costeira. Focou-se em inundações no BVL, e no recuo da linha de costa, na zona costeira. Os resultados sugerem que tanto os atores-chave como os residentes não tendem a considerar as alterações climáticas como causa dos perigos ambientais no BVL. Contudo, junto à costa, os perigos ambientais são maioritariamente atribuídos às alterações climáticas. A atribuição às alterações climáticas está ainda associada a uma maior perceção de risco dos perigos ambientais no caso da zona costeira, mas não do BVL. Assim, importará considerar a distância à linha de costa para facilitar os processos locais de adaptação às alterações climáticas.

Palavras-chave: atribuição causal, perceção de risco, residentes, atores-chave, Ria de Aveiro, atividades antropogénicas.

1. INTRODUCTION

Climate change is now recognized as a significant problem, validated by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate trends have undergone changes in the long term, and these are expected to continue or increase (IPCC, 2013). Coastal and estuarine zones are particularly sensitive, because they are exposed to extreme natural events and are subjected to pressures from human activities (Kennish, 2002; Lotze et al., 2006; IPCC, 2014). It is expected that changes in climatic parameters will influence the risks associated with weather, with an impact on society and the environment. For the Mediterranean climate region, which includes most of the Portuguese territory, the expected impacts are droughts, an increase in heat waves (in terms of duration and intensity), scarcity of fresh water, and sea level rise (IPCC, 2013; ADAPT-MED, 2015). Other expected impacts in coastal areas correspond to the

effects associated with extreme weather events, such as the increased frequency of intense precipitation events, and consequently the increased frequency and intensity of river flooding, severe storms, coastal erosion (shoreline retreat), and the expansion of saline intrusion in estuaries and adjacent land, with a subsequent loss of habitat (IPCC, 2014).

Adaptation to climate change is a process that should engage different types of participants, including not only researchers and technicians, but also stakeholders and residents. This need has been highlighted in recent years, with the objective of improving the quality of decision-making, promoting greater acceptance of policies and a better understanding of natural hazards, and ensuring the democratic legitimacy of decision-making, not just as mere bureaucratic burden (e.g., Lee et al., 2013). It might also be significant in order to promote protective behaviours and diminish individuals' specific vulnerabilities to climate change (see Garai, 2016).

It is therefore important to understand the different environmental perceptions that these key players have on climate change. Environmental perceptions, such as risk perception, result of how individuals receive and process information from the everyday world and are embedded in a sociocultural and historical web (see Gifford, 2007). Furthermore, there is evidence that scepticism about climate change tends to increase with distance from the coast, possibly because the better-known effects of climate change, such as shoreline retreat, are not experienced first-hand by inland population (Milfont et al., 2014). Climate change beliefs appear to be closely related to individuals' personal experiences (Whitmarsh, 2008). As research typically takes place in coastal zones (for instance, regarding this study area: Pinho, 2012; Schmidt et al., 2014; Luís et al., 2016), it is important to also investigate adjacent areas that are exposed to

climate change. Thus, this study compares whether natural hazards are equally attributed to climate change in a coastal area facing the Atlantic Ocean and in a nearby area facing the inner area of a coastal lagoon.

1.1 Case studies

The coastal zone of Aveiro is vulnerable to the impacts of sea level rise. Recent studies have shown a mean rise of 1.15 (+/- 0.68) mm per year, between 1976 and 2003 (Lopes et al., 2011). The case studies, presented below and described in more detail in supporting information (SI-I_Case study description), correspond to Baixo Vouga Lagunar (BVL), the inland zone where the Ria de Aveiro lagoon joins the Vouga River, at a 10 km distance from the coast (ADAPT-MED, 2015), and to the coastal zone between Esmoriz and Vagueira settlements (Pinho, 2012) (Figure 1). These two areas were chosen for

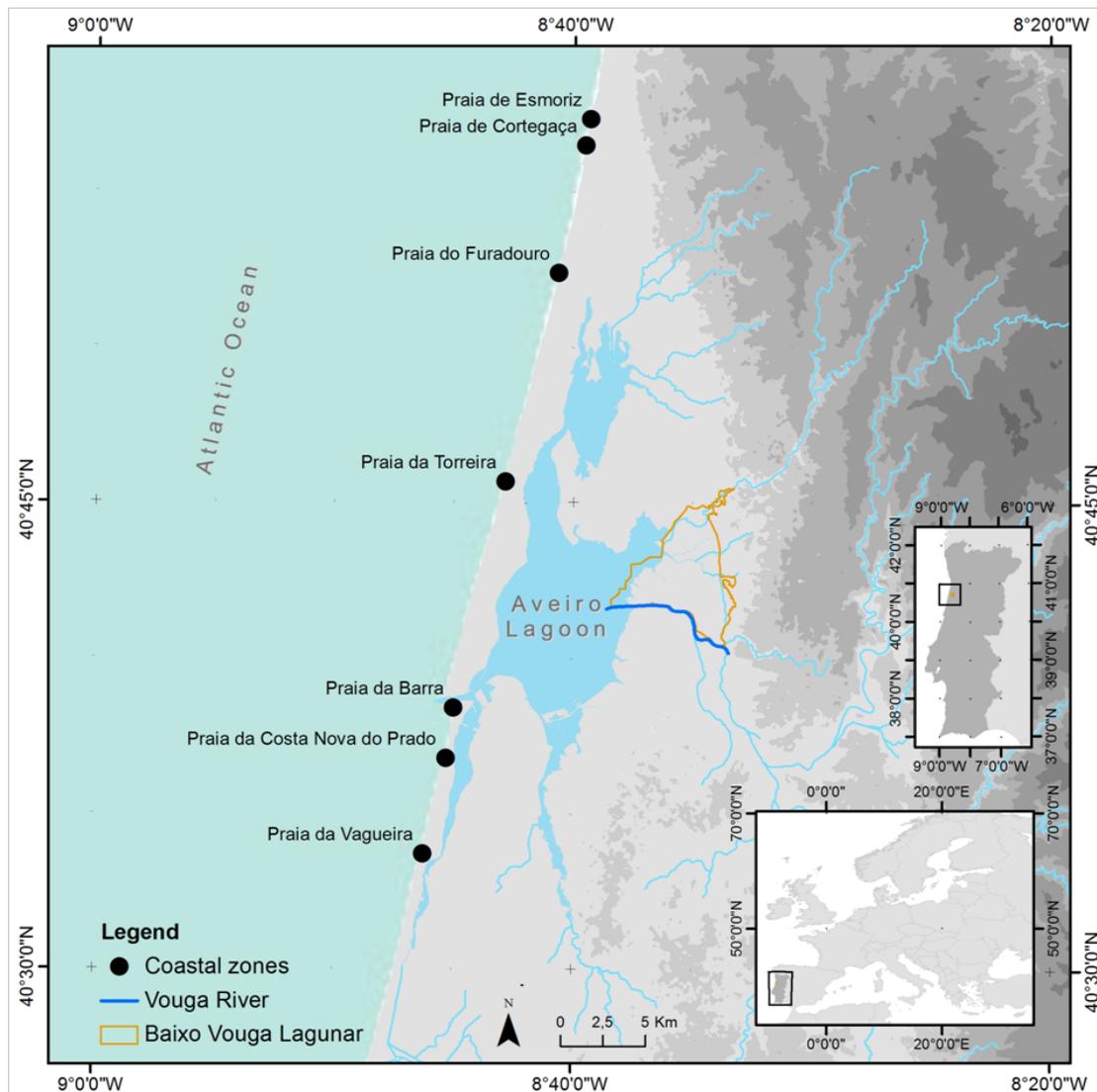


Figure 1 – Study area locations. BVL: inland study area at the coastal lagoon shore at 10 km from the shoreline (BVL - orange limit polygon). Coastal zone: coastal study area represented by settlements located at the shoreline (coastal settlements - black dots).

comparison because populations experiences the same local climatic change, namely, changes in air temperature and precipitation patterns and sea level rise will affect both areas. However, local populations may have distinct perceptions regarding the impacts of climate change, as they experience different natural hazards (e.g. shoreline retreat and floods), and may also experience other present causes that might be overlapping with the climate change impacts, making those less perceptible.

1.1.1 Baixo Vouga Lagunar

BVL is located in the centre of Portugal (40° 43' N, 8° 36' W), comprising the municipalities of Aveiro, Estarreja, and Albergaria-a-Velha, with an area of 3000 ha. BVL is a part of Ria de Aveiro Coastal Lagoon, which is classified as a Special Protected Area, under the Natura 2000 network. It has unique characteristics regarding the landscape units that form the territory ('bocage'- small-holdings with living edges, open fields and wetlands), which result from a strong relation between local individuals, the territory, and water. Human activities, in particular agriculture, have shaped its landscape to make crops and economic sustainability viable. The confluence of the Vouga River with the Ria de Aveiro lagoon takes place in the southeast part of BVL where the equilibrium between the influences of fresh water (of fluvial origin) and brackish water (from the lagoon) is in constant demand. The wetlands areas in BVL include shallow-depth water courses that are influenced by tides (transitional waters from the lagoon), and other fresh water courses (ditches) (ADAPT-MED, 2015), meaning that there is a connectivity between the aquatic habitats from freshwater wetlands to marine/coastal wetlands. This connectivity is particularly relevant during flood events, due to extreme precipitation, as well as during Ocean storm events, due to surface saltwater intrusion. Sea level rise also contributes to surface saltwater intrusion, however direct anthropogenic driven changes in the system hydrology and tidal prism are already causing surface saltwater intrusion, namely in the inner areas of the lagoon. A more detailed description of the BVL in the environmental, socio-economic and climate change context is included as Supporting Information (SI –I_ Case study description).

1.1.2 Coastal zone

The nearby coastal zone is in Esmoriz, Cortegaça, Furadouro, Torreira, Barra, Costa Nova do Prado, and Vagueira beaches, in the municipalities of Ovar, Murto, Ílhavo, and Vagos. This zone is characterized by a dune system that borders the wetlands of Esmoriz and Ria de Aveiro lagoon. It is an area with a significant presence

of natural and forest areas, where the effects of erosion and dune degradation can generally be observed. Dune degradation has been mostly caused by the occupation and urbanization of public domain land (Pinho, 2012).

In this zone, Esmoriz, Cortegaça, Furadouro, and Costa Nova are the most critical situations in terms of coastal risks: densely built areas have led to the implementation of massive coastal defence structures. The erosion is very high, and involves the loss of territory: shoreline retreat has reached in some locations a rate of 12 m per year (CEHIDRO, 2010, cited in Pinho, 2012). It should also be noted that, also in this case, there are causes other than climate change that enhance shoreline retreat. Indeed, even for the worst sea level rise scenarios, shoreline retreat would constitute at most about 10% of the retreat that was actually identified (Silva et al., 2007, cited in Pinho, 2012). A more detailed description of the Coastal zone between Esmoriz and Vagueira settlements, in the environmental, socio-economic and climate change context is included as Supporting Information (SI – Case study description).

1.2 Objective

This study aims to explore whether there are differences in the causal attribution of natural hazards to climate change considering BVL, located 10 km from the coastline, and the coastal zone between Esmoriz and Vagueira settlements. To achieve this goal, stakeholders were interviewed and local individuals answered to a questionnaire. This allowed analysing the perceptions of these two types of key players who might play different roles in the process of adaptation to climate change. Furthermore, because there was data of coastal populations available from Pinho (2012), the BVL questionnaire results were further compared with those of coastal populations. We focused on the most relevant natural hazards: flooding and salt water intrusion in BVL, and shoreline retreat in the coastal zone. Our working hypotheses were that a) stakeholders and residents would not frequently attribute the causes of natural hazards in BVL to climate change, and that b) individuals in BVL would be relatively less prone to attribute natural hazards to climate change, when compared to those in the coastal zone.

2 METHOD

2.1 Baixo Vouga Lagunar Zone

2.1.1 Interview to stakeholders

Twenty-one entities were successfully contacted from the list of parishes, municipalities, public authorities

for water, territory and agriculture, non-governmental entities and private companies that had stakes at the BVL. Following these contacts, 16 local and regional stakeholders provided their informed consent and agreed to be interviewed in 2014. In Table 1, there is a description of the type of stakeholder being interviewed (policy-maker, administration, end-user; either local or regional). Most stakeholders were local and worked in administration. The majority were males (87.5%).

The interview was semi-structured and focused on the

Table 1 – Type of stakeholders interviewed.

Type	Zone	
	Local	Regional
Policy-maker	2	2
Administration	5	2
End-user	2	3

effects of climate change in BVL, among other issues. Interviews were held face to face, transcribed, sent to the stakeholders for content validation, and corrected when pointed out. The interview guideline is available as supporting information (SI – II_Interview and questionnaires).

2.1.2 Survey by questionnaire to local individuals

A convenience sample of 37 students from the University of Aveiro, residing in municipalities that comprise the BVL, gave their informed consent to answer the questionnaire, and were paid EUR 5 for their participation. The study was advertised at classrooms and using flyers and posters. The questionnaire was completed online during 2015. Most participants were female (75.70%), with a mean age 21.08 years ($SD = 2.61$), and resided in the parish of Glória-Vera Cruz (43.24%). The questionnaire was adapted from Pinho (2012), so that we could compare between the perceptions in BVL and those in the coastal zone using the same methodology. Participants were asked about their risk perception of extensive flooding, in particular its probability of occurrence, using a response scale that ranged between *impossible*, 1, and *most likely*, 4, and were also inquired about the past evolution of extensive flooding in BVL, using a 5-point response scale that ranged from *has decreased a lot*, 1, to *has increased greatly*, 5. They were also asked to choose three causes to explain this evolution, based on the results of the interviews with stakeholders and on prior work by Pinho (2012). The questionnaire is available as supporting information (SI –II_Interview and questionnaires).

2.2 Coastal zone

2.2.1 Survey by questionnaire to local individuals

We extracted a sample from Pinho’s database (2012) of medium and high education individuals, among age groups that ranged between 15-24 and 25-34 years old. This was done in order to control the possible differences in the causal attribution of natural hazards to climate change due to the level of education and age. It was not of interest to have representative samples but to compare differences among relatively similar samples. It resulted in a sample of 30 participants that lived in areas with high risk of shoreline retreat, mostly female (66.70%), aged between 25-34 years old (90%), and residing mostly in Furadouro (43.30%).

Participants were asked about their risk perception of shoreline retreat, in particular its probability of occurrence, using a response scale that ranged between *impossible*, 1, and *most likely*, 4, and were also inquired about the past evolution of the shoreline, using a 5-point response scale that ranged from *marked advance of the shoreline*, 1, to *sharp retreat of the shoreline*, 5. They were also asked to choose three causes to explain this evolution. Response options were based on previous work and on contact with the local population (Pinho, 2012). The questionnaire is available as supporting information (SI – II_Interview and questionnaires).

3 RESULTS

3.1 Baixo Vouga Lagunar Zone

3.1.1 Interview to stakeholders

Our hypothesis was that stakeholders would not frequently attribute the causes of natural hazards in BVL to climate change. As expected, when asked about the effects of climate change on BVL, most stakeholders attributed natural hazards to other causes (56.25%). Figure 2 presents the causes related to problems associated with flooding (and the associated surface salt water intrusion). Seven causes are indicated, namely, as pointed out by most of the interviewed stakeholders, the dredging works carried out in the navigation canals by the Port of Aveiro, as well as changes in tidal dynamics and inadequate agricultural/environmental practices. Detailed information about the dredging activities can be found in Rosa et al., 2011.

3.1.2 Survey by questionnaire to residents

We expected that also residents would not frequently attribute the causes of natural hazards in BVL to

climate change. Figure 3 illustrates the percentages of respondents who pointed out the different causes that had been considered. As expected, climate change was chosen merely 8.91% of the times. The causes that were chosen the most were storms, sea level rise, and erosion. Note that the choice “sea level rise” does not indicate an assignment of this rise as being perceived as linked to climate change among the respondents, as the choice “climate change” itself was available.

The questionnaire results further showed that residents considered that the probability of an extensive flood in the BVL was relatively high (*Mean* = 3.11, *Standard deviation* = 0.57; the response scale ranged between 1 and 4) and that the extent of flooding had increased in recent years (*Mean* = 3.95, *Standard deviation* = 0.71; the response scale ranged between 1 and 5). This suggests that residents perceive extensive flooding as a relevant environmental problem.

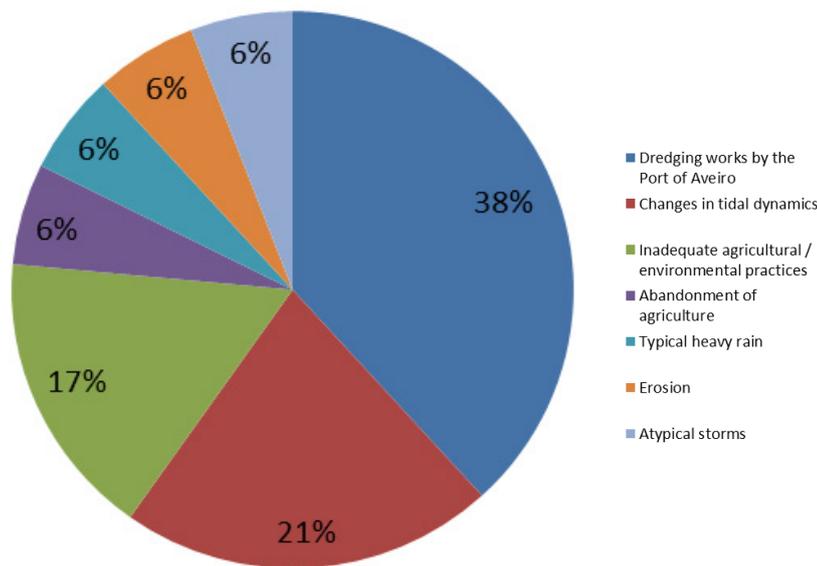


Figure 2 – Causes of natural hazards attributed by stakeholders, in percentage relative to the total number of causes mentioned.

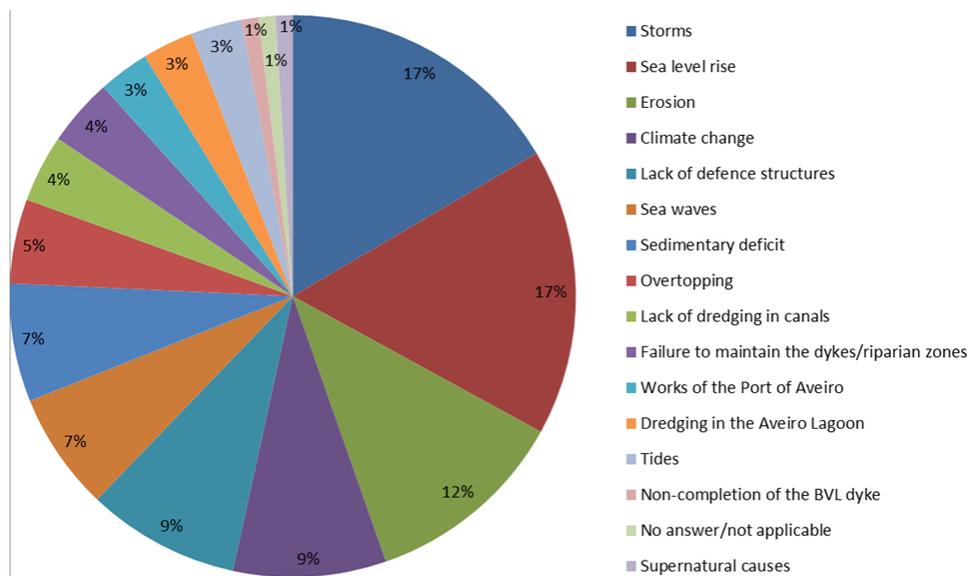


Figure 3 – Causes of the evolution of the extension of flooding attributed by local individuals, in percentage relative to the total number of causes mentioned.

3.2 Comparison of the coastal zone between Esmoriz and Vagueira settlements and BVL

It was expected that individuals in BVL would be relatively less prone to attribute natural hazards to climate change, when compared to those in the coastal zone.

First we analysed if shoreline retreat was also perceived as a relevant environmental problem. Data analysis showed it was: individuals considered that the probability of shoreline retreat occurrence was relatively high (*Mean* = 3.30, *Standard deviation* = 0.75; the response scale ranged between 1 and 4) and that the shoreline had been retreating sharply in recent years (*Mean* = 4.78, *Standard deviation* = 0.42; the response scale ranged between 1 and 5). Most importantly, the cause that was chosen the most for shoreline evolution was climate change followed by sea level rise and lack of coastal defence structures (Figure 4).

As expected, the descriptive analysis of Figures 3 and 4 suggests that individuals indicate climate change as the cause for different natural hazards more often in the coastal zone between Esmoriz and Vagueira settlements than in BVL when selecting the total number of possible choices (31.7% vs. 8.9%, considering that each individual could select up to three causes). To test whether there were significant differences between the number of individuals who had or had not selected climate change as the cause of those different natural hazards in BVL ($n = 9$) and in the coastal zone ($n = 13$), the chi-square test of independence (χ^2 ; see Howell, 2010) was used, setting a significance level of 0.050 ($p < 0.050$; p -value = probability of a test result at least as extreme assuming that the null hypothesis

is true). This statistical test determines whether there is a statistical difference between the expected frequencies and the observed frequencies of selecting climate change as the cause of natural hazards. Results suggest that the frequency of choice is lower in BVL when compared to the coastal zone. This result has marginal statistical significance: $\chi^2(1, N = 63) = 3.64, p = 0.056$. The phi coefficient (ϕ) was calculated to have a measure of the magnitude of this effect (Howell, 2010). Results suggest a small/medium effect size, $\phi = 0.240$.

We further tested if the attribution of natural hazards to climate change would be differently associated (i.e., have different relevance) with the perception of the probability of occurrence of these natural hazards in the case of BVL and the coastal zone, by calculating the coefficients of point-biserial correlation (r_{pb} ; Howell, 2010) and setting a significance level of 0.050 ($p < 0.050$). This correlation coefficient measures the robustness of the linear relationship between a dichotomous nominal variable (attributing or not hazards to climate change) and a quantitative variable (perceived probability of hazard occurrence), and ranges from -1 to 1. The results show that the correlation is not statistically significant in BVL, $r_{pb} = 0.23, p = 0.184$. However, in the coastal zone, there is a statistically significant, strong and positive correlation. Attributing shoreline retreat to climate change is related with estimating a higher probability of occurrence of shoreline retreat, $r_{pb} = 0.53, p = 0.005$. This indicates that climate change might be perceived as more relevant when discussing climate change impacts in coastal zones but not when discussing impacts in inland areas.

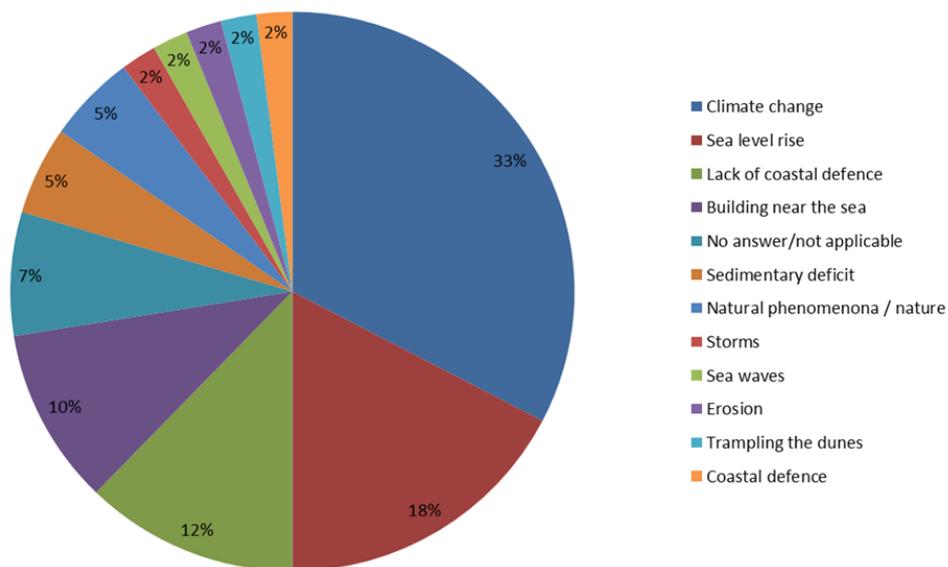


Figure 4 – Causes of the evolution of the shoreline attributed by local individuals, in percentage relative to the total number of causes mentioned.

4. DISCUSSION

The analysis of the interviews suggests that most stakeholders attributed flooding and salt water intrusion in BVL to other causes rather than to climate change. These problems were instead frequently attributed to anthropogenic activities, such as dredging works by the Port of Aveiro, as well as inadequate local practices.

Local individuals also did not, for the most part, attribute the natural hazards in BVL to climate change; when they did, they did so to a lesser extent, when compared to the coastal zone inhabitants. Note that for both considered areas, BVL and the coastal zone between Esmoriz and Vagueira settlements, climate change is not recognized by experts as the main cause of natural hazards. Despite this, lay people perceived climate change as the cause for shoreline retreat in the coastal zone frequently, but not as the cause for extensive flooding in BVL. As such, this lower causal attribution of natural hazards directly to climate change might be an implication of the relative reduction of inland climate change beliefs (Milfont et al., 2014). Interestingly, one of the causes mostly attributed to flooding in BVL was sea level rise, which was selected more often than climate change. This result suggests that individuals might perceive sea level rise as the result of another type of phenomenon, or identify the changes in the lagoon tidal prism as close to the sea level rise effect. Living nearer to the coast can be associated with a higher awareness of climate change, which facilitates the interpretation of experienced natural hazards as related to it. Climate change beliefs might be closely linked to personal experience (e.g., noticing shoreline retreat), when such experience is understood and perceived as related to climate change (e.g., Whitmarsh, 2008). Individuals might spontaneously associate natural hazards with climate change, based on their previously acquired knowledge, or this association might be facilitated by mass media, for instance.

Stakeholders and local BVL individuals attributed different causes to flooding. This result may be due to the different experiences and knowledge that they have, considering that stakeholders have specific responsibilities and are in charge of dealing with the natural hazards that may arise in BVL on a daily basis. Taking these differences into account, it is suggested that possible communication strategies about natural hazards and climate change should vary according to the specific beliefs of these key players.

Public engagement might create an opportunity to include different types of knowledge, parameters, interests, approaches, and experiences into decision-making, making it more likely that decisions will fully explore opportunities, while simultaneously anticipating unintended effects in the process of planning adaptation

to climate change. To promote engagement, it is important to explore climate change beliefs, and to consider that these might be influenced by the distance to the coast. To facilitate communication and promote engagement, it is important to discuss not only the causes of natural hazards as defined by experts and technicians, but also the perceptions and knowledge that other stakeholders have on natural hazards. The distinction between causes associated with global climate change and specific causes related to local human actions — such as the construction of groins (see Veloso Gomes, 2007) or dredging activities — also matters, as well as the interaction between these variables.

This study has limitations that must be acknowledged. In particular, the number of stakeholders and local individuals was reduced and, therefore, it might be more difficult to find statistical differences as the analysis of data from small samples often yields less statistically significant differences than data from larger samples. Indeed, the statistical difference between selecting climate change as the cause of natural hazards in the BVL and in the coastal zone was only marginally significant. Nevertheless, we also calculated the effect size of this difference, which is independent of sample size, and found evidence of a smaller/medium attribution of climate change to natural hazards of inland inhabitants when compared to the coast. The sample of local individuals was also not representative, covering only young adults with a secondary or higher level of education, which inhibits the generalization of these results to other types of individuals. However, it should be noted that research suggests that both age and education are not predictive of beliefs about climate change (e.g., Mase et al., 2015). It would also be important to confirm the importance of the distance to the shoreline, by investigating the same type of natural hazard, in order to control the existence of factors that might be related to the hazard itself (for instance, related with the particularities of shoreline retreat or flooding), and by also investigating if the main factor at play is distance from the shoreline or visibility and interaction with the sea. Furthermore, data was collected in different timeframes and this might have some influence in the results. Despite these limitations, this study provides empirical evidence for the existence of differences in beliefs about the causes of local natural hazards (in particular about the local effects of climate change). Such differences may be due to the distance from the shoreline, suggesting the need to conduct more research in this area and to consider these differences in local processes of adaptation to climate change. To the authors' best knowledge, this is also the first study on climate change beliefs in a coastal lagoon ecosystem, such as the one in Ria de Aveiro, that considers the distance from the coastline.

5. CONCLUSIONS

This study constitutes a starting point on the understanding of the effects of the distance from the coastline in the causal attribution of climate change to natural hazards and provides recommendations that can contribute to improving local and regional management processes of adaptation to climate change.

Beliefs on the local effects of climate change might be influenced by proximity to the coast, as well as the local history on the impact of other anthropogenic activities. Different geographical areas experience different natural hazards (e.g., shoreline retreat along the coastal zones and flooding in particular inland zones) which might be differently perceived as related to climate change.

The lesser consideration of climate change as cause, in part, of natural hazards might result in a minimization of the need for local adaptation to climate change and the need for public engagement in this process. It might also create difficulties in terms of communication between different key players engaged in processes of planning adaptation to climate change. Therefore, even in the face of technical and scientifically robust knowledge on climate change (e.g., ADAPT-MED, 2015), the processes of adaptation might be challenging, particularly when overlapped with other environmental problems with marked effects at the present scale.

ACKNOWLEDGEMENTS

A version of this work has been presented and published at the proceedings of the VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão Integrada das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa [VIII Congress on Planning and Integrated Coastal Zone of Portuguese-Speaking Countries], in Aveiro, Portugal.

This work was funded by the European Commission (EU/ FP7/ CIRCLE-MED Era Net Programme). Fundação para a Ciência e Tecnologia supported this work through funding to the project (CIRCLE-MED/0001/2013; CIRCLE-MED/0002/2013) and to the Portuguese Institutions involved (PEst-OE/EGE/UI0315/2014; UID/AMB/50017/2013, through FCT/MEC national funds, and the co-funding by the FEDER, within the PT2020 Partnership Agreement and Compete 2020).

The authors would like to gratefully acknowledge all partners of the ADAPT-MED project, as well as stakeholders, and the students of University of Aveiro, for their enthusiasm and active participation. We would also like to thank the editor and the anonymous reviewers for their constructive comments, which helped us to improve this manuscript.

REFERENCES

ADAPT-MED (2015) – *Baixo Vouga Lagunar Knowledge Database*. 92p., ADAPT-MED Report D2.1b. http://media.wix.com/ugd/18e7df_57e5bed821bb4e5990d28251b683dda8.pdf

Garai, J. (2016) – Gender Specific Vulnerability in Climate Change and Possible Sustainable Livelihoods of Coastal People. A

Case from Bangladesh. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 16(1):79-88. DOI: 10.5894/rgci656

Gifford, R. (2007) – *Environmental psychology: Principles and practice*. 372p., WA: Optimal books, Colville. ISBN: 0968854311.

Howell, D.C. (2010) - *Statistical Methods for Psychology (seventh edition)*. 793p., Wadsworth Cengage Learning, Belmont, United States. ISBN-13: 978-0-495-59784-1.

IPCC (2013) – *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F.; D. Qin; G.-K. Plattner; M. Tignor; S.K. Allen; J. Boschung; A. Nauels; Y. Xia; V. Bex; P.M. Midgley (eds.)]. 1535p., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. DOI:10.1017/CBO9781107415324

IPCC (2014) – *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. In Part A: Global and Sectoral Aspects. Contributions of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Field, C.B.; V.R. Barros; D.J. Dokken; K.J. Mach; M.D. Mastrandrea; 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.)]. 1132p., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>

Kennish, M.J. (2002) – Environmental Threats and Environmental Future of Estuaries. *Environmental Conservation*, 29:78–107. DOI:10.1017/S0376892902000061

Lee, M.; Armeni, C.; Cendra, J.; Chaytor, S.; Lock, S.; Maslin, M.; Redgwel, C.; Rydin, Y. (2013) – Public Participation and Climate Change Infrastructure. *Journal of Environmental Law*, 25(1), 33-62. DOI: 10.1093/jel/eqs027

Lopes, C. L.; Silva, P. A.; Dias, J. M.; Rocha, A.; Picado, A.; Plecha, S.; Fortunato, A. B. (2011) – Local Sea Level Change Scenarios for the End of the 21st Century and Potential Physical Impacts in the Lower Ria de Aveiro (Portugal). *Continental Shelf Research*, 31(14):1515-1526. DOI:10.1016/j.csr.2011.06.015

Lotze, H.K.; Lenihan, H.S.; Bourque, B.J.; Bradbury, R.H.; Cooke, R.G.; Kay, M.C.; Kidwell, S.M.; Kirby, M.X.; Peterson, C.H.; Jackson, J.B.C.; Bay, M. (2006) – Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. *Science*, 312(5781):1806–1809. DOI:10.1126/science.1128035

Luís, S.; Pinho, L.; Lima, M.L.; Roseta-Palma, C.; Cardoso Martins, F.; Betâmio de Almeida, A. (2015) - Is It All About Awareness? The Normalization of Coastal Risk. *Journal of Risk Research*, 19(6): 810-826. DOI:10.1080/13669877.2015.1042507

Mase, A. S.; Cho, H.; Prokopy, L. S. (2015) – Enhancing the Social Amplification of Risk Framework (SARF) by Exploring Trust, the Availability Heuristic, and Agricultural Advisors’ Belief in Climate Change. *Journal of Environmental Psychology*, 41:166-176. DOI:10.1016/j.jenvp.2014.12.004

Milfont, T. L.; Evans, L.; Sibley, C. G.; Ries, J.; Cunningham, A. (2014) – Proximity to Coast Is Linked to Climate Change Belief. *Plos ONE*, 9(7):1-8. DOI:10.1371/journal.pone.0103180

Pinho, L. (2012) – *Conhecimento Comum e Percepção do Risco na Gestão Territorial Costeira* (Lay knowledge and risk perception in land use planning). 549 p., Dissertação de Doutoramento em

- Ciências Aplicadas ao Ambiente, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. Available on-line at <http://ria.ua.pt/handle/10773/8801>
- Rosa, T. L.; Barata, A.; Geadas Cabaço, J.; Teles, M. (2011) – Interventions to Dredge the Aveiro Bar (Portugal) and Improve Protection of the Coastal Area to the South. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 12(1):57-78. DOI:10.5894/rgci286
- Schmidt, L.; Gomes, C.; Guerreiro, S.; O’Riordan, T. (2014) – Are We All on the Same Boat? The Challenge of Adaptation Facing Portuguese Coastal Communities: Risk Perception, Trust-building and Genuine Participation. *Land Use Policy*, 38:355–365. DOI:10.1016/j.landusepol.2013.11.008
- Veloso Gomes, F. (2007) – A Gestão da Zona Costeira Portuguesa. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7(2):83–95. Available on-line at http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-19_velosogomes.pdf
- Whitmarsh, L. (2008) – Are Flood Victims More Concerned about Climate Change than Other People? The Role of Direct Experience in Risk Perception and Behavioural Response. *Journal of Risk Research*, 11(3): 351-374. DOI:10.1080/13669870701552235

SUPPORTING INFORMATION I

CASE STUDY DESCRIPTION

The Baixo Vouga Lagunar remarkable characteristics permit a strong and balanced relationship between man, land and water, being characterized by three different landscape units: open fields; wetlands; and ‘Bocage’ (Andresen & Curado, 2001). ‘Bocage’ consists in small holds divided by living-hedges (e.g. grey willow, black alder and pedunculate oak) and draining ditches. This man-shaped landscape makes a very particular irrigation system managed by farmers, for pastures and for maize/forage production. The presence of man, through farming, shaped the landscape as a function of production objectives and economic sustainability. Nevertheless, floods and surface saline intrusion are always threatening this balance. In the context of climate change, the Baixo Vouga lagunar (BVL) area is connected with Ria de Aveiro lagoon, that is a tidal dominated system (Lopes & Dias, 2007), which means that sea level rise is felt in the whole ecosystem, as flooding, saltwater intrusion, coastal erosion and habitat loss (Picado *et al.*, 2010; Lopes *et al.*, 2013; ADAPT-MED, 2015). This coastal lagoon system is also a flood prone system, from oceanic and riverine origin (Lopes *et al.*, 2013). In BVL, with heavy precipitation, Vouga and Antuã rivers flow rates increase and overtopping of the riverbanks occurs. The combination of ocean storm surges with spring tides and extreme precipitation events has also led to major flooding (both freshwater and brackish). The resilience of the BVL to flooding is dependent on human activities, as maintenance and repair of riverbanks, watercourses, small dikes, and the continuation of the economic activities are vital for the protection and of great importance for the overall landscape maintenance (Lopes *et al.*, 2013; ADAPT-MED, 2015; Fidélis & Carvalho, 2015). Flooding episodes have been recorded not only due to extreme weather events but also due to the decline of conservation and maintenance of traditional shoreline infrastructure’s and the dredging activities by the Port of Aveiro, which have changed the geomorphology of the lagoon (Picado *et al.*, 2010; Lopes *et al.*, 2013). BVL watercourses are connected to the Atlantic Ocean through the Aveiro Lagoon allowing a permanent, saltwater, and tidal-dependent flow within BVL. Therefore, changes in sea water level, and consequently the lagoon’s water level, might affect the BVL through the upstream extension of the surface saltwater intrusion. Possible direct impacts of sea level rise are the flooding of coastal areas, saltwater intrusion in estuaries and aquifers, coastal erosion, and habitat loss (Lopes *et al.*, 2013; ADAPT-MED, 2015). However, in this particular case, as the ecosystem has been shaped and managed by man, factors other than climate change appear to also be responsible for changes in tide dynamics — namely, the lack of conservation and maintenance of coastal systems (e.g., abandonment of salt ponds), as well as changes in geomorphologic configuration. Indeed, over the last three decades, the dredging activities in the Aveiro harbour, which were performed in order to improve navigability, changed the geomorphology of the lagoon (Picado *et al.*, 2010; Lopes *et al.*, 2013). In this line, a sensitivity analysis confirmed that the alterations in bathymetry are mostly responsible for the observed changes in the tidal cycle, specifically in terms of tidal amplitude and tidal prism, thus having clear implications in surface saltwater intrusion in BVL (Picado *et al.*, 2010; ADAPT-MED, 2015). The Aveiro lagoon is considered to be a flood-prone region, not only due to downstream oceanic events, but also due to upstream extreme weather events (Lopes *et al.*, 2013). River banks, in particular, frequently collapse, causing an infiltration of salt water in the fields used for agriculture (ADAPT-MED, 2015).

The coastal zone between Esmoriz and Vagueira settlements is part of a dune system bordering the lagoons of Esmoriz and Aveiro. It has multiples resources that have been explored and attract population since longtime ago (Pinho, 2012). This area is characterized by a remarkable deficit of sediment nourishment, by the degradation of the sand-dune system and by the immense human pressure that is accentuated during the summer (Pinho *et al.*, 2012). Originally coastal settlements were fishermen haylofts. They were occasionally used, mainly in summer, as support of fish activities. Following the global tendency of tourism massive expansion in developed countries, in the 70’s of the 20th century, those places suffer a densification of buildings, mainly for seasonal tourism purposes, that are actually still increasing (Pinho, 2012). The urban expansion was made by occupying the dune system space, reducing or breaking the transversal shift of sand between the dunes and the beaches. Tourism and leisure activities became an important source of family revenues, complementing and sometimes substituting the traditional exclusivity of coastal fishing (“arte xávega”), lagoon fishing and agriculture (Pinho, 2012). Additionally to the mentioned changes of soil use that can be responsible for the unbalanced evolution of the coastline, it is important to register the harbour development occurring along the Portuguese coast, both up north and in the area. The construction of the Leixões

harbour between 1882 e 1892 induced some impacts in coastal dynamics. Also the opening of Aveiro’s bar in 1808 influenced coastal dynamics to south, first in 1950 with the construction of groins and since then to nowadays with the maintenance and expansion of groins related with the Aveiro harbour maritime activity. The effects of sediments deficit are enhanced by the shortage of sediment supply from Douro’s river due to its retention in the dams, along the river (Pinho, 2012). A study carried out by AMRIA in 2007, mentioned in Pinho (2012), showed the influence of coastline distance in the increasing of vulnerability, with a very high vulnerability in the first 20 m near the coastline, diminishing inland to very low values at 5000 m. The natural and social dynamics of the area between Esmoriz and Vagueira settlements resulted in the development of coastal defence infrastructures to avoid or diminish the impact of erosion and coastline retreat. Those defence works have been maintained and improved until now, combining them with other type of works, namely beach nourishment, dune rehabilitation and reinforcement of dune system. Long-time expected retreat strategies have also been implemented, as the reallocation of part of the Bairro dos Pescadores population.

In what concerns the Portuguese Territorial Management System, in the Aveiro region, the integration of governance and the water resources management constitutes a challenge, since all the regulations must be accept by a wide range of perspectives and stakeholders. The different policies and planning instruments are conceived out of different scientific contexts and even if combined in an integrated land use and water resources planning is still difficult to apply it in a practical sense (Fidélis & Roebeling, 2014). The Portuguese spatial planning framework has been established by the Law n°48/98 (altered by Law n°54/2007, updated by Decrees Law n°280/99, n° 316/2007 and n°46/2009). It defines the main planning objectives, the institutions responsibilities and articulates three spatial planning levels, as illustrated in Figure 1.

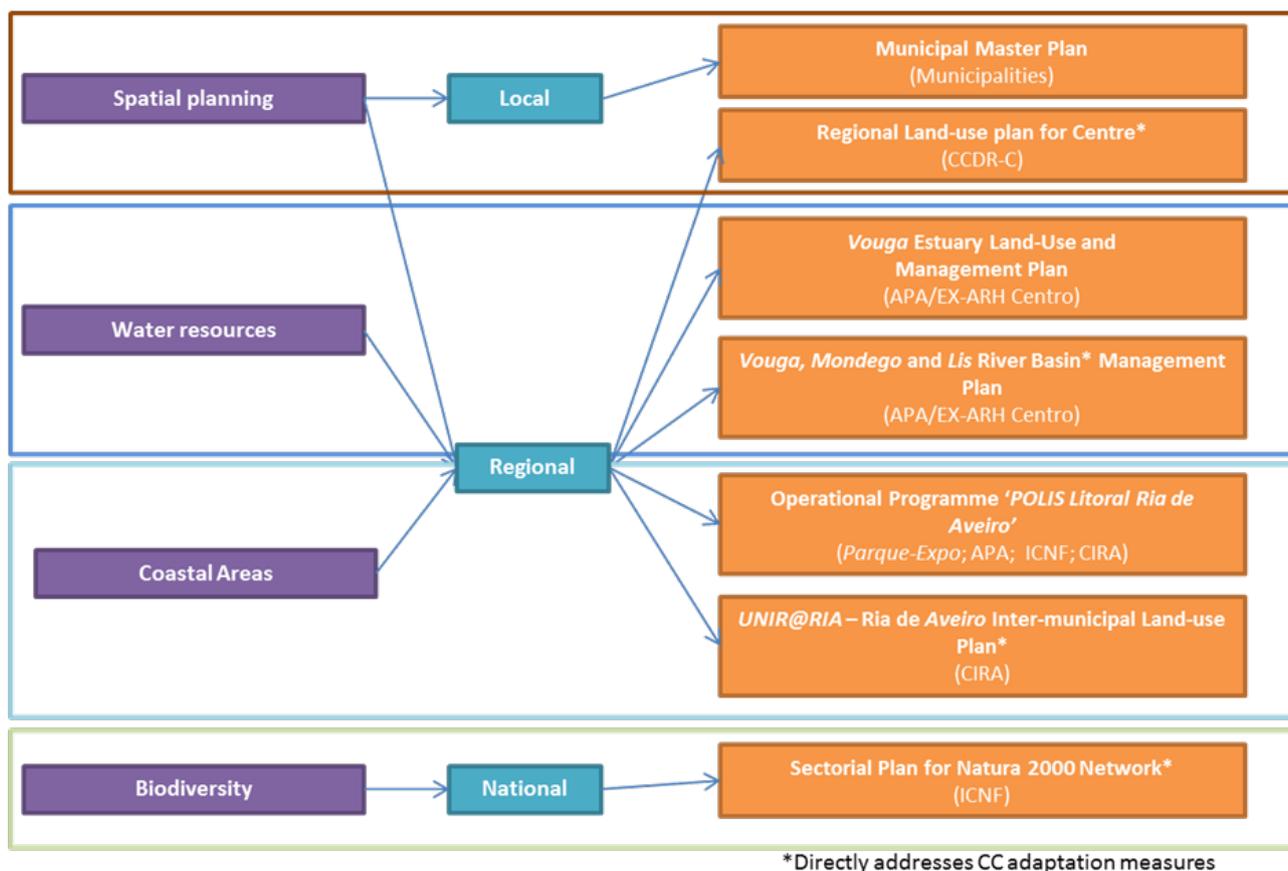


Figure 1 – Spatial planning regulations with application in BVL.

REFERENCES

- ADAPT-MED (2015) – *Baixo Vouga Lagunar Knowledge Database*. 92p., ADAPT-MED Report D2.1b. http://media.wix.com/ugd/18e7df_57e5bed821bb4e5990d28251b683dda8.pdf
- Andresen, T.; Curado, M. J.; (2001) – *Estudo de Impacte Ambiental: Projecto de Desenvolvimento Agrícola do Vouga: Resumo não técnico* (Environmental Impact Assessment: *Vouga* Agricultural Development Project: non-technical summary). 24p., Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa, Portugal. <http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA796/RNT796.pdf>
- Fidélis, T.; Carvalho, T. (2015) – Estuary Planning and Management: The Case of Vouga Estuary (Ria de Aveiro), Portugal. *Journal of Environmental Planning & Management*, 58(7):1173-1195. DOI:10.1080/09640568.2014.918874
- Fidelis, T.; Roebeling, P. (2014) – Water Resources and Land Use Planning Systems in Portugal-Exploring Better Synergies through Ria de Aveiro. *Land Use Policy*, 39:84-95. DOI: 10.1016/j.landusepol.2014.03.010
- Lopes, J.F.; Dias, J.M., (2007) – Residual Circulation and Sediment Distribution in the Ria de Aveiro lagoon, Portugal. *Journal of Marine Systems*, 68:507–28.DOI:10.1016/j.jmarsys.2007.02.005
- Lopes, C.L.; Plecha, S.; Silva, P.A.; Dias, J.M. (2013) – Influence of Morphological Changes in a Lagoon Flooding Extension: Case Study of Ria de Aveiro (Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI65, 1158-1163.
- Picado, A.; Dias, J. M.; Fortunato, A. B. (2010) – Tidal Changes in Estuarine Systems Induced by Local Geomorphologic Modifications. *Continental Shelf Research*, 30(17):1854-1864. DOI:10.1016/j.csr.2010.08.012
- Pinho, L. (2012) – *Conhecimento Comum e Perceção do Risco na Gestão Territorial Costeira* (Lay knowledge and risk perception in land use planning). 549 p., Dissertação de Doutoramento em Ciências Aplicadas ao Ambiente, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal. Available on-line at <http://ria.ua.pt/handle/10773/8801>
- Pinho, L.; Albuquerque H.; Martins F. (2012) – Second-home tourism in coastal risk areas – a Portuguese case. In: Márcio Valença; Fernanda Cravidão; José Fernances (org.), *Regional and Urban Developments in Portuguese-speaking Countries*, pp. 343-362, Nova Science Publishers. ISBN: 978-1-61470-915-2. Available on-line at https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=27920

SUPPORTING INFORMATION II

INTERVIEW AND QUESTIONNAIRES

- INTERVIEW GUIDELINE -

1. Relationships with CC and adaptation policies			
Area of activity			
Activities related to adaptation and CC policies	Personally		
	Institutionally		
Relationships with other stakeholders			
2. Fields of adaptation			
CC in general			
CC effects	Effect 1		
	Impacts, positive and negative	Environmental	
		Social	
		Economic	
	Effect 2		
	Impacts, positive and negative	Environmental	
		Social	
		Economic	
	Effect 3 [add if needed]		
	Impacts, positive and negative	Environmental	
		Social	
		Economic	
	Prioritization of effects		
Current policies			
CC impacts addressed			

- BAIXO VOUGA LAGUNAR QUESTIONNAIRE -

What is the **likelihood of occurrence** of extensive flooding in BVL?

- 1) Impossible
- 2) Not likely
- 3) Likely
- 4) Most likely

In recent years, the **extent of flooding** in BVL, that is, the amount of flood-affected zones has...

- 1) greatly diminished
- 2) diminished
- 3) remained the same
- 4) increased
- 5) greatly increased

What may be the **main causes** of possible changes of the extent of flooding in BVL?

Please choose up to **3** causes.

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Works at the Port of Aveiro | <input type="checkbox"/> Climate change |
| <input type="checkbox"/> Storms | <input type="checkbox"/> Lack of coastal defence structures |
| <input type="checkbox"/> Sea waves | <input type="checkbox"/> Failure to maintain the dykes and riparian zones |
| <input type="checkbox"/> Tides | <input type="checkbox"/> Supernatural causes |
| <input type="checkbox"/> Dredging of the Aveiro Lagoon | <input type="checkbox"/> Sea level rise |
| <input type="checkbox"/> Sedimentary deficit | <input type="checkbox"/> Overtopping |
| <input type="checkbox"/> Lack of dredging in the BVL canals | <input type="checkbox"/> Other |
| <input type="checkbox"/> Erosion | <input type="checkbox"/> No answer / not applicable |
| <input type="checkbox"/> Lack of hydrostatic pressure in the fields of the BVL | |
| <input type="checkbox"/> Non-completion of the BVL dyke | |

- COASTAL ZONE QUESTIONNAIRE -

What is the **likelihood of occurrence** of shoreline retreat in this area?

- 1) Most likely
- 2) Likely
- 3) Not likely
- 4) Impossible

[For statistical analysis, responses were recoded to have a scale of risk perception that ranged from 1, impossible, to 4, most likely]

Do you remember or know if the shoreline has changed in this area? If so, how has it changed?

- 1) Slight retreat of the shoreline
- 2) Sharp retreat of the shoreline
- 3) Slight advance of the shoreline
- 4) Sharp advance of the shoreline
- 5) Stabilization of the shoreline

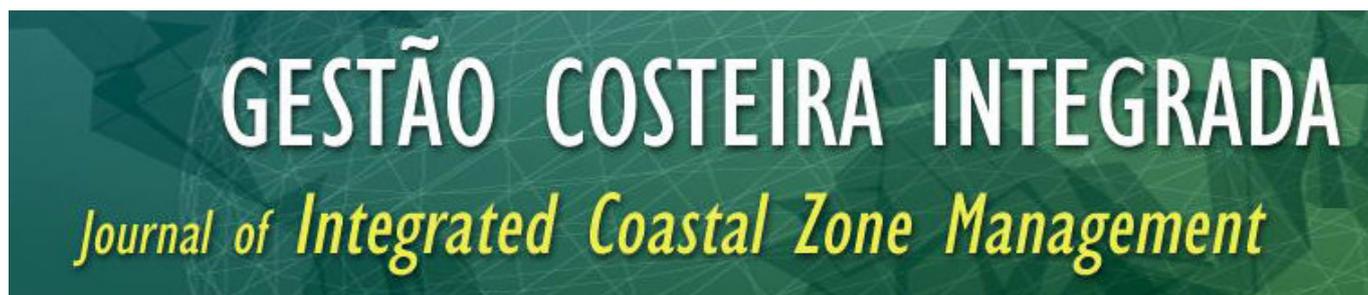
[For statistical analysis, responses were recoded to have a scale of shoreline retreat perception:

- 1) Sharp advance of the shoreline
- 2) Slight advance of the shoreline
- 3) Stabilization of the shoreline
- 4) Slight retreat of the shoreline
- 5) Sharp retreat of the shoreline]

What may be the **main causes** of possible changes of the shoreline in this area?

Please choose up to 3 causes.

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Climate change | <input type="checkbox"/> Lack of coastal defence engineering structures |
| <input type="checkbox"/> Sea level rise | <input type="checkbox"/> Trampling the dunes |
| <input type="checkbox"/> Flooding | <input type="checkbox"/> Building near the sea |
| <input type="checkbox"/> Overtopping | <input type="checkbox"/> “ <i>The sea shall come to its birthplace</i> ” [local saying] |
| <input type="checkbox"/> Storms | <input type="checkbox"/> Protection of the dunes |
| <input type="checkbox"/> Sea waves | <input type="checkbox"/> Natural phenomena/nature |
| <input type="checkbox"/> Tides | <input type="checkbox"/> Supernatural causes |
| <input type="checkbox"/> Sedimentary deficit | <input type="checkbox"/> Other |
| <input type="checkbox"/> Erosion | <input type="checkbox"/> No answer/not applicable |
| <input type="checkbox"/> Coastal engineering defence structures | |



Caracterização da costa marinha do Balneário Camacho (Santa Catarina, Brasil) como subsídio à gestão

Characterization of the Balneário Camacho marine coast (Santa Catarina, Brazil) as a subsidy to management

Samanta da Costa Cristiano¹, Eduardo Guimarães Barboza², Eduardo Marques Martins³, Nelson Luiz Sambaqui Gruber⁴

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- PPGGEO/IGEO/UFRGS, Brazil.

² Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- IGEO/UFRGS, Brazil.

³ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- PPGGEO/IGEO/UFRGS, Brazil.

⁴ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- IGEO/UFRGS, Brazil

RESUMO: A ocupação inadequada da costa é o resultado da falta de planejamento, que acarreta em alterações paisagísticas relevantes e destruição de ecossistemas. O padrão de colonização do território sul- Catarinense culminou no assentamento de núcleos urbanos muito próximos a habitats costeiros importantes e frágeis, por comporem ambientes que viabilizam comércio, comunicação, extração de recursos naturais, turismo e lazer. A degradação costeira na Área de Preservação Ambiental da Baleia-Franca, sobretudo no litoral de Jaguaruna (Estado de Santa Catarina, Brasil), resultou em uma recomendação do Ministério Público Federal sobre costa municipal, fato que motivou este estudo. A área de estudo compreende o Balneário Camacho, que fica no nordeste de Jaguaruna, inserido em uma barreira arenosa, com a identificação dos seguintes ambientes: campo de dunas, planície alagável com lagoas e banhados (perenes e intermitentes), o Sambaqui Garopaba do Sul e assentamentos humanos. O sistema de dunas da orla é formado por dunas barcanas e cadeias barcanoides, intercaladas por planícies alagáveis, onde se tem a formação de *nebkhas*. A classificação da costa é um método de ordenamento territorial que pode dar apoio à decisão política. Neste contexto, a paisagem do Balneário Camacho foi classificada conforme seus ambientes e principais áreas de conflito antrópico; ademais, efetuou-se a estimativa de vulnerabilidade das dunas costeiras. Nos limites da orla da região foram encontrados diversos conflitos antropogênicos: ocupações irregulares e/ou em áreas de risco, depósitos irregulares de resíduos sólidos, plantio de árvores exóticas em dunas (para “estabilizá-las”) e acessos à praia para veículos sem controle. Os resultados foram agrupados por análise multivariada de correlação, resultando

em áreas de diferentes níveis de ocupação: “não edificada”, “edificada” e “parcialmente edificada”. As características do meio físico conferem maior vulnerabilidade às dunas, enquadradas nos níveis: 2, onde há sinais de mudanças no sistema, e 3, onde se percebe significativa degradação das dunas. A orla do Balneário Camacho foi dividida em cinco setores, classificados em três zonas: (i) impactada, (ii) em degradação e (iii) preservada, para as quais foram desenhadas propostas de manejo. Concluiu-se, a partir do observado, que ainda há muito por fazer para alcançar sustentabilidade na região. A alternativa mais promissora é o desenvolvimento voltado ao ecoturismo, devido à localização geográfica e beleza paisagística local. Demais usos sustentáveis devem ser discutidos com a comunidade e planejados adequadamente.

Palavras-chave: gestão costeira; vulnerabilidade de dunas; conflitos ambientais.

ABSTRACT: The lack of planning causes the inadequate occupation of the coast, resulting in relevant landscape changes and in the destruction of ecosystems. The pattern of colonization of the South of Santa Catarina's territory culminated in human settlements near important and fragile coastal habitats, because these environments enable trade, communication, extraction of natural resources, tourism and leisure. The coastal degradation in the Baleia-Franca Environmental Preservation Area, especially in the Jaguaruna coast (Santa Catarina State, Brazil), resulted in a recommendation from the Federal Public Ministry on the municipal coast, a fact that motivated this study. The study area comprises Balneário Camacho, located in the northeast of Jaguaruna, inserted on a sandy barrier, with the identification of the following environments: dune field, deflation plains, lagoons, wetlands and temporary wetlands, shellmound Garopaba do Sul and human settlements. The system of coastal dunes is formed by barchans dunes and barcanoids chains, interspersed by floodplains, where the formation of nebkhas occurs. The coastal classification is a territorial planning methodology that can support political decisions. In this context, the Balneário Camacho landscape was classified according to its environment and areas of anthropic conflicts; furthermore, the vulnerability of coastal dunes was estimated. Within the limits of the coastal area, many anthropogenic conflicts were found: occupations in irregular or risk areas, irregular waste deposits, exotic trees on dunes (for “stabilization”) and uncontrolled access to the beach by vehicles. The results were pooled by multivariate correlation, resulting in an association with areas of different levels of occupation: “not built”, “built” and “partially built”. The characteristics of the physical environment confer greater vulnerability to the dunes, classified in the levels: 2, where there are signs of changes in the system, and 3, where it is perceived significant degradation of the dunes. Finally, the coast of the Balneário Camacho was divided into five sectors, categorized into three areas: (i) impacted, (ii) degrading and (iii) preserved, for which management proposals were elaborated. As a conclusion, there is a long way to achieve sustainability in the region; the most promising alternative is the development based on ecotourism, because of their geographical location and beautiful scenery. Other sustainable uses should be discussed with the community and properly planned.

Keywords: coastal management; vulnerability of coastal dunes; environmental conflicts.

1. INTRODUÇÃO

Os padrões históricos de ocupação do litoral brasileiro culminaram em núcleos urbanos muito próximos a habitats ecologicamente frágeis, por comporem ambientes que viabilizam o comércio, a comunicação, a extração de recursos naturais, o turismo e o lazer. Como resultado da sua ocupação, a Zona Costeira (ZC) brasileira apresenta densidade populacional média de 135 hab/km², seis vezes a média nacional (Oliveira & Nicolodi, 2012). As atividades como o turismo, indústrias, exploração de minérios e pescado, aliada ao planejamento territorial ineficiente ou inexistente, são alguns responsáveis por acelerar a degradação da zona costeira e das praias (Harvey & Caton, 2003).

O Ministério Público Federal (MPF) expediu uma

Recomendação, em 2011, para que os gestores públicos dos municípios inseridos na Área de Proteção Ambiental (APA) da Baleia Franca (no litoral Centro-sul de Santa Catarina), não autorizassem intervenções em Áreas de Preservação Permanente (APP) no interior da Unidade de Conservação (Cristiano *et al.*, 2015). Essa medida ainda causa transtornos à economia municipal e impactos na paisagem local, pois não há fiscalização suficiente e há contínua ocupação irregular na região, com grilagem e invasões de áreas (Cristiano *et al.*, 2015).

Este estudo teve como objetivo dar subsídios técnicos para a gestão da área do Balneário Camacho (Jaguaruna, SC), observado que está inserido na APA da Baleia Franca e que as problemáticas supracitadas são recorrentes. Obteve-se um conjunto de informações que precisam

ser consideradas para o planejamento adequado e gestão do uso da área. Destaca-se a necessidade da mudança do atual paradigma econômico, com a recomendação de atividades que busquem a compatibilidade dos usos com as características naturais locais.

2. ÁREA DE ESTUDO

De acordo com Horn Filho *et al.* (2010, 2014) existem dois principais sistemas geológicos sedimentares na Planície Costeira de Santa Catarina: o continental e o transicional. Rampas, leques e planícies aluviais formam o sistema deposicional continental Quaternário. O sistema deposicional litorâneo/transicional é formado por sedimentos arenosos dos processos da dinâmica costeira (depósitos marinho/praias e depósitos eólicos). Estes depósitos transicionais configuram sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira, resultantes das oscilações do nível relativo do mar no Período Quaternário, como amplamente discutido para a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (*e.g.* Villwock, 1984; Villwock *et al.*, 1986; Rosa *et al.*, 2011; Rosa *et al.*, 2017).

Para efeitos de gestão, o litoral catarinense tem seus 561,4 km de extensão divididos em cinco setores: 1 - Norte, 2 - Centro-norte, 3 - Centro, 4 - Centro-sul e 5 - Sul. Jaguaruna é o município mais ao sul do Setor 4 (SPG/SC, 2010), o qual se destaca por apresentar características transicionais entre o litoral das Regiões Sul e Sudeste do Brasil (Muehe, 2001) e pela ocorrência do maior complexo lagunar do Estado de Santa Catarina, composto pelas Lagoas Mirim, Imaruí, Santo Antônio, Santa Marta, Camacho, Laranjal e Garopaba do Sul (Scherer *et al.*, 2006).

A costa de Jaguaruna é muito procurada para a prática da pesca amadora, esportiva e tradicional, para além de atividades esportivas como o *tow-in*, na laje da Jagua, em frente ao Balneário Arroio Corrente. No Camacho a atração é a barra, onde há a pesca de tarrafa. Pessoas de localidades vizinhas se deslocam para a região para a prática da pesca e contemplação da paisagem.

O Balneário Camacho, localidade mais ao nordeste (NE) de Jaguaruna (Figura 1), está inserido em uma estreita barreira costeira e sua contextualização geológica, climática, oceanográfica e ecológica podem ser acessadas no SI - I. A barreira holocênica do Camacho, foco deste estudo, corresponde a uma sequência deposicional de alta frequência, relacionada ao sistema deposicional Laguna-Barreira IV (Martins *et al.*, 2014; Rosa *et al.*, 2017). Martins *et al.* (2014) constataram através de dados de Georradar que os estratos do Balneário Camacho em subsuperfície possuem padrão retrogradacional. Ainda, os autores concluíram a partir de um conjunto de dados,

que este setor se encontra em transgressão, com erosão de aproximadamente 0,5 m ao ano, dado importante para o planejamento da ocupação do território.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O diagnóstico e o monitoramento das formas e processos praias são imprescindíveis para a obtenção dos subsídios necessários ao estabelecimento de programas de gestão costeira (Tabajara, 2004). O planejamento ambiental da orla do Camacho, a partir do diagnóstico integrado e multidisciplinar pode despertar para o desenvolvimento mais sustentável para a região, propiciando o ordenamento dos processos de ocupação, respeitando as áreas de preservação e normativas vigentes.

Conforme Tabajara *et al.* (2013), a classificação da costa é um método de ordenamento territorial e quando baseado numa série de parâmetros, configura um importante instrumento de apoio à decisão política. Neste sentido, a fim de dar subsídios para uma gestão adequada do ambiente costeiro e auxiliar o MPF a equacionar a problemática de uso e ocupação do solo vigente no Balneário Camacho (município de Jaguaruna, Santa Catarina), a presente pesquisa traz o diagnóstico ambiental da orla do Balneário. A orla do Balneário Camacho foi zoneada mediante a utilização de diferentes critérios de análise ambiental. Para o diagnóstico ambiental do Balneário foi efetuada a caracterização dos ambientes e das principais áreas de conflito antrópico e a estimativa de vulnerabilidade das dunas costeiras.

Os dados apresentados contribuíram para a elaboração do Plano de Manejo de Dunas do Município, desenvolvido pelo Laboratório de Gerenciamento Costeiro/Centro de Estudos em Geologia Costeira/Oceânica do Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABGERCO/CECO/IGEO/UFRGS).

3.1 Caracterização de ambientes e de áreas de conflito antrópico

Utilizando o critério de Crepani *et al.* (2001) que considera que o estudo e a análise da paisagem resultam da síntese de dados ecológicos, geológicos e antrópicos, os ambientes (unidades de paisagem) foram delimitados como uma determinada área do terreno no qual ocorrem uma combinação de eventos e interações que representam um elo característico entre a geografia e a ecologia.

Em novembro de 2012 foi efetuado o levantamento de dois perfis morfoecológicos, que mostram a variação da cobertura vegetal ao longo das dunas adjacentes à praia. Os perfis foram obtidos por nivelamento topográfico, com base em referenciais de nível verticais por meio de marcos situados no extremo continental do perfil. O

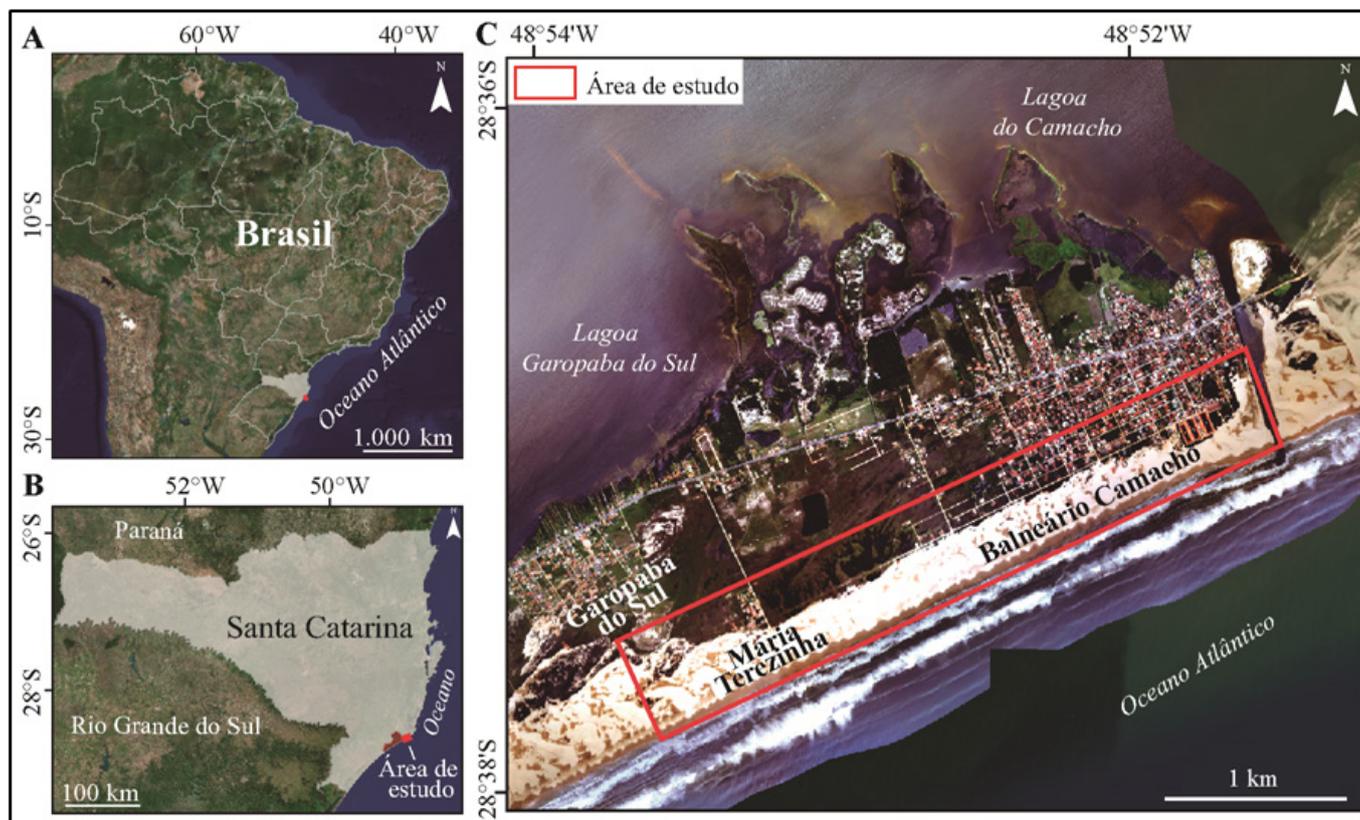


Figura 1 - Localização da área de estudo, Balneário Camacho, município de Jaguaruna, Santa Catarina, Brasil. A) Localização no Brasil (Mapa Base ESRI); B) Localização no estado de Santa Catarina (Mapa Base ESRI); C) Detalhe da área de estudo em uma fotografia aérea (SDS/SC, 2012).

Figure 1 - Location of the study area, Camacho balneary, municipality of Jaguaruna, Santa Catarina, Brazil. A) Location in Brazil (ESRI Base Map); B) Location in the state of Santa Catarina (ESRI Base Map); C) Detail of the study area in an aerial photography (SDS/SC, 2012).

inventário morfoecológico das dunas costeiras foi obtido através de parcelas de 1 m² amostradas à distância fixa de 3 m ao longo dos perfis. As espécies vegetais foram identificadas com o uso de guia ilustrado das plantas das dunas costeiras de Cordazzo & Seeliger (1995), entre outras referências.

3.2 Estimativa de vulnerabilidade de dunas

No sentido de identificar os setores mais vulneráveis do sistema de dunas costeiras do Balneário Camacho, empregou-se, em abril de 2013, o método de *checklist* (lista de controle de vulnerabilidade) adaptado de Williams *et al.* (2001), já utilizado na construção de planos de manejo de dunas no Rio Grande do Sul pelo LABGERCO (e.g. Diagnóstico e Plano de Manejo de Dunas Frontais de Arroio do Sal, 2011 e Diagnóstico e Plano de Manejo de Dunas Frontais de Capão da Canoa, 2010). O método consiste em atribuir uma pontuação de 0 a 4 para cada variável dentro de um setor de 250 m de extensão, no qual a nota zero (“0”) representa uma condição boa de equilíbrio e a nota quatro (“4”), um estágio avançado de degradação. Os 25 parâmetros avaliados com o *checklist* são dispostos em quatro

seções distintas: A - morfologia da duna, com cinco parâmetros; B - condição da praia, cinco parâmetros; C - características dos 400 m adjacentes ao mar, oito parâmetros; e D - pressão de uso, com sete parâmetros avaliados. Na tabela SI - II podem ser observados os parâmetros e pontuações do *checklist* utilizado.

Os dados obtidos foram tratados utilizando o programa *Microsoft® Office Excel®* para gerar: os Índices de Vulnerabilidade Relativos (IVR) de cada seção (A, B, C ou D) de cada trecho praiar, no qual se somam os valores obtidos para os parâmetros de determinada seção, multiplica-se por cem e divide-se pela soma do valor máximo possível dos parâmetros da seção, e; os Índices de Vulnerabilidade Finais de cada trecho (IVF) obtidos pela mesma lógica dos IVR, contudo somam-se os valores obtidos por seção (A, B, C e D), multiplica-se por cem e divide-se pelo somatório do valor máximo possível de todos os parâmetros. Os índices resultantes são proporcionais à fragilidade do sistema.

Os índices de vulnerabilidade das dunas podem ser divididos em classes, aqui representados pelos níveis de vulnerabilidade propostos por Laranjeira (1997): Nível 1, IVF entre 0 e 20%, sistema de dunas com

baixa sensibilidade; **Nível 2**, IVF entre 21 e 40%, já se percebem sinais de mudanças no sistema; **Nível 3**, IVF entre 41 e 60%, já se percebe significativa degradação das dunas; **Nível 4**, IVF entre 61 e 80%, o sistema de dunas já apresenta sensibilidade elevada; e **Nível 5**, IVF de 81 a 100%, dunas apresentam estágio de degradação extrema. Por outro lado, de forma a identificar as áreas mais vulneráveis da orla, os trechos avaliados foram agrupados através de análise multivariada (*Cluster analysis*, modo correlação) utilizando-se o programa estatístico *PAST* (Hammer *et al.*, 2001).

Na suíte de aplicativos para dados e informações geoespaciais *ArcGIS Desktop*[®] (ESRI, 2015) elaborou-se um projeto no qual foram criados e analisados o banco de dados de trabalho e, por fim, a partir dos métodos supracitados, aliados a análises de bibliografia, dados de sensoriamento remoto – fotografias aéreas da SDS/SC (2012), imagens de satélite *Google Earth*[®] e *MAPA BASE - Imagem do ArcGIS Desktop*[®] – e verificações de campo, foi possível concluir o zoneamento da orla do Balneário Camacho e ainda, propor ações de manejo para remediar tais conflitos, com base nos resultados obtidos.

4. RESULTADOS

4.1 Ambientes e áreas de conflito antrópico

A paisagem da área de estudo consiste em uma barreira arenosa holocênica, composta por um mosaico de ambientes de restinga, onde interagem: o campo de dunas, a praia, a planície alagável com pequenas lagoas e banhados perenes e intermitentes, além dos ambientes antrópicos, como o florestamento de *Casuarina* sp., a ocupação humana atual e o Sambaqui Garopaba do Sul (Figura 2). No campo de dunas costeiras há alguns pontos cobertos por vegetação herbácea de restinga, principalmente associados aos *nebkhas* e aos interdunas; na praia podem ocorrer pequenos tufos de vegetação herbácea de restinga, remobilizadas do campo de dunas. Na planície alagável há expressiva cobertura vegetal de restinga herbácea e subarbusciva, com ocorrência de espécies adaptadas a ambientes aquáticos, além da intensa colonização por árvores exóticas de *Casuarina* sp.. Mais informações sobre os resultados e interpretações da paisagem do Balneário podem ser encontradas no SI - III.

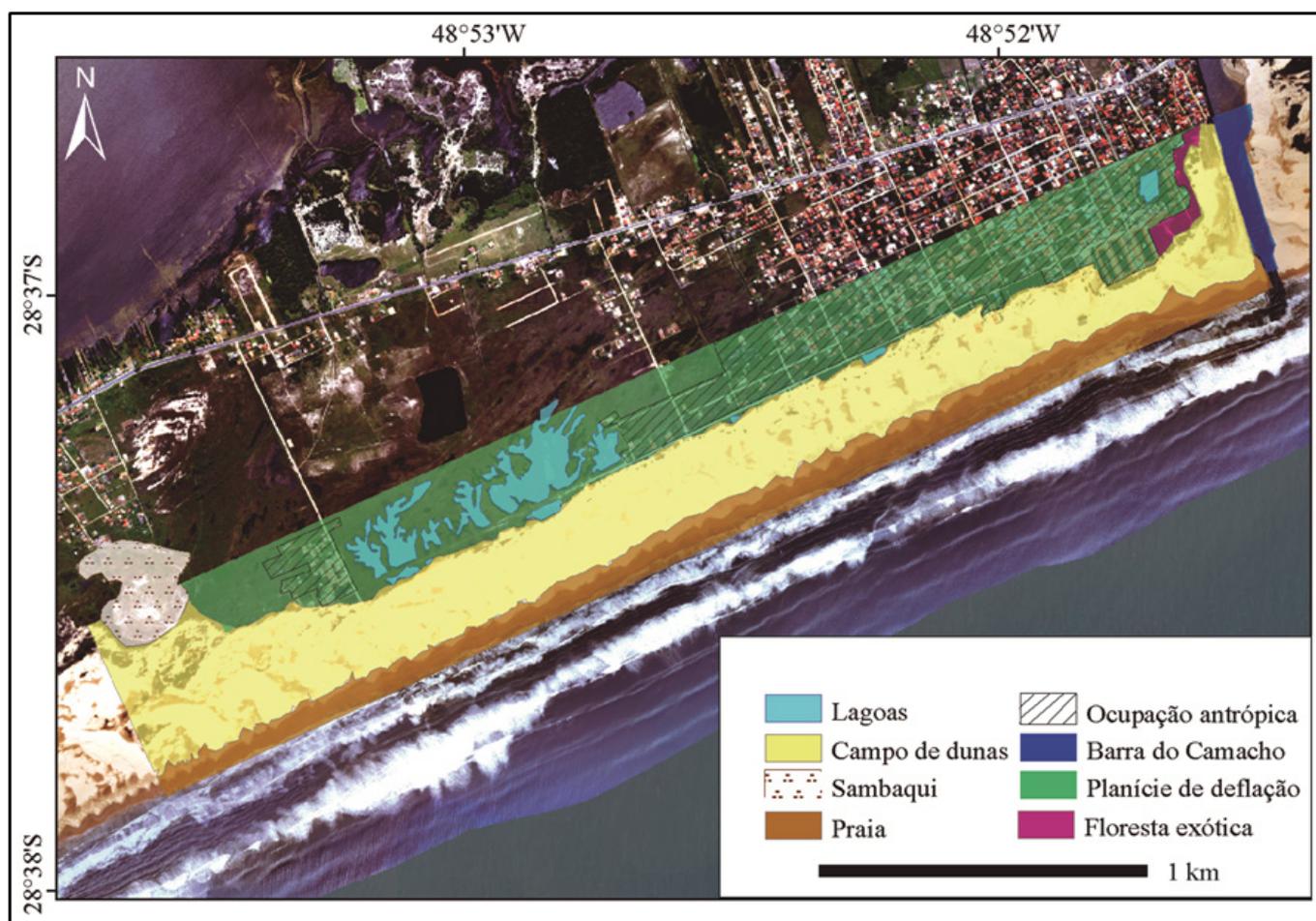


Figura 2 - Principais ambientes da área de estudo, classificados sobre fotografia aérea de 2012 (SDS/SC, 2012).

Figure 2 - Main environments of the study area, classified in an aerial photograph of 2012 (SDS/SC, 2012).

Foram pontuadas e avaliadas 23 áreas de conflito entre o uso e ocupação, e ambientes naturais da orla marinha do Balneário (Figura 3). Dessas áreas destacam-se quatro vetores de pressão recorrentes:

- Ocupação irregular da orla, em áreas de pós-praia, duna e pós-duna (Figura 3A);
- Depósitos irregulares de resíduos sólidos domésticos e da construção civil em ambientes de duna e pós-duna (Figura 3B);
- Acessos e trânsito de veículos sobre o pós-praia, dunas e pós-dunas (Figura 3C);
- Dispersão abrangente de *Casuarina* sp. (espécie exótica) em ambientes de duna e pós-duna (Figura 3D).

4.2 Vulnerabilidade de dunas

Obtiveram-se IVF dos 15 trechos (T1-T15) do sistema de dunas da orla do Balneário Camacho dentro dos Níveis 2 e 3 de vulnerabilidade (Figura 4), pré-estabelecidos em função do limiar de resiliência do sistema de dunas apresentado por Laranjeira (1997). Dentro do intervalo do Nível 2 de vulnerabilidade temos os trechos 10 a 12, 14 e 15 do Balneário que mesmo sem intervenções antrópicas se mantém neste nível de vulnerabilidade pela característica móvel das dunas costeiras e presença de interdunas. No Nível 3 estão os trechos de 1 a 9 e o 13, onde se observam sinais significativos de degradação do sistema pela falta de restrições quanto aos usos, pois o sistema de dunas situa-se sobre o limiar de resiliência em alguns trechos, principalmente no leste-nordeste do Balneário.

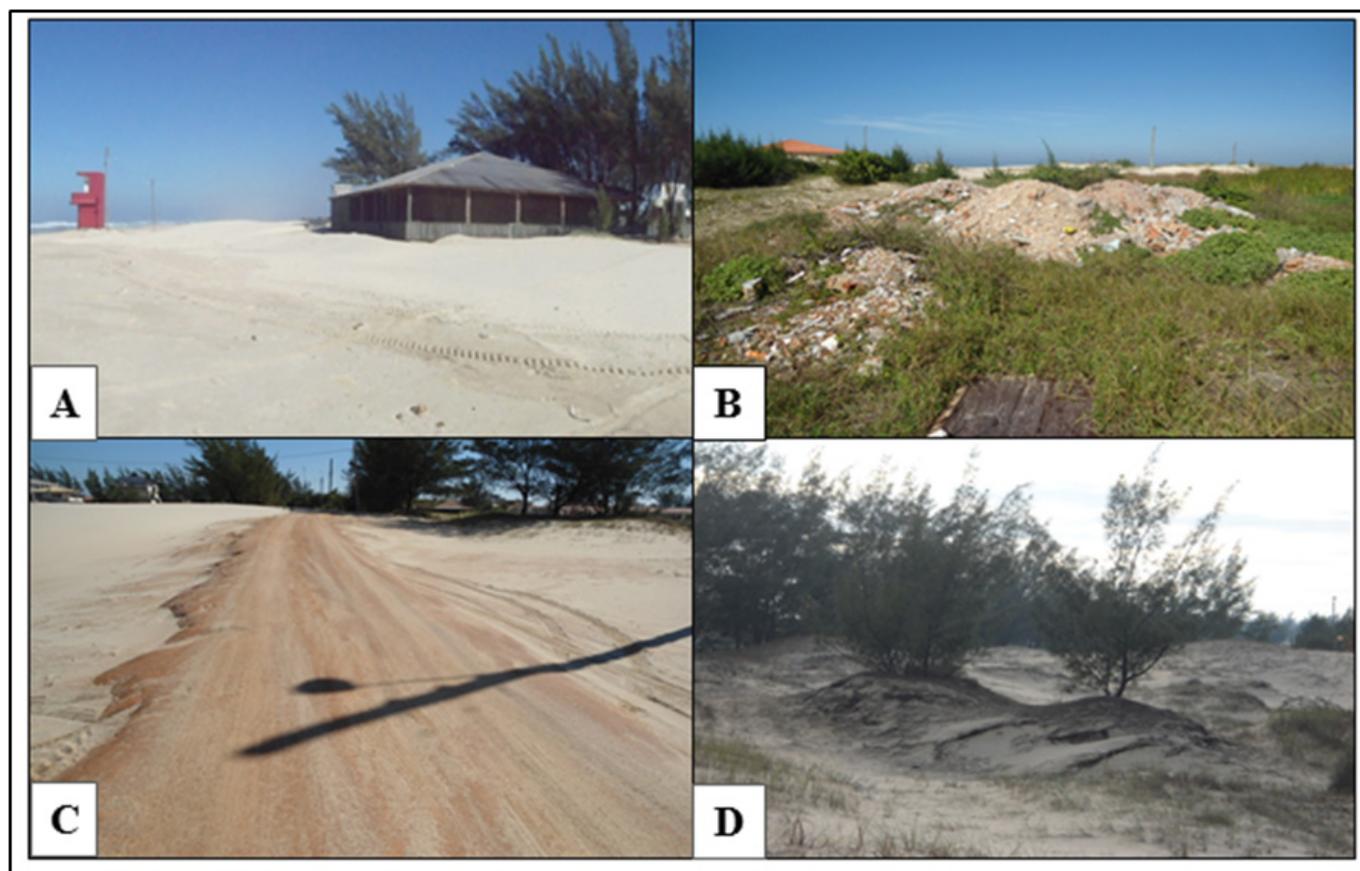


Figura 3 - Fotografias dos conflitos mais comuns entre o uso antrópico e os ecossistemas da orla do Balneário Camacho. A) Ocupação irregular da faixa de dunas e plantio de espécie exótica para amenizar os efeitos da ação eólica; B) Depósitos de resíduos sólidos irregulares; C) “Pavimentação” de acessos para veículos à praia com saibro sobre o sistema de dunas; D) Dispersão de *Casuarina* sp. sobre as dunas derivada de plantio.

Figure 3 - Photographs of the most common conflicts between anthropic use and the ecosystems of the Camacho balneary seafront. A) Irregular occupation in sand dunes with plantations of exotic species to mitigate the effects of the wind action; B) Irregular deposition of solid waste; C) Beach access “paving” for vehicles with clay on the dune system; D) Dispersion of *Casuarina* sp. on the dunes.

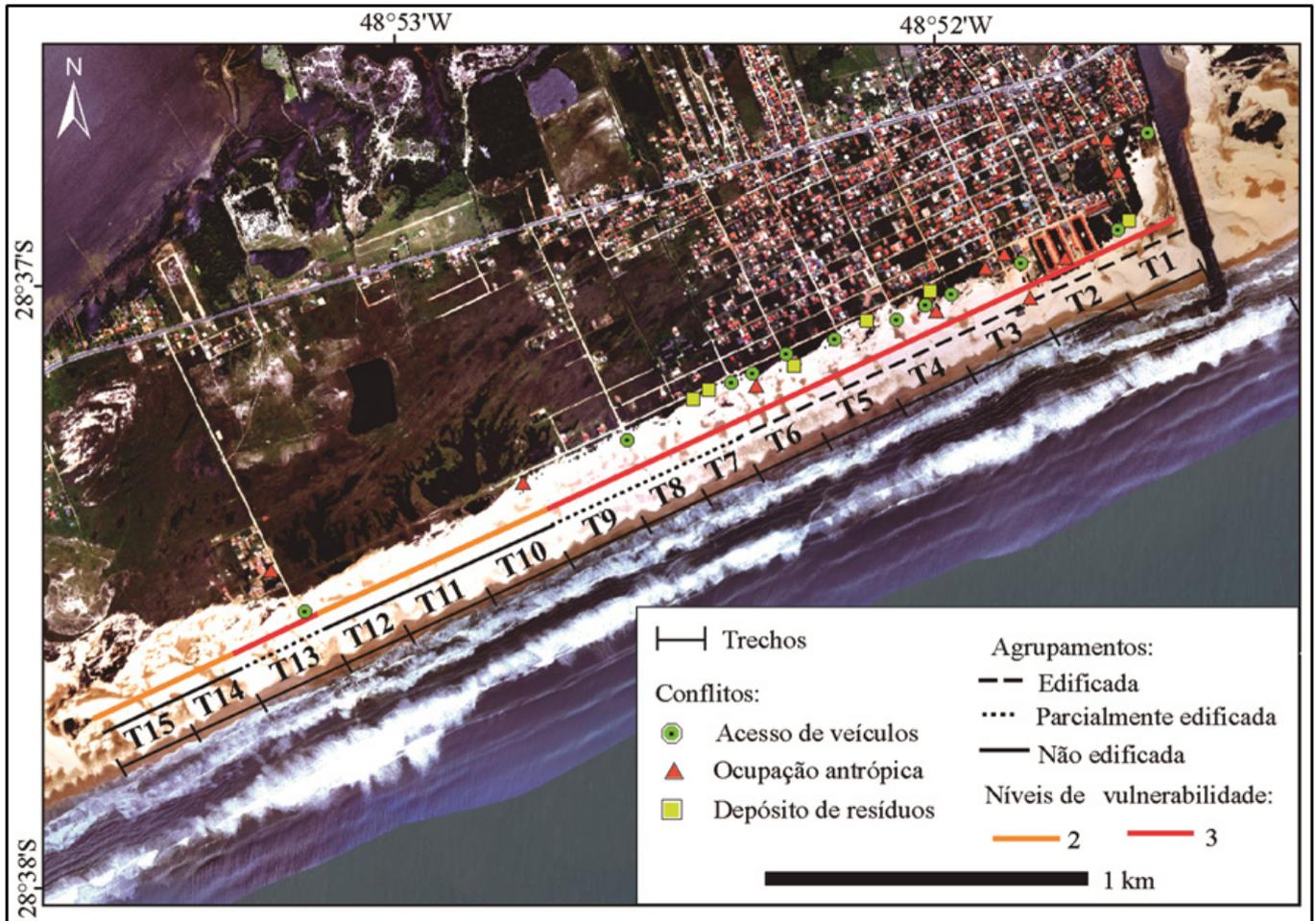


Figura 4 - Vulnerabilidade das dunas do Balneário Camacho. Localização dos trechos, assim como o mapeamento dos agrupamentos e níveis de vulnerabilidade. Observa-se que as áreas mais vulneráveis estão associadas a ocupações. Fotografia aérea: SDS/SC (2012).

Figure 4 - Vulnerability of dunes of the Camacho balneary. Location of the sections, as well as the mapping of groups and levels of vulnerability. The most vulnerable areas, as observed, are associated with occupied areas. Aerial Photography: SDS/SC (2012).

Verificam-se, por análise multivariada de correlação, dois grandes agrupamentos principais com relação os IVF dos trechos de dunas do Balneário. Na Figura 5 é visto um agrupamento referente aos trechos do Nível 2 e outro dos trechos de Nível 3, este, subdividido em dois subgrupos, classificados como setor edificado e parcialmente edificado (delimitados na Figura 3). Os setores de maiores índices de vulnerabilidade são também os prioritários ao manejo e, geralmente, se agrupam em uma única categoria estatística (Tabajara *et al.*, 2005), como é o caso dos trechos 1 ao 6. Ainda, as vulnerabilidades de cada trecho podem ser analisadas por seções, apresentadas no SI - IV.

4.3 Zoneamento ambiental

Com base nas avaliações da orla costeira em estudo, chegou-se à compartimentação da mesma em cinco setores (Figura 6), classificados em três diferentes zonas denominadas: Zona impactada (Setor 1 - T1-T6), Zona

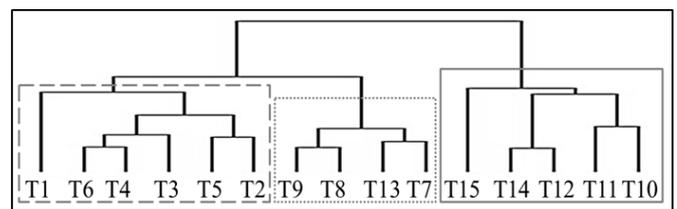


Figura 5 - Trechos da orla do Camacho agrupados quanto à vulnerabilidade das dunas com o uso do programa PAST. Observam-se dois grandes agrupamentos: dos trechos de Nível 3, subdivididos em edificado (linha tracejada) e parcialmente edificado (linha pontilhada); e dos trechos de Nível 2 de vulnerabilidade, não edificado (linha contínua).

Figure 5 - Stretches of the seafront of the Camacho balneary grouped in relation to the vulnerability of the dunes using the PAST software. Two large groups were observed: the Level 3 sections, subdivided into "constructed" (dashed line) and "partially constructed" (dotted line); and Level 2 sections of vulnerability, "unconstructed" (solid line).

em degradação (Setor 2 - T7-T9 e Setor 4 - T13) e Zona preservada (Setor 3 - T10-12 e Setor 5 - T14-T15), apresentados no mapa da Figura 6.

A fim de descrever e embasar o zoneamento efetuado, observada a ocupação antrópica desordenada contínua na região (mesmo com a recomendação do MPF), foi elaborada a Tabela 1. Nesta tabela são apresentadas as características mais relevantes de cada zona definida, acompanhadas de sugestões de ações de manejo e gestão emergenciais e ideais.

5. DISCUSSÃO

De forma geral, acredita-se que é essencial uma definição técnica com delimitação cartográfica de APP, para embasar as tomadas de decisão. Ademais, é necessária uma ampla discussão, aberta à comunidade, com o uso de ferramentas de gestão como o Projeto Orla, e os Planos Diretor, Ambiental e de Saneamento Básico Municipal

sobre a permanência de edificações consolidadas e o uso e ocupação da orla, bem como sobre as áreas preferenciais à criação de nova Unidade de Conservação na região.

Existem muitos conflitos dentro dos limites da orla do Balneário Camacho. A disposição de resíduos sólidos em local inadequado contribui para a contaminação do ambiente e empobrecimento da paisagem, bem como a dispersão de espécies exóticas, que descaracterizam o cenário e o ambiente de dunas costeiras. Os acessos de veículos à praia também auxiliam na degradação das dunas, com a criação de brechas que evoluem para *blowouts*, além de causar danos à fauna intersticial praiar, pela contaminação e compactação do substrato pelo trânsito dos veículos.

Para o ordenamento do uso e ocupação do Balneário Camacho deve-se considerar o contexto geológico recente e instável em que se insere. Os loteamentos, sem infraestrutura urbana adequada, foram implantados em uma estreita barreira costeira holocênica, arenosa, com

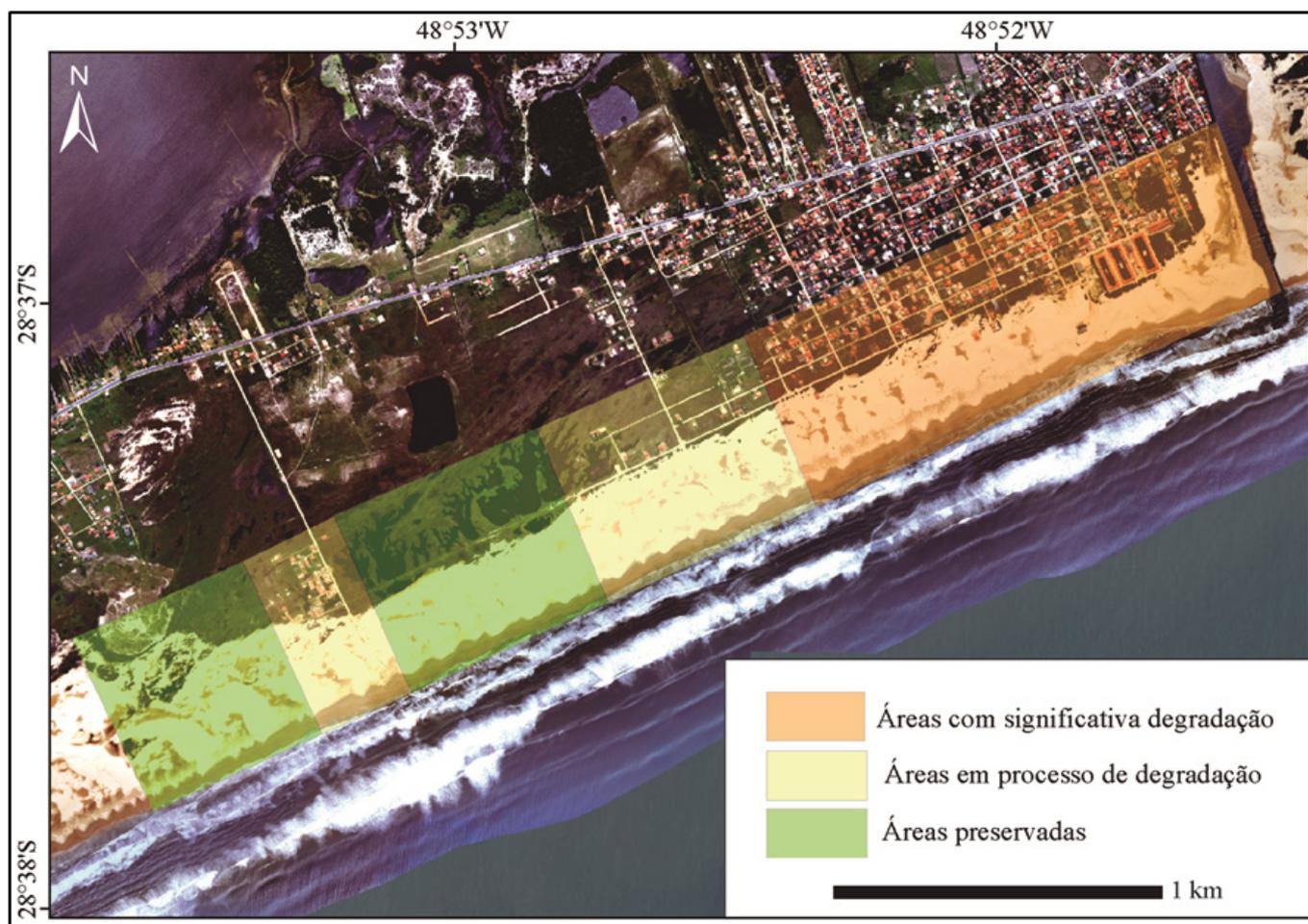


Figura 6 - Zoneamento final da orla do Balneário Camacho. Síntese da avaliação, com a localização dos setores e respectivas zonas. Fotografia aérea: SDS/SC (2012).

Figure 6 - Final zoning of the seafront of Camacho balneary. Summary of the assessment, with the location of the sectors and their areas. Aerial Photography: SDS/SC (2012).

Tabela 1 - Descrição das zonas identificadas na orla do Balneário Camacho e seus respectivos setores de localização.

Table 1 - Description of the areas identified on the seafront of the Camacho balneary and their location sectors.

ZONA	SETOR	CARACTERÍSTICAS	MANEJO
Impactada	1	Nível 3 de vulnerabilidade de dunas; Orla mais densamente edificada; Ocupação antrópica, acessos de veículos e recorrentes depósitos de resíduos em sistemas de dunas e pós-dunas; Canal artificial causando um desequilíbrio sedimentar (<i>by-pass</i> sedimentar); Impacto antrópico significativo.	Maior fiscalização de obras; Restringir novas edificações e acesso de veículos em ambientes sensíveis; Desocupação de áreas de risco.
Em degradação	2 e 4	Nível 3 de vulnerabilidade de dunas; Mantém características relativamente naturais do sistema de dunas costeiras; Orla em processo de edificação; Ocupação antrópica, acesso de veículos e depósitos de resíduos pontuais sobre o sistema de dunas; Setor 4 com ocupações irregulares sobre área alagável da planície alagável; Impacto antrópico médio, acentuando-se rapidamente devido à expansão de edificações em áreas irregulares.	Desocupação e recuperação de áreas ambientalmente sensíveis e de risco; Ações de limpeza e educação ambiental; Ações conjuntas de fiscalização de obras e ambiental, para que a expansão ocupacional respeite áreas sensíveis, condições geológicas desfavoráveis e normativas vigentes; Manutenção do acesso restritivo de veículos à praia pela Avenida da Plataforma, com acesso apenas para pescadores de subsistência e veículos oficiais em serviço.
Preservada	3 e 5	Nível 2 de vulnerabilidade pela característica móvel das dunas; Mantém características naturais do sistema de dunas e pós-dunas; Importância arqueológica (sambaquis); Intervenções antrópicas de apoio à pesca; Baixo impacto antrópico; Importante para a conservação da paisagem natural do litoral sul catarinense.	Conservação dos ambientes com a criação de uma Unidade de Conservação Municipal mais restritiva.

linha de costa de comportamento transgressivo, com atual interrupção do *by-pass* de sedimentos, responsável pela manutenção do campo de dunas costeiro, devido à manutenção da abertura do canal artificial do Camacho. Ao longo da orla, movem-se dunas barcanas e cadeias barcanoides de pequena a grande dimensão, ligadas a um perfil praiado dinâmico, exposto a intensa atividade marinha e eólica. A cobertura vegetal existente é expressa por espécies que habitam ambientes de restinga de planícies, banhados, lagoas e praias, configurando um conjunto de ambientes frágeis e dinâmicos, onde a ocupação deve ser ordenada levando-se em conta a inundação regular de grandes áreas e possível perda de território para o

mar. Observadas essas características, recomenda-se que estruturas de apoio ao turismo e à pesca sejam móveis e retiradas em períodos de baixa temporada turística, evitando danos materiais e ao meio ambiente.

A pequena profundidade do lençol freático, evidenciada pela ocorrência de banhados e áreas úmidas, agrava os atuais impactos causados pelo sistema de saneamento básico adotado, visto que muitas residências utilizam água proveniente do subsolo: em um ambiente poroso, não há coleta e tratamento de efluentes domésticos por rede pública, e os tipos majoritários de sistema de esgotamento sanitário adotados na região são fossas sépticas inadequadas (permeáveis) e/ou sumidouros.

A ocupação inadequada em área de dunas, pós-dunas e regiões alagadiças é recorrente e, na grande maioria dos casos, para alocação de residências de uso ocasional (segunda residência). Destaca-se na paisagem local, ao leste-nordeste do Sambaqui Garopaba do Sul, uma área de invasão (“Loteamento Maria Terezinha”), amplamente discutida no trabalho de Cristiano *et al.* (2015). Onde a expansão da ocupação sem regramento causa danos irreversíveis ao meio ambiente, com danos ao patrimônio arqueológico, aterramento de áreas úmidas, poluição/contaminação de áreas susceptíveis (por resíduos sólidos e efluentes domésticos não tratados), entre outros (Cristiano *et al.*, 2015).

A necessidade de medidas mais efetivas de conservação no Balneário Camacho é eminente devido à raridade e à singularidade da paisagem local, de elevado interesse turístico, histórico, educacional e recreativo, configurando um testemunho da história e da paisagem regional antecedente. O desenvolvimento do ecoturismo com a valorização da natureza local e com planejamento adequado pode auxiliar no desenvolvimento de outros setores e condições urbanas deficitárias no Balneário (como o esgotamento sanitário, por exemplo). A localização geográfica do município próxima de centros urbanos importantes do sul catarinense (como Criciúma, Tubarão e Garopaba), com ligação por estradas pavimentadas e os diferentes modais de transporte que dispõe (rodoviário e aeroviário) são potencializadores para a implementação de ações de gestão do turismo, assim como para a atração de investimentos por seus benefícios. O potencial para a geração de energia eólica ou até mesmo para a criação de novas Unidades de Conservação na região são opções de uso a serem avaliadas e a exploração turística pode ser um viés econômico melhor aproveitado se consonante com as condições naturais do ambiente local.

6. CONCLUSÕES

A orla do Balneário Camacho configura uma área inadequada à ocupação humana, devido a sua característica de exposição ao trem de ondas e alta dinâmica, com risco de invasão marinha em ocasião de marés meteorológicas e elevações do nível do mar (e, com a retirada parcial ou completa de dunas, esse risco é potencializado). Ademais, as dunas do Camacho são mais susceptíveis à ação eólica por serem desprovidas de cobertura vegetal, e, ao migrarem, causam danos às residências construídas muito próximas do sistema.

O Balneário Camacho apresenta grande potencialidade para usos sustentáveis, compatíveis com as características locais. É necessária a implementação de atividades de gestão que busquem a mudança do atual paradigma econômico, estimulado pela segunda residência e desatenção à capacidade de resiliência da geodiversidade local.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelas bolsas de estudos de Pós-Graduação que permitiram a elaboração do presente trabalho, aos colegas e professores dos Programas de Pós-Graduação em Geociências/Geologia Marinha e em Geografia, ambos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao José Fontes pela hospitalidade na área de estudo e ao professor Léo Hartmann pela revisão da estrutura deste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cordazzo, C.V.; Seeliger, U. (1995) – *Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil*. 275p., Editora da FURG, Rio Grande, Brasil. ISBN: 858-5042222.
- Cristiano, S.C.; Martins, E.M.; Gruber, N.L.S.; Barboza, E.G. (2015) – Avaliação do Processo de Ocupação Irregular na Zona Costeira: Caso da “Invasão Maria Terezinha”, Município de Jaguaruna/SC. *Gravel*, 13 (1): 1-14.
- Crepani, E.; Medeiros, J.S.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V.; Barbosa C.C.F. (2001) – *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos. 103p. Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, Brasil. Disponível em << <http://www.ufpe.br/latecgeo/images/PDF/senso%20e%20geoprocessamento.pdf> >>, último acesso dia 15/04/2016 às 12h.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. (2015) – *ArcGIS Desktop, versão 10.3.1*. Estados Unidos. Programa proprietário. Licença Corporativa em nome da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Hammer, O.; Harper, D.A.T.; Ryan, P.D. (2001) – Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* (ISSN: 1094-8074), 4(1): 1-9. Disponível em << http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf >>, último acesso dia 15/04/2016 às 12h.
- Harvey, N.; Caton, B. (2003) - *Coastal Management in Australia*. 342 p., Oxford University Press, Melbourne, Australia. ISBN: 0195537947
- Horn Filho, N.O.; Felix, A., Vieira, C.V.; Batista, E.M.C. (2010) – Geologia da planície costeira das folhas de Jaguaruna e Garopaba do Sul, SC, Brasil. *Revista Discente Expressões Geográficas*, 6: 90-110.
- Horn Filho, N.O.; Schmidt, A.D.; Benedet, C.; Neves, J.; Pimenta, L.H.F.; Paquette, M.; Alencar, R.; Silva, W.B.; Villela, E.; Genovez, R.; Santos, C.G. (2014) – Estudo Geológico dos Depósitos Clásticos Quaternários Superficiais da Planície Costeira de Santa Catarina, Brasil. *Gravel*, 12 (1): 41-107.
- Laranjeira, M. (1997) – *Vulnerabilidade e gestão dos sistemas dunares: o caso das dunas de Mira*. Lisboa. 199 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. Não publicado.
- Martins, E.M.; Oliveira, J.F.; Bitencourt, V.J.B.; Scarelli, F.M.; Biancini da Silva, A.; Gruber, N.L.S.; Rosa, M.L.C.C.; Barboza, E.G. (2014) – Comportamento Evolutivo da Barreira Costeira junto ao Balneário do Camacho, Jaguaruna/SC. *Gravel*, 12 (1): 109-118.
- Muehe, D. (2001) – O litoral brasileiro e sua compartimentação. In:

Caracterização da costa marinha do Balneário Camacho (Santa Catarina, Brasil) como subsídio à gestão

- Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. (org), *Geomorfologia do Brasil*, pp. 273-349, Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 8528606708.
- Oliveira, M.R.L.; Nicolodi, J.L. (2012) – A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla – Uma análise sob a ótica do poder público. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 12(1): 89-98. DOI:10.5894/rgci308.
- Rosa, M.L.C.C.; Barboza, E.G.; Abreu, V.S.; Tomazelli, L.J.; Dillenburg, S.R (2017) – High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2): 183-207. DOI: 10.1590/2317-4889201720160138
- Rosa, M.L.C.C.; Barboza, E.G.; Dillenburg, S.R.; Tomazelli, L.J.; Ayuo-Zouain, R.N. (2011) – The Rio Grande do Sul (southern Brazil) shoreline behavior during the Quaternary: a cyclostratigraphic analysis. *Journal of Coastal Research*, SI 64: 686-690.
- Scherer, M.; Ferreira, C.; Mudat, J.; Cataneo, S. (2006) – Urbanização e Gestão do Litoral Centro-Sul do Estado de Santa Catarina. *Meio Ambiente e Desenvolvimento*, 13: 31-50. DOI: 10.5380/dma.v13i0.4873.
- SDS/SC – Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Santa Catarina. (2012) – Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina – Fotografia Aérea do Município de Araranguá.
- SPG/SC – Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado de Santa Catarina. (2010) – *Implantação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, Fase I, Diagnóstico Sócio Ambiental, Setor Centro-Sul*. Florianópolis, SPG/DDC, 493p. Disponível em << <http://www.spg.sc.gov.br/index.php/visualizar-biblioteca/acoes/gerco/diagnostico-socio-ambiental/35-gerco-setor-4-site/file> >>, último acesso dia 15/04/2016 às 12h.
- Tabajara, L.L.C.A.; Gruber, N.L.S.; Dillenburg, S.R.; Aquino, R. (2005) – Vulnerabilidade e Classificação das Dunas da Praia de Capão da Canoa, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Gravel* (ISSN 1678-5975), 3:71-84, Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível em: << http://www.ufrgs.br/gravel/3/Gravel_3_08.pdf >>, último acesso dia 15/04/2016 às 12h.
- Tabajara, L.L.C.A.; Oliveira, J.F.; Leite, P.T.; Oliveira, R.M.; Franchini, R.A.L.; Cristiano, S.C.; Claussen, M.R.S. (2013) – Critérios para a Classificação e Manejo de Costa Arenosa Dominada por Ondas e com Intensa Ocupação Urbana: o caso de Imbé, RS, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 13(4): 409-431. DOI: 10.5894/rgci381
- Tabajara, L.L.C.A. (2004) – Resultante geológica causada pela passagem do ciclone Catarina no litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Gravel* (ISSN 1678-5975), 2: 125-130, Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível em << http://www.ufrgs.br/gravel/2/Gravel_2_12.pdf >>, último acesso dia 15/04/2016 às 12h.
- Villwock, J. A. (1984) - Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil: A Synthesis. *Pesquisas*, 16: 5-49. Porto Alegre, RS.
- Villwock, J.A.; Tomazelli, L.J.; LOSS, E.L.; Dehnhardt, E.A., Horn Filho, N.O., Bachi, F.A.; Denhardt, B.A. (1986) – Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J. (ed.), *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 4, 79-97.
- Williams, A.T.; Alveirinho-Dias, J.; Garcia, N.F., Garcia-Mora, M.R.; Curr, R.; Pereira, A. (2001) – Integrated coastal dune management: checklists. *Continental Shelf Research*, 21 (18-19): 1937-1960. DOI: 10.1016/S0278-4343(01)00036-X.

SUPPORTING INFORMATION I

CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

1. CONTEXTO GEOLÓGICO

Horn Filho & Diehl (2001) dividem a geologia de Santa Catarina em cinco províncias geológicas por seus caracteres petrográficos, estruturais, sedimentares e evolutivos, são elas: o Escudo Catarinense; a Bacia do Paraná; o Planalto da Serra Geral; o Complexo Alcalino e a Província Costeira. A Província Costeira de Santa Catarina (PCSC) por sua vez, foi subdividida em oito compartimentos geológico-geomorfológicos, agrupados em três setores: Norte, Central e Sul. A PCSC é constituída de duas unidades geológicas maiores: o embasamento e as bacias sedimentares marginais de Pelotas e Santos. O embasamento aflorante em algumas regiões na forma de elevações, maciços rochosos, promontórios, pontais e ilhas continentais, representam as terras altas da PCSC, constituído por rochas das províncias geológicas do Escudo Catarinense, da Bacia do Paraná e do Planalto da Serra Geral (Horn Filho, 2003). As Bacias de Santos e Pelotas configuram a margem continental da PCSC, caracterizada como uma margem continental “deposicional”. As bacias são compostas por dois setores interdigitados, limitados pela praia: o setor submerso (plataforma continental) e o setor emerso (planície costeira). Estas bacias marginais são limitadas geograficamente pela Plataforma de Florianópolis, nas imediações do cabo de Santa Marta, que tem ao sul, a Bacia de Pelotas e ao norte, a Bacia de Santos (Horn Filho, 2003).

A área de estudo situa-se próxima ao limite geomorfológico do cabo de Santa Marta. Ao norte tem-se o início de um litoral composto por baías e praias recortadas pelo embasamento cristalino, caracterizado pela elevação paleógena do assoalho oceânico, e ao sul planícies largas e contínuas (Siegle & Asp, 2007).

Caruso Jr. (1995) caracteriza a geologia e a geomorfologia da zona costeira da área deste estudo em duas unidades principais: o Embasamento Cristalino e a Planície Costeira. O embasamento cristalino é constituído por rochas graníticas de idade Pré-Cambriana. A Planície Costeira, localizada entre o embasamento e a Plataforma Continental Atlântica, é caracterizada como um complexo sistema de depósitos de idade Cenozoica. Na porção interna da Planície Costeira podem-se identificar depósitos em forma de leques aluviais, e na porção mais externa, se tem o sistema deposicional tipo Laguna-Barreira, formado pelas oscilações do nível relativo do mar no Quaternário (Horn Filho *et al.*, 2010, 2014).

Geomorfologicamente, Giannini (1993) caracterizou a área em estudo pela justaposição de quatro sistemas deposicionais costeiros: o lagunar, o barra-barreira (Holoceno), a planície costeira (Pleistoceno e Holoceno) e o eólico (Pleistoceno e Holoceno). Vieira *et al.* (2009a) sintetizaram o modelo paleogeográfico da área de estudo em cinco estágios evolutivos: regressão do Pleistoceno inferior; transgressão do Pleistoceno superior; regressão após o máximo do Pleistoceno superior; transgressão do Holoceno; e regressão do Holoceno. Fornari (2010) e Fornari *et al.* (2012) caracterizaram a sucessão sedimentar holocênica da área como o preenchimento de uma paleobaía, formada pelas atuais lagoas do Camacho, Garopaba do Sul e Santa Marta.

Martinho (2004) afirma que o grande influxo sedimentar eólico da região ao sul do cabo de Santa Marta, onde se localiza o Balneário Camacho, não permite a formação e fixação de dunas frontais. A linha de costa apresenta direção aproximadamente longitudinal ao sentido do vento predominante (NE-SW), de modo que o campo de dunas migra paralelamente à linha de costa. Com o avanço da urbanização, o sistema de dunas transversas pode ser observado somente entre o canal artificial da Lagoa do Camacho e o Balneário Dunas do Sul, a SW (Martinho, 2004).

Hoje, o canal artificial do Camacho, com aproximadamente 200 m de largura e 1,5 m de profundidade, oriundo da construção de um guia corrente na década de 1990 (Giannini, 1993; Klein *et al.*, 1998) e de constante dragagem pelo poder público municipal (pois tende ao fechamento), faz a ligação das lagoas adjacentes com o Oceano Atlântico. A manutenção do canal altera as condições naturais de escoamento fluvial na região, a qual contava somente com o Arroio Corrente e o Rio Tubarão como exutórios perenes (ao sul e ao norte, respectivamente, em relação ao Balneário Camacho), e da dinâmica sedimentar, com o “sequestro” de sedimentos pelo canal.

2. ASPECTOS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS

O clima na região é descrito como subtropical úmido mesotérmico, sem estação seca, com precipitação durante o ano todo, temperatura média de 19°C e alta umidade relativa do ar (Giannini, 1993). O Anticiclone Tropical do Atlântico Sul predomina nos meses de primavera-verão, trazendo ventos de leste a nordeste; e no outono-inverno, a área sofre a influência do Anticiclone Móvel Polar, com ventos de sul a sudoeste (Orselli, 1986). A frequência média mensal de frentes frias no litoral catarinense foi estudada por Rodrigues *et al.* (2004) que constataram a entrada de três a quatro frentes por mês, com declínio da temperatura no dia seguinte à passagem.

A área é caracterizada por um regime de micromarés, com amplitude de maré astronômica de aproximadamente 0,6 m e tendência para um regime misto de maré semi-diurna. Marés meteorológicas podem ser mais expressivas na região, com 1,5 m, causando danos na barreira costeira, principalmente quando aliada a ventos fortes (Beltrame, 2003).

Em estudo feito na costa sul catarinense por Siegle & Asp (2007), verificou-se que as ondas de S e E, que possuem alta energia e longo período (*swell*), são as controladoras da deriva litorânea de sedimentos no sentido sudoeste-nordeste; as ondas de nordeste-sudoeste (*vagas*), de baixa energia e curto período, são mais frequentes, mas menos importantes no transporte longitudinal litorâneo. Em específico para o setor onde se insere a área em estudo, os autores verificaram que a deriva litorânea efetiva é muito pequena, havendo uma inversão de direção sazonal.

3. CONTEXTO ECOLÓGICO

O ambiente costeiro constitui uma região de transição ecológica, compõem-se de um complexo de ecossistemas formadores de ambientes de alta complexidade e extrema relevância para a sustentação da vida no mar (MMA, 2010). As características da plataforma continental associadas às condições meteorológicas e correntes marítimas fazem do Setor Centro-sul do litoral catarinense um setor de alta produtividade primária. Em outro aspecto, é coberto originalmente por formações vegetais do Bioma Mata Atlântica, com a Floresta Ombrófila Densa entre o planalto e o mar, revestindo o embasamento e parte da planície costeira, que por sua vez abriga formações vegetais dos tipos Restinga, Marisma e Manguezal (SPG/SC, 2010). A faixa marítima deste setor tem diversos conflitos relativos ao uso desordenado do seu espaço e recursos, fomentados pela falta de planejamento municipal para as atividades pesqueira, turística e imobiliária, as quais se desenvolvem sobre ecossistemas frágeis e com funções ambientais importantes (SPG/SC, 2010).

Ressalta-se que Souza *et al.* (2008) verificaram que o termo “restinga” tem sido usado genericamente para designar a vegetação das planícies costeiras, e classificou o uso do termo nessa conotação como inadequado por duas razões: 1) a palavra restinga foi introduzida como um conceito geológico e geomorfológico, para definir feições arenosas de linha de costa atuais e instáveis, mas com o passar do tempo foi sendo generalizada, para se referir a outros tipos de depósitos de origem marinha presentes nas planícies costeiras; 2) o termo também acabou sendo extrapolado para todas as fitofisionomias presentes nas planícies costeiras que recobrem depósitos marinhos ou não.

Segundo Waechter (1985) os ecossistemas costeiros apresentam grande fragilidade, podem incluir áreas ainda naturalmente desprovidas de vegetação, como as dunas, onde a cobertura vegetal exerce um papel fundamental para a estabilização dos sedimentos e manutenção da drenagem natural, bem como para a preservação da sua fauna residente e migratória, além de contribuir para modificar as condições pedológicas locais. A vegetação de restinga pode ocorrer em mosaico, em função de gradientes locais do tipo “bem drenado - inundável - mal drenado”, ou apresentar-se com zonação no sentido oceano-continente, aumentando a riqueza de espécies, lenhosidade e altura da vegetação, com o aumento da distância ao mar e a diminuição da influência da salinidade (Waechter, 1985).

No presente estudo, o termo “restinga” será aplicado de acordo com o estabelecido na Resolução do CONAMA nº 261, de 30 de junho de 1999, que aprova o parâmetro básico para análise dos estágios sucessivos de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina:

“Entende-se por restinga um conjunto de ecossistemas que compreende comunidades vegetais florísticas e fisionomicamente distintas, situadas em terrenos predominantemente arenosos, de origens marinha, fluvial, lagunar, eólica ou combinações destas, de idade quaternária, em geral com solos pouco desenvolvidos. Estas comunidades vegetais formam um complexo vegetacional edáfico e pioneiro, que depende mais da natureza do solo que do clima, encontrando-se em praias, cordões arenosos, dunas e depressões associadas, planícies e terraços.

A vegetação de restinga compreende formações originalmente herbáceas, subarbustivas, arbustivas ou arbóreas, que podem ocorrer em mosaicos e também possuir áreas ainda naturalmente desprovidas de vegetação; tais formações podem ter-se mantido primárias ou passado a secundárias, como resultado de processos naturais ou de intervenções humanas. Em função da fragilidade dos ecossistemas de restinga, sua vegetação exerce papel fundamental para a estabilização dos sedimentos e a manutenção da drenagem natural, bem como para a preservação da fauna residente e migratória associada à restinga e que encontra neste ambiente a disponibilidade de alimentos e locais seguros para nidificar e proteger-se dos predadores. ”

A formação vegetal do tipo restinga é incluída no Bioma Mata Atlântica pela Lei da Mata Atlântica, Lei 11.428 de 2006. Contudo, acredita-se que restam apenas 12% da vegetação natural do Bioma Mata Atlântica em Jaguaruna (261 ha de mata e 3.835 ha de restinga); por outro lado, no período 2011-2012, houve a supressão de 32 ha de Restinga, aproximadamente (SOSMA & INPE, 2013). A crescente subtração da cobertura vegetal observada nos municípios costeiros leva também a perda e contaminação de habitats, gerando alterações na estrutura e função dos ecossistemas, resultando em diminuição de biodiversidade (SPG/SC, 2010).

4. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O uso desordenado do solo do litoral brasileiro é consequência do crescimento do entorno das cidades litorâneas, do surgimento das segundas residências para veraneio (domicílios de uso ocasional, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE) e consolidação de novos núcleos urbanos (Bitencourt *et al.*, 2011). No litoral de Santa Catarina ocorrem conflitos decorrentes de ações antrópicas sobre o ambiente natural, entre os quais se destacam construções irregulares em praias, privatização ilegal de setores da orla, incluindo Áreas de Preservação Permanente (APP). Simultaneamente, constata-se o despejo de resíduos sólidos e esgotos sanitários, e verifica-se a insuficiência na fiscalização das áreas de preservação e de conservação ambiental. O Setor Centro-Sul do litoral catarinense foi colonizado por imigrantes luso-açorianos. Seu desenvolvimento econômico era baseado na subsistência, combinando agricultura familiar e pesca artesanal, herança cultural de seus colonizadores. No início dos anos 1970, impulsionadas pela conclusão das obras da rodovia BR – 101, cresceram as atividades relacionadas com o turismo de massa. Desde então, o aumento da demanda turística, associada à especulação imobiliária e à ocupação desordenada, comprometem a manutenção das condições “ecossanitárias” adequadas do ecossistema, bem como a qualidade de vida da população residente (Vieira *et al.*, 2009b).

O Balneário Camacho é uma das comunidades mais antigas do município de Jaguaruna, teve início em uma ocupação próxima à barra da lagoa de mesmo nome, em 1964, com posterior criação de loteamentos, entre as décadas de 1970 e 1990, abrangendo APP e da União (Delfino, 2008). Ademais, o Balneário está inserido na Área de Preservação Ambiental (APA) da Baleia Franca, definida pelo Decreto sem número, de 14 de setembro de 2000, o que acarreta em algumas condições e restrições especiais para usos da área.

Segundo os dados do Censo Populacional de 2010 (IBGE, 2010), 725 pessoas residem na região da área de estudo em 296 domicílios, ou seja, dos 1.855 domicílios recenseados na área, 1.559 são de uso ocasional (84%); por outro lado, praticamente nenhum domicílio conta com sistema de esgotamento sanitário adequado e/ou com coleta e tratamento de efluentes (esgoto). A ocupação desordenada do território continua aumentando rapidamente no litoral brasileiro, consequência do crescimento no entorno das cidades litorâneas, da manutenção da proposta urbano-imobiliária das segundas residências para veraneio e da consolidação de novos núcleos urbanos (Bitencourt *et al.*, 2011).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo, R.J., Lessa, G.C.; Souza, M.C. (2006). A critical review of the mid- to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25: 486-506. DOI: 10.1016/j.quascirev.2005.03.008
- Beltrame, E. (2003). *Seleção de Sítios e Planejamento da Atividade de Cultivo de Camarões Marinhos com Base em Geotecnologias*. 197 p., Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. Não publicado. Disponível on-line em <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/85110>.
- Bitencourt, N.L.R.; Centenaro, K.S.; Marimon, M.P.C. (2011). A percepção ambiental como instrumento de análise da qualidade ambiental: estudo de caso no litoral sul de Santa Catarina, Brasil. *Revista Geográfica de América Central*, (ISSN: 2215-2563), II(47E):1-15, Heredia, Costa Rica. Disponível on-line em <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2674>
- Caruso Jr., F. (1995). *Mapa Geológico e de Recursos Naturais do Sudeste de Santa Catarina*. 52p., DNPM, Brasília, DF, Brasil.

Samanta da Costa Cristiano *et al.* (2017), Caracterização da costa marinha do balneário camacho (Santa Catarina, Brasil) como subsídio à gestão, *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, 17(1):33-59.

[Supporting Information I]

- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente (1999). Resolução nº 261, de 30 de junho de 1999. Define os parâmetros básicos para análise dos estágios sucessionais de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. Disponível on-line em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res26199.html>.
- Delfino, D.S. (2008). *Desenvolvimento e planejamento urbano na cidade de Jaguaruna/SC: representação e atuação dos atores locais*. 162 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível on-line em <http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90847/264449.pdf?sequence=1>.
- Fornari, M. (2010). *Evolução sedimentar holocênica da retrobarreira na região de Jaguaruna-Laguna, Santa Catarina, Brasil*. 263 p., Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Disponível on-line em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-24012011-114334/pt-br.php>
- Fornari, M.; Giannini, P.C.F.; Nascimento, D.R. (2012). Facies associations and controls on the evolution from a coastal bay to a lagoon system, Santa Catarina Coast, Brazil. *Marine Geology*, 323-325: 56-68. DOI: 10.1016/j.margeo.2012.07.010
- Giannini, P. C. F. (1993). *Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, Santa Catarina*. São Paulo, 439 p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Não publicado.
- Horn Filho, N. O.; Diehl, F.L. (2001). Geologia da planície costeira de Santa Catarina, Brasil. In: Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas, 1., Lisboa, 2001. *Anais...* Lisboa: GTPEQ, AEQUA, SGP.
- Horn Filho, N. O. (2003). Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul* (ISSN: 0103-3964), 18 (35): 71-98, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível on-line em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/viewFile/13603/12470A>
- Horn Filho, N.O.; Felix, A., Vieira, C.V.; Batista, E.M.C. (2010) – Geologia da planície costeira das folhas de Jaguaruna e Garopaba do Sul, SC, Brasil. *Revista Discente Expressões Geográficas*, 6: 90-110.
- Horn Filho, N.O.; Schmidt, A.D.; Benedet, C.; Neves, J.; Pimenta, L.H.F.; Paquette, M.; Alencar, R.; Silva, W.B.; Villela, E.; Genovez, R.; Santos, C.G. (2014) – Estudo Geológico dos Depósitos Clásticos Quaternários Superficiais da Planície Costeira de Santa Catarina, Brasil. *Gravel*, 12 (1): 41-107.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). *Censo Demográfico*. Disponível on-line em <http://www.censo2010.ibge.gov.br>
- Klein, A. H. F.; Schettini, C. C. F.; Carvalho, J. L. B.; Diehl, F. P. (1998). Implications of inlet stabilization on the Camacho Lagoon, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 26, 150-155, Coconut Creek, FL, USA.
- Martinho, T. C. (2004). *Morfodinâmica e sedimentologia de campos de dunas transgressivos da região de Jaguaruna-Imbituba, Santa Catarina*. 108 p., Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Não publicado.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2010). *Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil*. 152 p., MMA, Brasília, DF, Brasil. Disponível on-line em http://www.mma.gov.br/estruturas/205/_publicacao/205_publicacao03022011100749.pdf.
- Orselli, L. (1986). Climatologia. In: GAPLAN – SC. *Atlas de Santa Catarina*. p. 38-39, Aerofoto Cruzeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Rodrigues, M.L.G.; Franco, G.; Sugahara, S. (2004). Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, 22(2): 135-151. DOI: 10.1590/S0102-261X2004000200004.
- Siegle, E.; Asp, N.E. (2007). Wave refraction and longshore transport patterns along the Southern Santa Catarina coast. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55(2): 109-120. DOI: 10.1590/S1679-87592007000200004.
- SOSMA – Fundação SOS Mata Atlântica; INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2013). *Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica período 2011-2012*. (Relatório técnico). 61p., INPE, São Paulo, SP, Brasil. Disponível on-li em http://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2013/06/atlas_2011-2012_relatorio_tecnico_2013final.pdf
- Souza, C.R.G.; Hiruma, S.T.; Sallun, A.E.M.; Ribeiro, R.R.; Azevedo Sobrinho, J.M. (2008). “Restinga”: *Conceitos e Empregos do Termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental*. 104p., Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Disponível on-line em <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/restinga.pdf>
- SPG/SC – Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado de Santa Catarina. (2010). *Implantação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, Fase I, Diagnóstico Sócio Ambiental, Setor Centro-Sul*. 493p., SPG/DDC, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível on-line em <http://www.spg.sc.gov.br/index.php/visualizar-biblioteca/acoes/gerco/diagnostico-socio-ambiental/35-gerco-setor-4-site/file>
- Vieira, C. V.; Felix, A.; Baptista, E. M. C.; Horn Filho, N. O. (2009a). Paleogeografia da planície costeira das folhas Jaguaruna e Lagoa de Garopaba do Sul, setor Meridional do litoral de Santa Catarina, Brasil. *Geosul* (ISSN: 0103-3964), 24: 91-112, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível on-line em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/viewFile/2177-5230.2009v24n47p91/11939>
- Vieira, P. F.; Cazella, A. A.; Cerdan, C.; Andion, C. (2009b). Potencialidades e obstáculos à construção de territórios sustentáveis no estado de Santa Catarina. *Política e Sociedade*, 8(14): 335-380. DOI: 10.5007/2175-7984.2009v8n14p335
- Villwock, J. A. (1984). Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil – A Synthesis. *Pesquisas em Geociências* (ISSN 1518-2398), 16: 5-49, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Waechter, J.L. (1985). Aspectos ecológicos da vegetação de restinga no Rio Grande do Sul, Brasil. *Comunicações do Museu de Ciências da PUCRS, Série Botânica* (ISSN: 0102-6976), (33): 49-68, Porto Alegre, RS, Brasil.

SUPPORTING INFORMATION II

CHECKLIST DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE DUNAS FRONTAIS

Tabela 1- Checklist de avaliação da vulnerabilidade de dunas, adaptado de Williams *et al.* (2001), utilizado no estudo da orla marítima do Balneário Camacho.
Table 1 - Dune Vulnerability Assessment Checklist, adapted from Williams *et al.* (2001), used in the study of the seafront of the Camacho Balneary.

AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DE DUNAS						
A - Morfologia da Duna		0	1	2	3	4
1	Área superficial (m ²)	>10000	>7500	>5000	>2500	<2500
2	Largura da duna (m)	>50	>40	>30	>20	>10
3	Altura máxima da duna (m)	>5	>4	>3	>2	<1
4	Processo de escarpamento	baixo		moderado		alto
5	Declividade na face frontal marinha	suave		moderada		acentuada
B - Condições da praia		0	1	2	3	4
1	Largura do pós-praia	>100	>80	>60	>40	<40
2	Suprimento de areia	alto		moderado		baixo
3	Brechas na face de praia	nenhuma		algumas		muitas
4	Largura das brechas na face de praia	<2		02/out		>10
5	Dunas embrionárias	muitas		algumas		poucas
C - Características dos 400 m adjacentes ao mar		0	1	2	3	4
1	% de área de <i>blowouts</i> dentro do sistema	<5	>5	>10	>20	>40
2	Fuga de areia do sistema p/ continente	pouca		alguma		muita
3	% brechas no sistema de dunas	>0	>5	>25	>50	>70
4	% do lado marinho da duna vegetada	>90	>60	>30	>10	<10
5	Se as areias recentes depositadas foram colonizadas por <i>Blutaparon/Paspalum</i>	muitas		algumas		nenhuma
6	% cobertura impermeável	pouca		alguma		muita
7	Existência de vegetação exótica	nenhuma		alguma		muita
8	Sangradouros/sobrelavagem	0		1		2 ou +
D - Pressão de uso		0	1	2	3	4
1	Nº de acessos de veículos	0	1	2	3	4
2	Densidade de caminhos de pedestres	baixa		média		alta
3	Estágio de urbanização	nenhum	orla rústica	horizontal padrão	mista	vertical
4	Nível de urbanização (%)	<10	>10	30 a 50	>50	>70
5	Posição da urbanização	sem	terço final	pós-duna	duna frontal	pós-praia
6	Nº de quiosques na praia	0	1 a 2	3 a 5	6 a 8	9 a 10
7	Nº de proprietários	um		alguns		muitos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Williams, A.T.; Alveirinho-Dias, J.; Garcia, N.F., Garcia-Mora, M.R.; Curr, R.; Pereira, A. (2001). Integrated coastal dune management: checklists. *Continental Shelf Research*, 21 (18-19): 1937-1960. DOI: 10.1016/S0278-4343(01)00036-X

SUPPORTING INFORMATION III

A PAISAGEM DO BALNEÁRIO CAMACHO

Conforme já mencionado, a paisagem singular da área de estudo consiste em um mosaico de ambientes, formado por campo de dunas, planície de deflação, pequenos lagos, banhados e alagados temporários, além dos ambientes antrópicos atuais e o Sambaqui Garopaba do Sul. Segundo Kneip (2004), esse sambaqui, que já teve mais de 50 m de altura, hoje apresenta 22 m devido à exploração por atividade de mineração em décadas passadas e tem idade calibrada entre 3640-2748 anos. A ocupação humana se dá de forma mais densa nas proximidades da Barra do Camacho, mas grande parte das residências é de uso ocasional, onde a ocupação efetiva ocorre somente durante o veraneio, ou época de turismo de “lazer de sol e mar” (dezembro a março). Destacamos a ocupação irregular de uma área alagável, sensível, nas adjacências do Sambaqui Garopaba do Sul, o “Loteamento Maria Terezinha”, ilustrado na Figura 1.



Figura 1 - Ocupação irregular - Vila Maria Terezinha - fotografada com drone em 2015, ao fundo o Balneário Camacho e o Cabo de Santa Marta.

Figure 1 - Irregular occupation - Maria Terezinha - photographed with drone in 2015, in the background the Camacho balneary and the Santa Marta Cape.

O campo de dunas que se estende sobre o pós-praia é composto principalmente por dunas barcanas (Figura 2A) e cadeias barcanoides, intercaladas por planície de interdunas. Nessas planícies são encontrados “tufos de vegetação” principalmente de *Spartina ciliata* e *Panicum racemosum*, que formam dunas de sombra e *nebkhas* (Figura 2B). Nas interdunas também são formadas áreas alagadas pelos processos de sobrelavagem do pós-praia e depósitos de leques, a partir do sedimento transportado em direção ao continente pelas ondas.

A migração das dunas na região para sudoeste (Vintem *et al.*, 2004) associada às mudanças climáticas, criação do canal de conexão da lagoa do Camacho com o oceano e o avanço da urbanização nas últimas décadas, está interferindo no *by-pass* de suprimento sedimentar na área. Esta interferência contribui para alterações na dinâmica eólica e consequentemente nas formas e expansão do campo de dunas. Caso não haja manejo adequado para a reativação do *by-pass* sedimentar, tendo em vista que as dunas migram em direção ao mar (pela inclinação da costa) e que a sua alimentação sedimentar é proveniente de norte-nordeste e está retornando ao oceano ao adentrar o canal do Camacho (Figura 3), conforme dados preliminares de levantamentos do LABGERCO, associado ao LABSIS/DPE/IGEO/UFRGS, o campo de dunas pode sofrer alterações de volume irreversíveis.

A alta energia e o ângulo de incidência de ondas no sistema praiado do Balneário Camacho e o grande suprimento sedimentar, resulta na ocorrência de um pós-praia estreito, com o sistema eólico encontrando o mar, a inexistência de dunas incipientes e inexistência de vegetação. A vegetação se estabelece em maiores densidades no pós-duna, caracterizada por Fornari (2010) como uma planície de deflação eólica parcialmente alagada, denominada pela autora de retrobarreira.



Figura 2 - Campo de dunas costeiras do Balneário Camacho. A) Morfologia das dunas; B) Identificação dos elementos morfológicos do campo de dunas: dunas barcanas intercaladas por planícies, com ocorrência de alagados temporários pela sobrelevagem das ondas no pós-praia e formação de *nebkhas* associadas à vegetação nativa e suprimento de sedimento.

Figure 2 - Coastal dune field of the Camacho balneary. A) Morphology of the dunes; B) Identification of the morphological elements of the dune field: barchan dunes interspersed by plains, with occurrence of temporary flooding by waves overwashing and formation of nebkhas associated with native vegetation and sediment supply.



Figura 3 - Sistema de dunas móveis provenientes de norte-nordeste, adentrando o canal artificial do Camacho, o que pode acarretar problemas sérios devido a alterações na dinâmica sedimentar. A) Vista para o continente; e B) Vista em direção do mar.

Figure 3 - Mobile dunes system from north-northeast, entering the Camacho artificial channel, which can cause serious problems due to the changes in the sedimentary dynamics. A) View to the mainland; and B) View towards the sea.

Conforme informado por moradores da região, as pequenas lagoas existentes no pós-duna do Balneário Camacho (Figura 5B) formaram-se durante uma grande enchente que atingiu o sul de Santa Catarina na década de 1980. Informaram, também, que em ocasião de grandes ressacas ainda há o rompimento do cordão de dunas pela sobrelavagem das interdunas, causando alagamento na primeira rua, já registrado até mesmo a destruição de residências. Estes lagos no pós-dunas já foram relacionados a processos de sobrelavagem resultantes de tempestades por Giannini (1993), Martinho (2004) e Hesp *et al.* (2009) e são mantidos e ampliados pela água pluvial coletada na retaguarda do campo de dunas, em áreas baixas de deflação eólica, e pelo afloramento intermitente do lençol freático (Fornari, 2010).

A região da orla do Balneário Camacho apresenta predominantemente Vegetação Herbácea e Subarbusciva de Restinga, caracterizada pela Resolução do CONAMA nº 261 de 1999 como:

“Vegetação composta por espécies predominantemente herbáceas ou subarbuscivas, atingindo geralmente até cerca de 1 (um) metro de altura, apresentando uma diversidade relativamente baixa de espécies. Está presente principalmente em: praias, dunas frontais e internas (móveis, semifixas e fixas), lagunas e suas margens, planícies e terraços arenosos, banhados e depressões. Na restinga herbácea e/ou subarbusciva, em função de uma morfodinâmica intensa (causada pela instável ação de ondas, ventos, chuvas e marés), não são definidos estágios sucessionais naturais ou decorrentes de atividades humanas.”

Existe ao longo de toda a orla urbanizada do Balneário a formação de uma cortina vegetal por *Casuarina* sp. que inibe a dispersão de areia para o continente e a fixação de vegetação nativa, pela formação da serapilheira associada ao alto dinamismo e suprimento sedimentar (Figura 4).



Figura 4 - Cortina vegetal de *Casuarina* sp., responsável pela estabilização da dispersão de areia para a área ocupada do Balneário Camacho e pela inibição da fixação e crescimento de Vegetação Herbácea de Restinga pela formação de serapilheira e sombreamento.

*Figure 4 - “Vegetation curtain” of *Casuarina* sp., responsible of: the stabilization of the sand dispersion to the occupied area of the Camacho balneary and the inhibition of grow and establishment of the Herbaceous Vegetation of Restinga by the formation of litter and shading.*

A vegetação de restinga herbácea e subarbusciva que recobre dunas internas e planície (Figura 5A e 5C) recebe menor ou nenhuma influência do *spray* marinho, é formada por diversas gramíneas, vegetação rastejante e pequenos arbustos, com ocorrência de moitas e touceiras de diversas espécies, entre elas se destacam *Baccharis trimera*, *Androtrichum trigynum* e *Andropogon arenarium*. A vegetação restinga herbácea/subarbusciva de lagos, banhados e baixadas que compõem o mosaico de ambientes da área de estudo, tem a ocorrência de vegetação em depressões, com ou sem água corrente e com ou sem influência salina, e abriga diferentes espécies (Figura 5B). Em locais inundados permanentemente ou por grandes períodos, tem-se a predominância de macrófitas aquáticas, com grande ocorrência de *Typha dominguensis*. A altura das plantas é bem variável, em regiões menos úmidas ou com inundações mais temporárias, o porte da vegetação não atinge 1 m. A restinga herbácea de praia e dunas frontais (Figura 5D) é rarefeita devido à alta dinâmica sedimentar da região que inibe a sua fixação ao longo de uma faixa adjacente ao mar com aproximadamente 200 m.

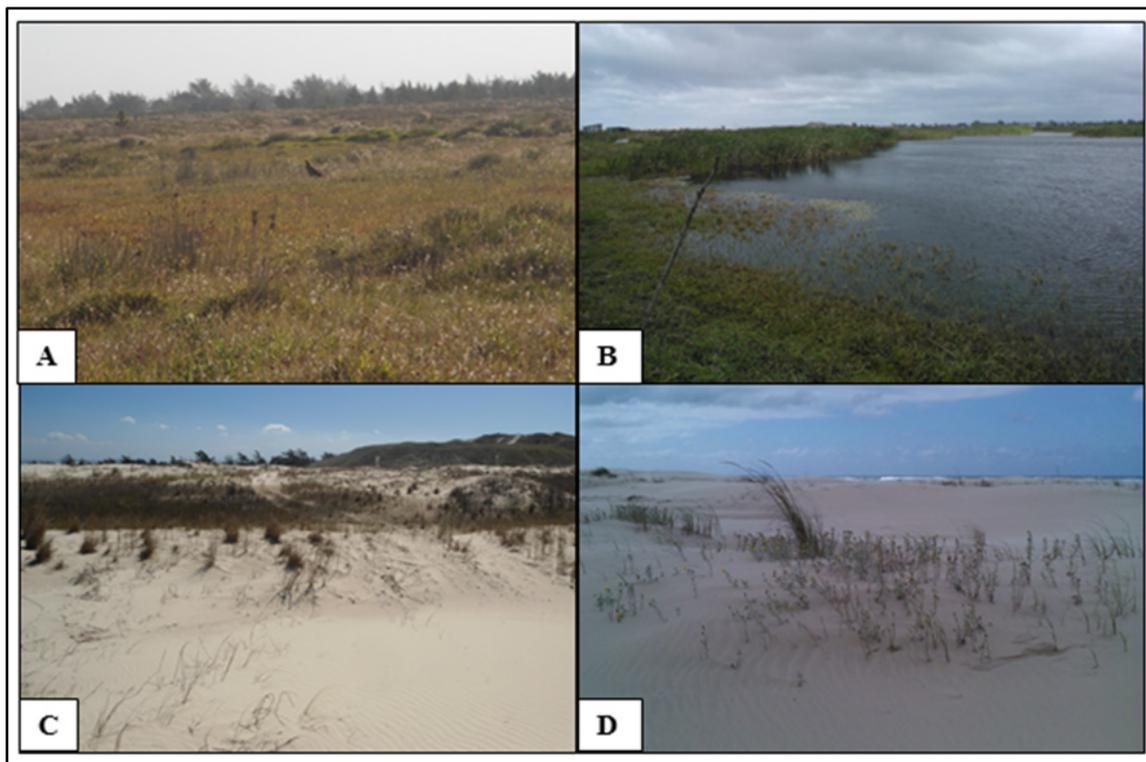


Figura 5: Restinga Herbácea/Subarbastiva que recobre o Balneário Camacho. A) Restinga de planície, onde se observa vegetação de pequeno porte; B) Vegetação de restinga nas margens das lagoas da planície de deflação, com expressiva ocorrência de macrófitas aquáticas da espécie *Typha dominguensis*; C) Restinga Herbácea cobrindo parcialmente dunas interiores e o sambaqui (ao fundo, à direita); e D) Restinga Herbácea com baixo percentual de cobertura sobre as dunas costeiras.

*Figure 5: Herbaceous/Subarbastiva Restinga that covers the Camacho balneary. A) Restinga plain, where small vegetation is observed; B) Vegetation of Restinga on the margin of the deflation plain lagoons, with significant occurrence of aquatic macrophytes of the species *Typha dominguensis*; C) Herbaceous Restinga covering partially inland dunes and the shell midden (up, to the right); and D) Herbaceous Restinga with low percentage of cover on the coastal dunes.*

No Perfil 01 (P1 – Figura 6), a pressão da urbanização subtraiu parte do ambiente natural e o cortinamento vegetal por *Casuarina* sp. sobre o sistema de dunas exerce influência nas condições morfológicas que, juntamente com a disponibilidade de sedimentos, formam uma grande duna, de aproximadamente 5 m (Figura 6B), contígua a edificações destinadas à habitação. A vegetação predominante do perfil consistiu em pequenos tufo de *Spartina ciliata* que, conforme descrito por Cordazzo (2009), apresentam característica de crescimento de hastes agrupadas, em forma de falange, favorecendo a formação de áreas de turbulência ao redor das touceiras, reduzindo a deposição de areia e permitindo a formação de *blowouts*. Nas dunas do P1 podem-se identificar inúmeros rastros, bem como a presença de um indivíduo de lagartixa-das-dunas (*Liolaemus occipitalis*), espécie endêmica considerada como vulnerável à extinção e com população em declínio segundo a Lista Vermelha de espécies ameaçadas da União Internacional de Conservação da Natureza (*Red list* – IUCN, 2012).

O segundo Perfil (P2 – Figura 6) apresenta morfologia diversa, que varia entre dunas barcanas e leques depositados pela sobrelavagem do pós-praia (Figura 6C). As dunas desse perfil mantêm características morfoecológicas semelhantes ao P1, possuem baixa densidade de vegetação, com ocorrência de touceiras de *S. ciliata*. É possível perceber uma tímida diversificação na colonização por plantas costeiras sobre as dunas mais próximas ao continente, bem como a presença de plantas endêmicas (*Blutaparon portulacoides*) e comuns a esse ambiente (*Senecio crassiflorus*), em baixas densidades e aglomeradas. Há uma maior cobertura vegetal no pós-duna, por consequência da presença de uma área úmida adjacente e de uma residência na área do perfil, que contribuiu com a formação de um jardim, onde houve a colonização por gramíneas ruderais e indivíduos de *Casuarina* sp..

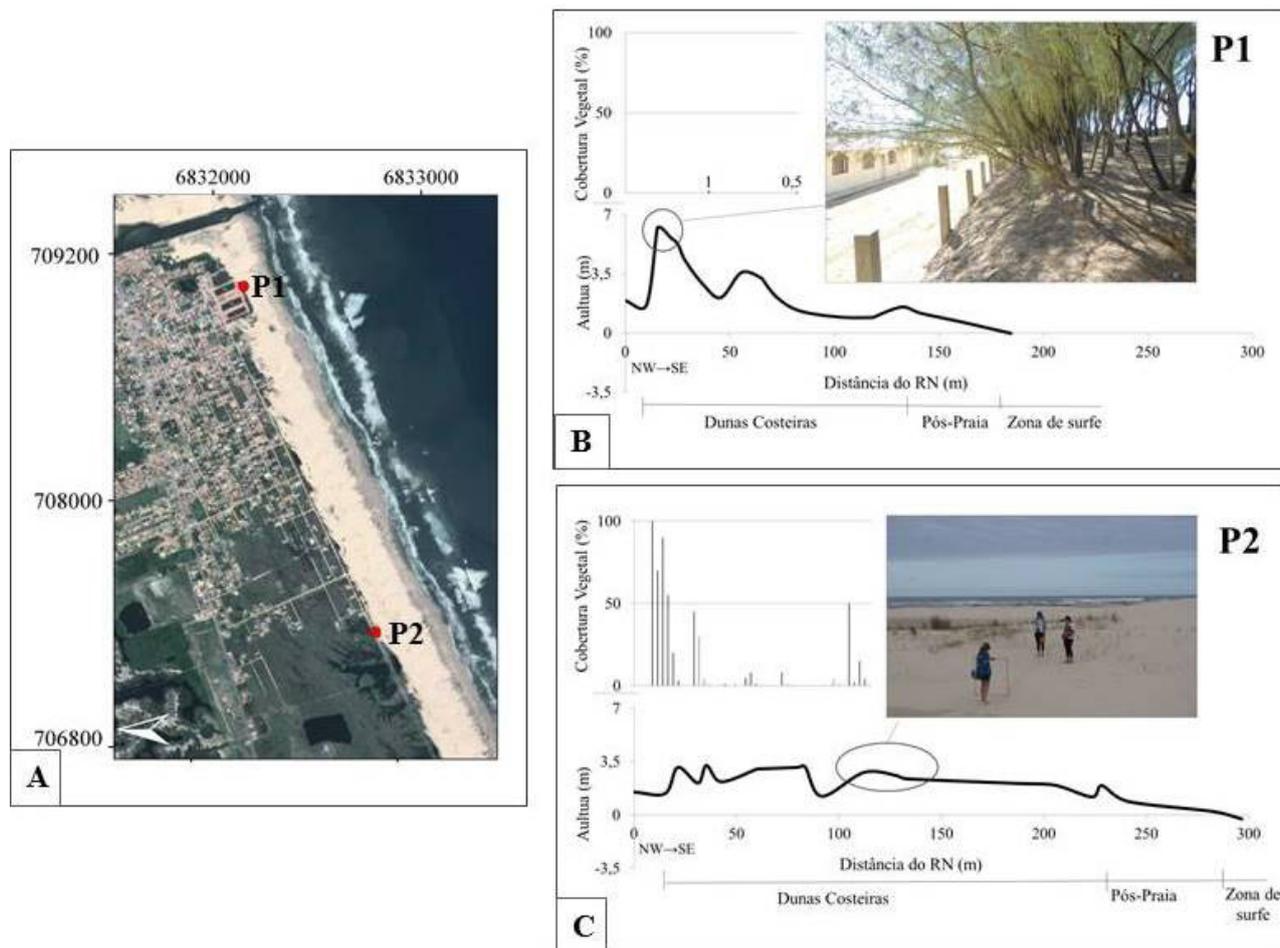


Figura 6 - Perfis morfoecológicos do Balneário Camacho, com baixa densidade de cobertura vegetal ao longo do campo de dunas barcanóides. A) Localização dos referenciais de nível dos perfis; B) P1 com duna descaracterizada pela pressão da ocupação; e C) P2 apresenta menor desenvolvimento vertical das dunas. Imagem: Mapa Base ESRI (ESRI, 2015).

Figure 6 - Morphoecological profiles of the Camacho balneario, with low density of vegetation cover along the field of barchans dunes. A) Location of the reference levels for the profiles; B) P1 with dune decharacterized by the occupation pressure; and C) P2 presents less vertical development of the dunes. Image: ESRI Base Map (ESRI, 2015).

A orla do Balneário Camacho apresenta elevada beleza cênica, composta de diversos ecossistemas frágeis, com atuação de processos erosivos e de deposição no sistema praiar, o que caracteriza um ambiente de alta dinâmica. Estes ecossistemas são explorados para diversos fins econômicos, mas o avanço da ocupação sobre o sistema de dunas coloca em risco tanto a paisagem, como a população residente, situação que gera muitos impactos e conflitos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. (1999). *Resolução nº 261, de 30 de junho de 1999*. Define os parâmetros básicos para análise dos estágios sucessionais de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. Disponível em on-line em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res26199.html>.
- Cordazzo, C. V. (2009). O efeito de *Panicum racemosum* X *Spartina ciliata* na formação das dunas costeiras frontais no extremo sul do Brasil. *Gravel* (ISSN 1678-5975), (7): 13-17, Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível on-line em http://www.ufrgs.br/gravel/7/1/Gravel_7_V1_02.pdf.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. (2015). *ArcGIS Desktop, versão 10.3.1*. Estados Unidos. Programa proprietário. Licença Corporativa em nome da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Fornari, M. (2010). *Evolução sedimentar holocênica da retrobarreira na região de Jaguaruna-Laguna, Santa Catarina, Brasil*. 263 p., Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Disponível on-line em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-24012011-114334/pt-br.php>

Samanta da Costa Cristiano *et al.* (2017), Caracterização da costa marinha do balneário camacho (Santa Catarina, Brasil) como subsídio à gestão, *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, 17(1):37-63.

[Supporting Information III]

Giannini, P. C. F. (1993). *Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, Santa Catarina*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo São Paulo, 439 p., São Paulo, SP, Brasil. Não publicado.

Hesp, P. A.; Giannini, P. C. F.; Martinho, C. T.; Silva, G. M. ; Asp, N. E. (2009). The Holocene barrier systems of the Santa Catarina coast, Southern Brazil. In: Dillenburg, S.R.; Hesp, P.A (org). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. pp. 93- 129, Springer-Verlag, Berlin, Alemanha. ISBN 978-3-540-44771-9.

IUCN – International Union for Conservation of Nature. (2012). *Red List of Threatened Species – Version 2012.2*. Disponível on-line em <http://www.iucnredlist.org>

Kneip, A. (2004). *O Povo da Lagoa: Uso do SIG para o Modelamento e Simulação na Área Arqueológica do Camacho*. 171 p., Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Disponível on-line em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8153/tde-13102004-172248/pt-br.php>

Martinho, T. C. (2004). *Morfodinâmica e sedimentologia de campos de dunas transgressivos da região de Jaguaruna-Imbituba, Santa Catarina*. 108 p., Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo São Paulo, SP, Brasil. Não publicado.

Vintem, G.; Tomazelli, L. J.; Klein, A. H. F. (2004). The Effect of Sand Grain Size in the Aeolian Transport Processes of Transgressive Dunefields of the Coast of the Santa Catarina State Brazil. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 39: 102–106, Coconut Creek, FL, USA. Disponível on-line em http://www.cerf-jcr.org/images/stories/17_vintem.pdf

SUPPORTING INFORMATION IV

VULNERABILIDADE DAS DUNAS COSTEIRAS

Nos gráficos apresentados na Figura 1, referentes aos índices de vulnerabilidade relativos (IVR) de cada seção do *checklist*, observa-se maior expressividade nas seções B, C e D (condições de praia, características dos 400 m adjacentes ao mar e pressão de uso, respectivamente). A seção A (morfologia das dunas) apresentou índices de vulnerabilidade relativamente baixos (até 40%) devido às suas grandes proporções de altura e área. Em todos os trechos do balneário identificou-se um índice alto para a seção B, também resultante da morfologia das dunas barcanas intercaladas por planícies, o que acarreta uma série de efeitos ligados à morfodinâmica praial e regime de ondas, que causam a existência de grandes brechas na faixa de praia e a inexistência de dunas embrionárias e fixação da vegetação.

Os trechos agrupados referentes à área edificada (T1-T6), destacados na Figura 1 em tracejado, são caracterizados pelos IVR das seções C e D, como local de ocorrência de maiores áreas impermeáveis e urbanizadas (Figura 2D), com existência de ocupação muito próxima (Figura 2B) ou sobre o sistema de dunas (Figura 2C) e pós-praia, estabilização de acessos e trânsito de veículos (Figura 2A). Apresenta, ainda, grande densidade de árvores exóticas, que causam o acúmulo de sedimento (pela interrupção do transporte) e descaracterizam o ambiente natural, o que corrobora a classificação desses trechos no Nível 3 de vulnerabilidade (limiar de resiliência do sistema). Além disso, tem em sua paisagem uma importante obra de engenharia costeira, o canal de ligação da Lagoa do Camacho com o Oceano Atlântico (Figura 2A), que mantém famílias que sobrevivem da pesca, mas que causa desequilíbrio sedimentar, de impactos graves, mas ainda não mensurados.

Os trechos relativos aos setores em edificação (T7 a T9 e T13 – Nível 3), destacados na Figura 1 em pontilhado, apresentaram IVR mais expressivos nas seções A (morfologia da duna) e C (Características dos 400 m adjacentes ao mar). A seção A é resultado da menor altura das dunas e de um moderado processo de escarpamento (erosão). A seção C manteve-se com dados semelhantes aos trechos anteriores como resultado da continuação da dispersão das árvores exóticas (Figura 3A) e a característica segmentada do sistema de dunas (Figura 3D). A seção D (pressão de uso) apresentou menores IVR devido ao menor número de edificações (Figura 3B e 3C) e à sua posição mais interiorizada quando comparado à área mais ao norte.

O agrupamento do T10 a T12, T14 e T15, destacado em linha contínua na Figura 1, refere-se às áreas não edificadas que, mesmo com a baixa atividade antrópica (Figura 4C e D), apresentaram-se no Nível 2 de vulnerabilidade. Isso ocorre por se tratar de um sistema muito peculiar, onde grandes dunas são intercaladas por planícies de interdunas (Figura 4B), que sofrem a sobrelavagem das ondas, o que pode resultar no rompimento do sistema em caso de marés meteorológicas, o que o torna vulnerável. O pós-duna também é preservado, mas com intervenções antrópicas pontuais (Figura 4A e 4D). Este agrupamento possui características importantes para conservação, sendo indicada a criação de uma Unidade de Conservação Municipal nessas zonas.

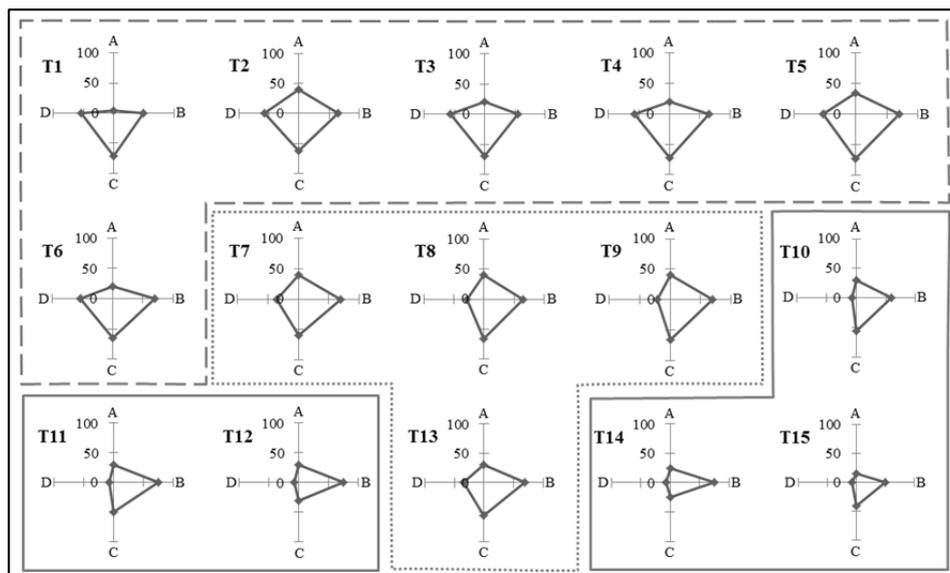


Figura 1 - Gráficos de polígono referentes aos índices de vulnerabilidade das seções A (morfologia da duna), B (condição da praia), C (características dos 400 m adjacentes ao mar) e D (pressão de uso), dos trechos de orla avaliados no Balneário Camacho. Destaca-se que a área do polígono é diretamente proporcional à vulnerabilidade do trecho analisado. Em tracejado são identificados os trechos edificados; em pontilhado, os trechos parcialmente edificados; e em linha sólida, os trechos não edificados.

Figure 1 - Polygon charts referring to the vulnerability indexes of sections A (dune morphology), B (beach condition), C (characteristics of the 400 m adjacent to the sea) and D (pressure of use), of the seafront sections evaluated in the Camacho balneary. It should be noted that the area of the polygon is directly proportional to the vulnerability of the section analyzed. The dashed lines identify the constructed sectors; the dotted lines identify sectors partially constructed; the solid lines identify the sectors unconstructed.



Figura 2 - Trechos de orla do Balneário Camacho com característica edificada e Nível 3 de vulnerabilidade: A) T1, com o canal de ligação da Lagoa do Camacho ao mar; B) Dinâmica da linha de costa no T4, com dunas intercaladas por planícies alagáveis; C) Residência sendo soterrada pelo sistema de dunas no T4; e D) Ocupação parcial da orla no T6.

Figure 2 - Sections of the seafront of the Camacho balneary with constructed characteristic and Level 3 of vulnerability: A) T1, with the Camacho channel connecting the Camacho Lagoon and the sea; B) coastline dynamics at T4, with dunes interspersed by floodplains; C) Residence being buried by the dune system in T4; and D) partial occupation of the seafront at T6.



Figura 3 - Trechos da orla do Camacho referentes a setores de Nível 3 de vulnerabilidade, parcialmente edificado: A) Residência instalada no sistema de dunas no T9, com cortinamento vegetal de *Casuarina sp.* para impedir o soterramento (medida de curto prazo); B) T13, ocupação irregular e muito próxima às dunas; C) Ocupação em desenvolvimento no T7; D) Sistema de dunas de topografia menos acentuada e baixa densidade de cobertura vegetal no T8.

*Figure 3 - Seafront stretch of the Camacho balneary referring to sectors of Level 3 of vulnerability, partially constructed: A) Residence installed in the dune system in T9, with vegetal curtain of *Casuarina sp.* to prevent burial (short-term measure); B) T13, irregular occupation very close to the dunes; C) Occupation in development in T7; D) System of dunes with low topographic amplitude and low density of vegetal cover in the T8.*

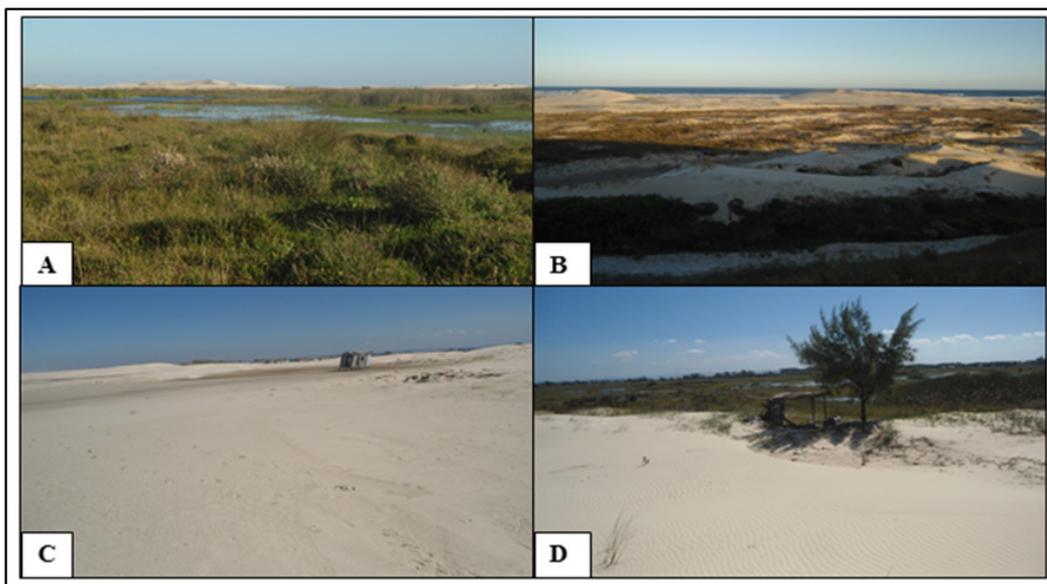
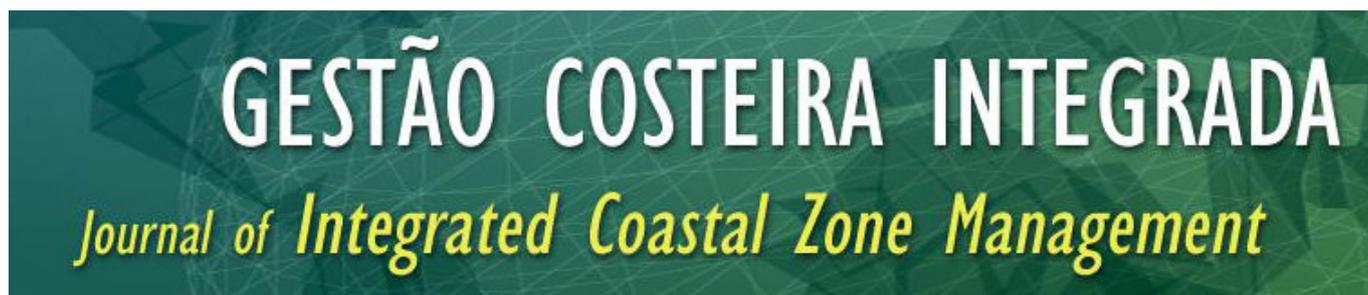


Figura 4 - Ambientes de trechos preservados da orla do Camacho, com Nível 2 de vulnerabilidade de dunas: A) Planície de deflação eólica sem ocupação humana; B) T15 preservado; C) Faixa de praia preservada, com grandes dunas barcanas e ocorrência de pequenas estruturas de apoio à pesca; D) Estrutura antrópica pontual de apoio ao lazer.

Figure 4 - Stretches of preserved environments of the seafront of the Camacho balneary, with Level 2 of dune vulnerability: A) Wind deflation plain without human occupation; B) T15 preserved; C) Beach preserved, with large bar-chans dunes and the presence of small support fishing structures; D) Punctual anthropic structure to support leisure.



Delimitation of permanent preservation areas of Paurá Lagoon (Middle Coast of Rio Grande do Sul, Brazil) using multitemporal satellite image analysis

Delimitação da área de preservação permanente da Lagoa do Paurá (Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil), usando análises multitemporais de imagens de satélite

Letícia Sebastião Miranda^{1,2}, Kátia Helena Lipp-Nissinen^{@,1}

[@] Corresponding author to whom correspondence should be addressed

¹ Departamento de Pesquisa e Análises Laboratoriais, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – FEPAM, Av. Borges de Medeiros, 261, Porto Alegre, RS, CEP 90.020-021, Brasil, katiahn@fepam.rs.gov.br

² Scientific Initiation Graduate Student at PIBIC/FEPAM-CNPq

ABSTRACT: Permanent Preservation Areas (PPA) are determined by the Brazilian Forest Code (Federal Law n° 12.651/2012) to protect biodiversity, soil, water, and climatic integrity. Around lakes and lagoons in rural areas, the law establishes marginal strips of PPA with a minimum width of 100 m (or 50 m for lakes with less than 20 ha). Some of these water bodies may have their surface dimensions markedly changed due to seasonal variations. PPA demarcated during periods of maximum water level would present ecological advantages. However, such variations were not included as criteria for PPA around lakes and lagoons in the new 2012 Forest Code. Moreover, seasonal variations effects are not yet sufficiently known in water bodies of most regions. In this work, a methodology previously developed was used to delimitate and measure water surface area and PPA of Paurá Lagoon during maximum water overflow - due to rain water excess (WE), and water deficit - due to rain water scarcity (WS). This lagoon is situated in a coastal area ranked as conservation priority in Brazil (31°34' S, 51°18' W; 31°34' S, 51°17' W; 31°35' S, 51°18' W and 31°35' S, 51°19' W). Analyses of rainfall records covering the 1992-2012 time series, water balance and remote sensing with freely available GIS application (SPRING) were employed to select satellite images from WS and WE dates. Two Landsat-5 TM images, dated 29/04/2009 (WS) and 06/09/1998 (WE) were selected and geoprocessed to detect differences in areas under WS and WE, respectively. For lagoon surface area and PPA, 66.29

ha and 42.36 ha were calculated during WS, and 92.27 ha and 53.25 ha during WE, respectively. At maximum WE (local winter and spring), lagoon surface area was 25.98 ha larger, while PPA had an addition of 10.89 ha. Although Landsat images have spatial resolution limitations, the methodology allowed the identification of the most suitable annual period to delimitate a larger area around the water body. Following *in situ* demarcation, the resulting larger PPA may provide superior ecological benefits to priority conservation regions. The methodology tested may be a useful tool to integrated management of lakes and wetlands in coastal zones.

Keywords: coastal lakes; Forest Code; priority conservation areas; rainfall; remote sensing; seasonality

*RESUMO: As Áreas de Preservação Permanente (APP) são determinadas pelo Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651 / 2012) para proteger a biodiversidade, solo, água e integridade climática. Em torno de lagos e lagoas em áreas rurais, a lei estabelece faixas marginais de APP com uma largura mínima de 100 m (ou 50 m para lagos com menos de 20 ha). Alguns desses corpos de água podem ter suas dimensões de superfície marcadamente alteradas devido às variações sazonais. APP demarcadas durante os períodos de cotas máximas do nível de água apresentariam vantagens ecológicas. No entanto, tais variações não foram incluídas como critérios para a definição das APP em torno de lagos e lagoas no novo Código Florestal 2012. Além disso, os efeitos das variações sazonais ainda não são suficientemente conhecidos nos corpos de água da maioria das regiões. Neste trabalho, a área do espelho d'água e a APP da Lagoa do Paurá foram delimitadas e medidas durante as datas de máxima inundação - devido ao excesso de chuva (WE) e máximo déficit hídrico - devido à escassez de chuva (WS). Esta lagoa está situada em uma área da planície costeira sul classificada como prioridade para a conservação no Brasil (31°34'S, 51°18'W; 31°34'S, 51°17'W; 31°35'S, 51°18'W and 31°35'S, 51°19'W). Foram analisados registros pluviométricos cobrindo a série histórica 1992-2012, balanço hídrico e imagens de satélite disponíveis gratuitamente. Duas imagens do Landsat-5 TM, datadas de 29/04/2009 (WS) e 06/09/1998 (WE), foram selecionadas e processadas para detectar diferenças nas áreas sob WS e WE, respectivamente. Para área superficial da lagoa e para a sua APP, 66,29 ha e 42,36 ha foram calculados durante WS, e 92,27 ha e 53,25 ha durante WE, respectivamente. Em WE (inverno e primavera), a área da lagoa obtida é maior cerca de 25,98 ha, enquanto a APP apresentou um aumento de 10,89 ha. Apesar das limitações de resolução espacial das imagens Landsat, a metodologia permitiu a identificação do período anual mais apropriado para delimitar uma área maior em torno do corpo de água. Assim, a demarcação *in situ* de uma maior APP de lagoa poderá reverter em benefícios ecológicos superiores para regiões prioritárias à conservação. A metodologia testada presentemente poderá ser uma ferramenta útil à gestão integrada de lagoas e áreas úmidas de zonas costeiras.*

Palavras-chave: áreas prioritárias para conservação; Código Florestal; lagoas costeiras; pluviosidade; sensoriamento remoto; sazonalidade

1. INTRODUCTION

Permanent Preservation Areas (PPA) were determined by the Brazilian Forest Code in 1965, recently changed by Federal Law nº 12651/2012, aiming at protection of native vegetation, biodiversity, soil, water, and climate integrity (Presidência da República Federativa do Brasil, 2012).

With relevant ecosystemic functions, such as protection against flood, erosion and soil deterioration, maintenance of regional temperature, humidity, natural landscapes and geological stability, reduction of heat island effect and local pollution, the implementation of PPA is essential to maintain the quality of life.

Several geographical types of PPA are defined by the new Forest Code edition of 2012. For ponds, lakes and lagoons in rural areas, PPA are considered the surrounding areas with a minimum width of 100 m, or 50 m for water

bodies with an area of up to 20 ha. Failure to comply with the Forest Code, for instance to develop agricultural activities or building infrastructure, can compromise a large range of environmental services, being costly from the socioeconomic and ecological points of view, as registered by Tundisi & Matsumura-Tundisi (2010).

The correct application of the legislation should bring significant results to a continental size country like Brazil, with an extensive hydrographic network and high biological diversity. Thus, the verification of compliance with the PPA legislation through identification, monitoring and enforcement is an important task to environmental agencies.

Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) have made it possible to reveal important aspects of the properties of ecosystems (Sausen *et al.*, 2006). These geotechnologies can be applied to the delimitation

of PPA and monitoring of environmental dynamics, among other uses for environmental management. In the literature, there is an increasing number of studies using remote sensing to the delimitation of watercourses and their PPA. Although in a much smaller number, some similar studies in lagoons, lakes and ponds can also be found. Reis *et al.* (2009), using a cartographic base vector complemented with satellite imagery, generated a map of land use and cover delimitating Lake *Jaturnaíba* (Rio de Janeiro) area in a polygon and from there delimited a 100 m area of influence (buffer) using ArcGIS application tools. Similar strategy was used by Cecílio & Coutinho (2011), analyzing the different land uses in the vicinity of *Guanandi* Lake (Espírito Santo) using Fuzzy Logic adapted to the Analytic Hierarchy Process (AHP) application in a GIS environment for the demarcation of PPA. Mesquita *et al.* (2012) mapped the types of use and occupation of the PPA in *Uruaú* Lake (Ceará), contemplating the analysis of landscape changes and GIS techniques for the preparation of maps of this touristic coastal spot. In all the reported cases, the delimitation of the PPA was conducted by measuring the width from the lake edge at the time of satellite image, independently of the time of the year, season, or dynamics of the water body. More recently, Santos (2013) analyzing Landsat TM 5 images from 2000 and 2010, observed several lakes and lagoons in the northeastern Brazilian coast (state of Rio Grande do Norte) directly influenced by the rainfall regime, with considerable surface water changes along the year, especially those located near the coastal region (inter-dune lakes), where there is significant human occupation.

On the other hand, GIS applications and products can be expensive, for example to small and medium-size rural entrepreneurs, while trying to comply with the federal PPA legislation. This can be made worse by the frequent unavailability of previous studies, such as about water levels and topography, therefore hampering the development of analyses. An alternative solution would be the use of freely available GIS applications, even though their resulting products might not have the highest spatial resolution (Sillero & Tarroso, 2010).

With that concern, a pilot project to develop a methodology for lake and lagoon PPA delimitation (Domingues *et al.* 2015) was previously conducted. In that study, seasonal variations, time of the year of maximum lake water level and its influence on lake and its PPA dimensions were verified. The water body chosen, *Gateados* Lagoon, is situated in the rural area of Mostardas, Southern Brazilian Coastal Plain, more precisely in the Middle Coast region of Rio Grande do Sul State - RS. The Southern Coastal Plain is an area of high ecological importance, normalized as priority for conservation by the Brazilian

Ministry of Environment (Ministério do Meio Ambiente, 2007). Despite that, this coastal region is subjected to severe impacts, such as irrigated rice cropping, *Pinus* forestry, urban expansion and cattle grazing. As a result, a methodology using remote sensing was proposed for demarcation of PPA around coastal lakes and lagoons. As described by Domingues *et al.* (2015), this approach considers historical lake surface variations, according to the water availability conditions contributing to lake dynamics.

Within this context, the present study aims to define the PPA of *Paurá* Lagoon. As an important focus of conservation interest, the *Paurá* Lagoon is situated further south in the Middle Coast of RS (Figure 1 and Supporting information I). To that end, we intend to apply the methodology previously described for *Gateados* Lagoon (Domingues *et al.*, 2015) and verify its repeatability in a different environment of the Southern Coastal Plain. The conditions of higher and lower water surface, *i.e.* maximum and minimum lagoon levels, are considered in a remote sensing analysis of freely-available satellite images.

2. METHODOLOGY

2.1 Study Area

The *Paurá* Lagoon is located within the coordinates 31°34' S, 51°18' W; 31°34' S, 51°17' W; 31°35' S, 51°18' W and 31°35' S, 51°19' W. It is located south of the *Lagoa do Peixe* National Park (LPNP) and in the northern limit of the municipality of São José do Norte, RS, which is bordered by the Atlantic Ocean to the east, by the large *Patos* Lagoon to the west, and to the south by the *Canal da Barra* – an important channel linking the latter lagoon to the sea (Figure 1 and Supporting information I). The *Patos* Lagoon is the largest coastal barrier-lagoon system in Brazil, with an area of 10,000 km², and the second largest lagoon in Latin America (Dillenburg & Hesp, 2009; Hales & Petry, 2013). The main economic activities in the region are agriculture and forestry of the exotic *Pinus elliottis*. Previous regional surveys (Parapanema, 1999; Schäfer *et al.*, 2009a and 2009b) indicated that the regional climate is subtropical, CFA by the Köppen classification, rainy, moderate temperate, with northeastern winds to the southwest. The average annual rainfall in the region is 1500 mm and 125 mm monthly (INPE, 2014), with relatively heavy rainfall in the winter, more specifically in the quarter July-August-September (Cavalcanti *et al.*, 2009). Planosols are predominantly associated with quartz sands. The *Paurá* Lagoon is characterized by its elongate shape in parallel to the shore, 1.8 km of length

and shallow depth (0.77 m), according to 2008 summer data (Schäfer *et al.*, 2009b).

The lagoon's influence region has a straight stretch of beach, sandy fields with rolling low stature dunes devoid of vegetation, or partially covered with herbaceous plants, predominantly *Panicum racemosum* (Poaceae) and *Androtrichum trigynum* (Cyperaceae). There are marshlands associated with wet grasslands next to the lagoon and a *Mata de Restinga* – a continuous strip of sandbank forest established over an ancient dune, with several tree species, predominantly of the *Myrtaceae* family, besides lianas, epiphytes and shrubs. In the surroundings, there are exotic pine forestry and fields with cattle. The fauna is rich in terrestrial vertebrates of open areas, as well as aquatic fauna and bird life (Schäfer *et al.*, 2009a).

2.2 Rainfall

The rainfall historical series chosen comprises daily, monthly and annual data from a period of 20 years – from 1992 to 2012 - registered at the Tavares Weather Station.

Total rainfall of each month within this period was calculated. From these data, the number of days without rainfall in each month was determined. These were important to assist the identification of periods of water deficiency (rain water scarcity -WS) and water overflow (rain water excess WE) - relating to the minimum and maximum dimensions of the lagoon, respectively. Thereby, WS and WE were used as criteria assisting the selection of satellite images.

To confirm the selection of the most representative WS and WE images, the accumulated rainfall in the 31 days preceding the acquisition of each image was quantified. That was done to search for periods of greater constancy of rainfall records. The 31 days presenting the longest period with little or no rainfall indicated the best choice of a WS representative image, while the wettest 31 day-period confirmed the choice of the WE image.

2.3 Water Balance

Water balance conditions of the *Paurá* Lagoon region were extracted from a State agroclimatic zoning reference

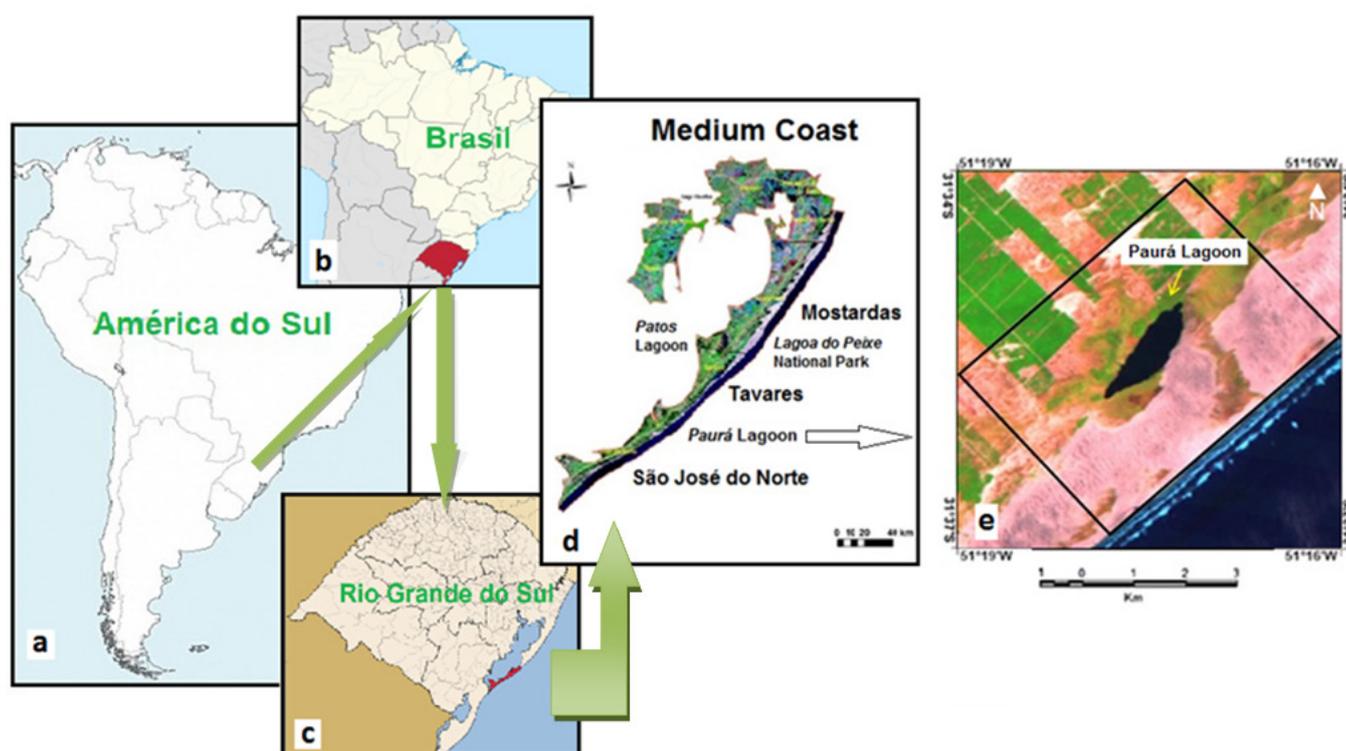


Figure 1 - Location of the study area (e) in the municipality of São José do Norte (red in c), within the Middle Coast region (d) of Rio Grande do Sul (c) - the southernmost state in Brazil (b), South America (a). The *Paurá* Lagoon is indicated in a Landsat 5 image (1993) 543 RGB band composition (e).

Figura 1 - Mapas de localização da área de estudo (e) no município de São José do Norte (c), Litoral Médio (d) do estado do Rio Grande do Sul (c), o estado mais a sul do Brasil (b), América do Sul (a). A Lagoa do Paurá está indicada em imagem Landsat 5 (1993), composição de bandas 543 RGB (e).

(Secretaria do Planejamento e Coordenação, 1978). The water balance was calculated with data available from the neighbor municipality of Mostardas. The same hydrological reference study was used additionally in order to identify WS and WE periods, and to assist satellite image selection.

2.4 Selection of Satellite Images

Through the digital image catalog of the Brazilian National Institute for Space Research (INPE), Landsat 5 - TM satellite scenes were obtained free of charge to explore a historical series from 1985 until 2011.

Landsat 5 scenes have a spatial resolution of 30 m, that is, each pixel of the image is 30 m wide and 30 m long, with a total land area of 900 m² (0,09 ha). Each scene covers a land area of 34,225 km² (185 km x 185 km). This satellite captures images in seven different bands of the electromagnetic spectrum with a temporal resolution of 16 days (NASA, 2012). For this work, 89 digital Landsat 5 images were preselected from INPE's online catalog. To avoid exceptional weather patterns, images from periods recorded as 'Strong' for both *El Niño* and *La Niña* climatic oscillations (CPTEC, 2014) were not considered. Two images from this total were chosen in order to represent WE and WS periods in *Paurá* Lagoon. For the selection of the two images the following criteria were established:

- Images with little cloud cover, especially above the lagoon;
- WS images chosen during negative water balance period, with the lowest accumulated rainfall values in the 31 days prior to the image date;
- WE images chosen during the positive water balance period, with the highest accumulated rainfall values in the 31 days prior to the image date.

2.5 Download and Geoprocessing of Images

The Landsat 5 satellite images database was accessed after registration at INPE's Satellite Image Catalog in <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Two scenes were downloaded, using the following basic parameters: TM sensor, orbit 221, point 082. The scenes, each one with the dimensions of 185 km x 185 km, were recorded in the SPRING 4.3.3 application, considering a mean square error of less than one pixel. The SPRING processing resources and image classification application is a free of charge geographical information software, developed and available online from INPE.

A GeoCover Landsat 7 image, dated 12 November 2002

(University of Maryland, USA, Global Land Cover Facility, <http://glcf.umd.edu/research/portal/geocover/>) was downloaded for registration of the selected Landsat 5 images, with the following parameters: ETM+ sensor, orbit 221, point 082, WRS-2. The registration process in the SPRING 4.3.3 was carried out using 23 points of support from the GeoCover image, the projection system Universal Transverse of Mercator (UTM) and the South American Datum SAD69, polynomial of degree 2, nearest neighbour interpolation and mean square error of less than one pixel.

2.6 Delimitation and Calculation of Flooded Area

The delineation of the lagoon's water surface (also termed 'lamina' or 'flooded area') was firstly done by insertion of the two geoprocessed images in a database created in the SPRING 4.3.3 application. The lagoon's shoreline was then identified by its texture, form and spatial configuration. Vectorization followed by manual delimitation and quantification of the flooded area on each image, using a 1:6,000 scale. Best results were achieved with a 543 band combination in the RGB channels, matching the mid-infrared band (band 5), near infrared (band 4) and red (band 3). Using the SPRING buffer tool, a polygon line was drawn along the lagoon margin. The quantification of the delimited flooded area was carried out with the SPRING 4.3.3 metric operations tool, by summing up the number of internal pixels of the polygon generated within the lagoon's marginal line.

2.7 Demarcation and PPA Calculation

The demarcation of the 100 m wide legal marginal PPA strip from the lagoon's dry border was carried out using the SPRING 4.3.3 distance map tool. PPA dimension was calculated by summing up the number of pixels within the polygon formed by the range of 100 m, demarcated from the dry edge of the flooded area.

The methodology employed is summarized in the diagram of Figure 2.

2.8 Field visits

Field trips to the study area were conducted on 19 July 2013 (winter) and 28 January 2014 (summer) for site recognition and *in locus* visual confirmation of findings from satellite image analyses.

3. RESULTS

Total rainfall volume calculated from each month and the number of days without rainfall in each month, during the studied historical series of 1992 to 2012 (Tables I to X, Figure I and Figure II in Supporting Information II - SI-

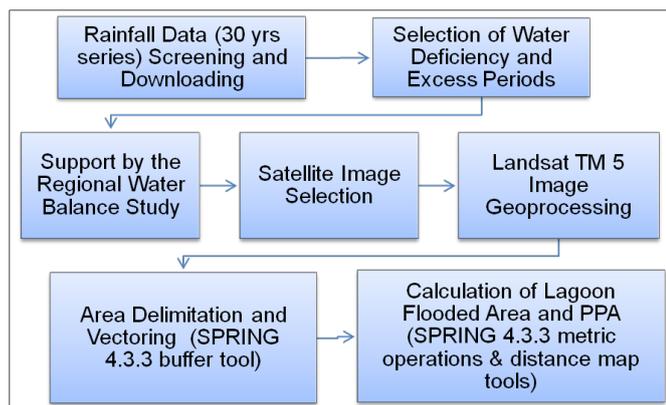


Figure 2 – Summary of the methodological steps done for lagoon PPA delimitation.

Figura 2 – Diagrama dos passos metodológicos realizados para a delimitação da APP de lagoa.

II), assisted the selection of the two best representative Landsat 5 images of water overflow (or excess - WE) and water deficiency (or stress - WS) in the *Paurá* Lagoon. These images, shown in Figure 3, were dated 06 September 1998 (WE) and 29 April 2009 (WS).

An accumulated rainfall volume of 255.0 mm during the 31 days preceding 06/09/1998 (maximum lagoon level period, 23 days without rain) was obtained. While only

3.7 mm (29 days without rain) were found for the 31 days period up to 29/04/2009 (minimum lagoon level period), meaning a difference of 251.3 mm of rain (Figure II in SI-III).

In addition, the regional water balance reference study (Secretaria da Coordenação e Planejamento, 1978) assisted the selection of periods with greater and lower water availability in the lagoon. It also allowed the identification of periods with greater losses by evapotranspiration and higher recharges by precipitation. The water balance indicated a period marked by WS from late spring until early autumn (November to April, Figure I in SI-III). The greatest water loss appears due to the high potential evapotranspiration, especially during the summer months (December, January, February and March), when wind and temperature values are higher. The water balance study shows that water use is higher in the drought period, further exacerbating the retreat of the lagoon flooded area during the drier season. This is clearly shown in Figure 3A, where a smaller wetland area is seen in the WS date image.

The positive water balance period is characterized by an initial period of water replacement in the months of April, May and June (autumn and early winter) with rainfall precipitation values exceeding potential evapotranspiration values. And for another period of WE in the months between July and October (mid-winter

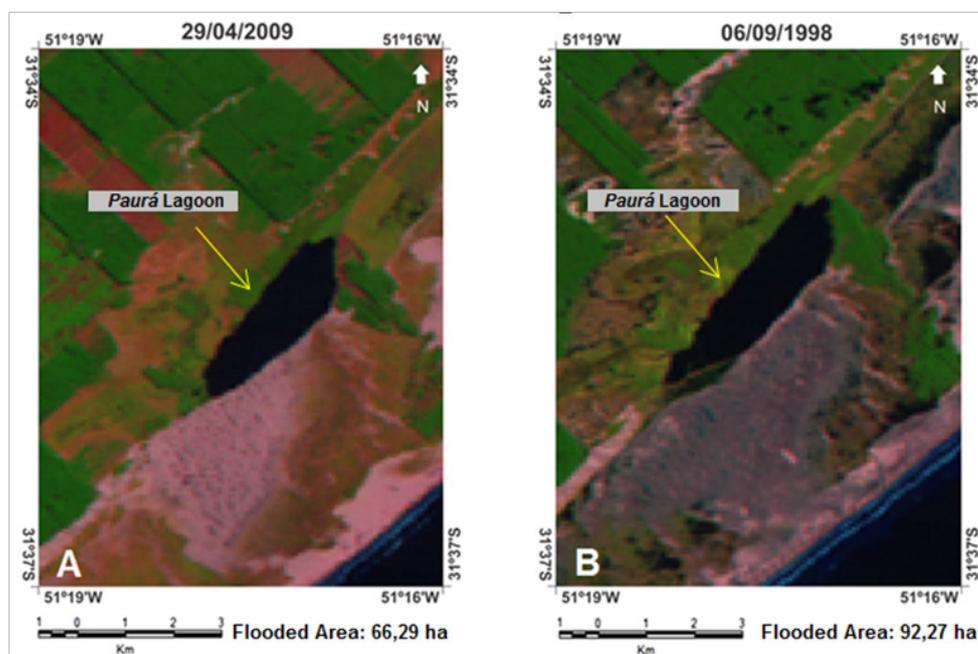


Figure 3 – Landsat 5 images and water surface area variations in Paurá Lagoon, São José do Norte-RS: (A) during maximum water deficit (29/04/2009) and (B) maximum water excess (06/09/1998), according to the 1992-2012 historical series.

Figure 3 - Imagens Landsat 5 e a variação das áreas de superfície de água na Lagoa do Paurá, São José do Norte-RS: (A) durante período de máximo déficit hídrico (29/04/2009) e (B) de máximo excesso hídrico (1998/06/09), de acordo com dados pluviométricos da série histórica 1992- 2012.

and early spring), due to the water replacement in the previous period and the greater accumulation of water precipitated during these latter months. The lagoon flooded area tends to be larger during the WE period, as seen in Figure 3B, corresponding to autumn and winter scenes.

Regarding the PPA estimated and delineated in Figure 4, the difference between the two images was 10.89 ha, which equals to a PPA area 1.26 times larger in WE than in WS conditions. The addition of the flooded area to the PPA in WE results in a total of 145.52 ha to be legally preserved. That is, in the WE period (06/09/1998), the largest lagoon area reached 92.27 ha with 53.25 ha of PPA, while during WS (24/04/2009), the smallest lagoon flooded area measured 66.29 ha with a PPA of 42.36 ha. Such increase represents 25.98 ha in addition to the flooded area during the period of greater water availability (i.e. maximum level), which is equivalent to 1.40 times the lagoon flooded area during the dry season (Figure I in SI-IV).

Large amounts of macrophytes' remnants were seen withering on the north bank of the lagoon, indicating the rise of water in a WE period and its subsequent retraction (Figure 5A). Other in site observations included a shallow marsh along the northern portion of the lagoon (Figure 5B), fields and sand dunes covered with an old pine tree plantation around the northeast margin. Part of this plantation had been cut, as verified by stumps from cut logs still apparent along the PPA (Figure 5C). Additionally, there was a high number of new pine trees naturally dispersed along the north-northeastern marginal PPA and on the surrounding dunes (Figure 5D). Parallel to the west margin of the lagoon, a forest sandbank over an inner dune (*restinga* forest) follows northwards flanking the wet grassland. Such vegetated dune was probably formed during the last Cenozoic barrier, as indicated by its location (Figure 5E). Exotic pine trees individuals were spotted colonizing the borders of that native *restinga* forest (Figure 5F).

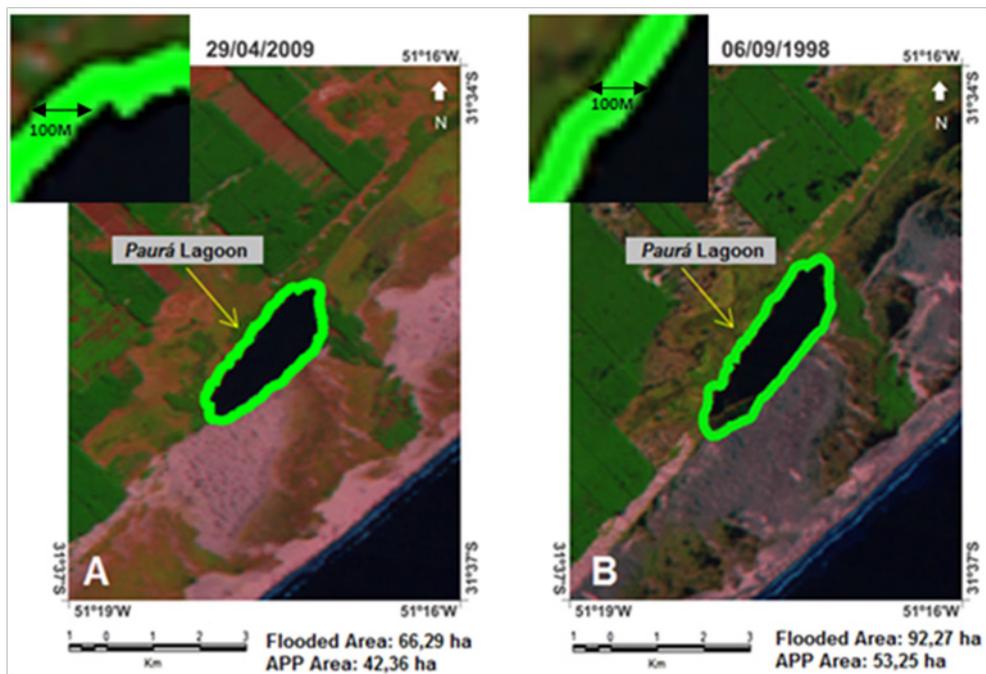


Figure 4 - Delimitation of the permanent preservation area (PPA) during periods of (A) water deficit (29/04/2009) and (B) water overflow (06/09/1998), from satellite images of the Landsat time series 5 (1985-2011) and rainfall data (1992-2012), with their calculated values for water surface and PPA of Lagoon Paurá, São José do Norte-RS.

Figura 4 - Delimitação da área de preservação permanente (APP) nos períodos de (A) déficit (29/04/2009) e (B) excesso hídrico (06/09/1998), a partir de séries históricas de imagens do satélite Landsat 5 (1985-2011) e de dados de precipitação pluviométrica (1992-2012), com respectivos valores calculados para área alagada e APP da Lagoa do Paurá, São José do Norte-RS.

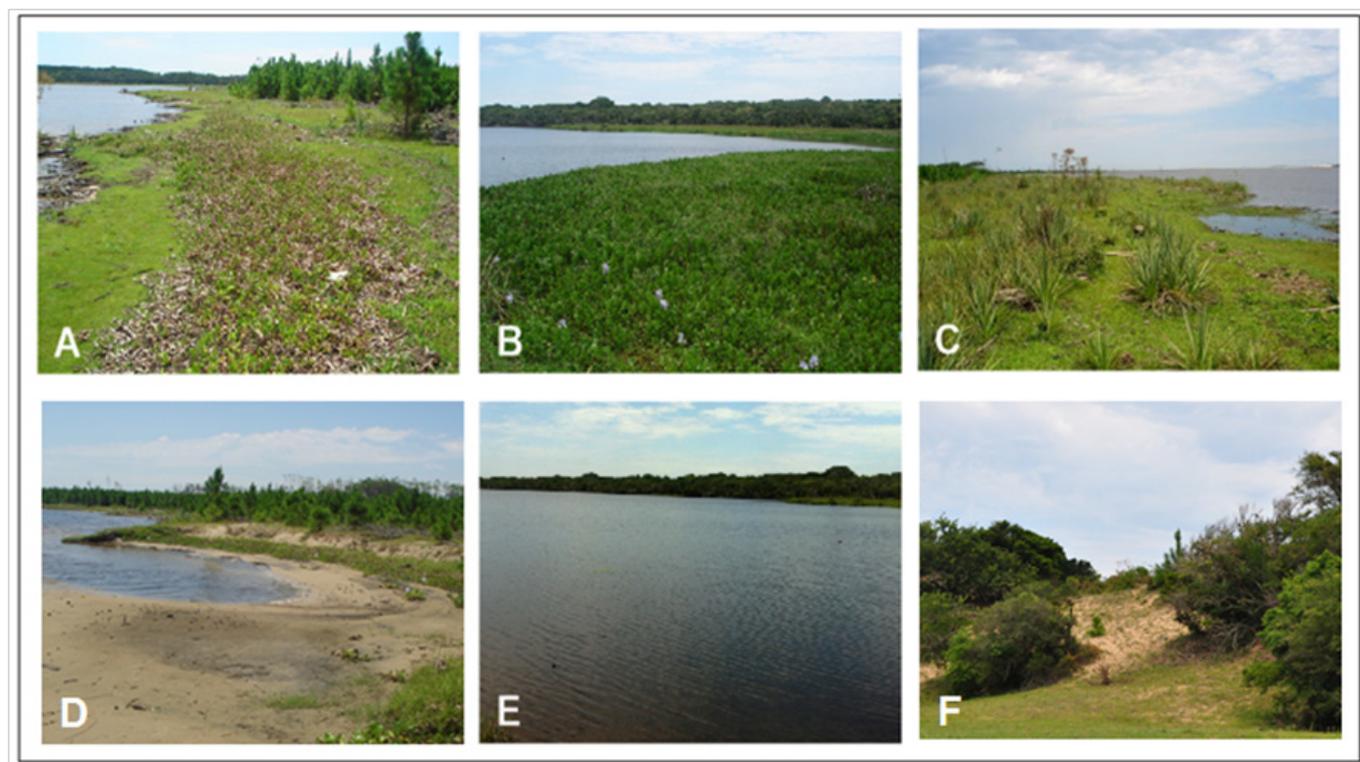


Figure 5 - Photographic records obtained in the field trip to Paurá Lagoon on 28 January 2014: A - Remnants of aquatic macrophytes plants on the north margin; B - Wetland with macrophytes in the northern portion; C - Exotic *Pinus* trunks cut close to the ground in the PPA; D - PPA with scatter *Pinus* and old plot, right on the background dune; E - View of the native forest sandbank on the west margin; F - Exotic *Pinus* invasion in the forest sandbank.

Figura 5 - Registros fotográficos obtidos na saída de campo à Lagoa do Paurá, em 28 de janeiro de 2014. A - Resquícios de plantas macrófitas aquáticas sobre a margem norte; B - Banhado na porção norte; C - Corte raso de *Pinus* exóticos na APP; D - APP com dispersão de *Pinus* e talhão antigo, à direita, sobre duna; E - Vista da mata nativa de restinga na margem oeste; F - Invasão de *Pinus* exóticos na mata de restinga.

4. DISCUSSION

Results obtained from *Paurá* Lagoon PPA area dynamics could be compared to those obtained previously for *Gateados* Lagoon, using the same methodology (Domingues *et al.*, 2015). *Paurá's* PPA and flooded area increased 1.26 times and 1.40 times, respectively, during water overflow conditions. While in *Gateados* Lagoon, both PPA and flooded area increased twice during water overflow conditions. Larger increases seen in *Gateados* could be partially explained by an extra WE overflow from the nearby significantly larger *Patos* and *Casamento* lagoons through a system of wetlands and groundwater links (Domingues *et al.*, 2015). While the *Paurá* Lagoon, situated further away from another large fresh water body and on a sandier, more permeable soil, would displays a better WE drainage and a less pronounced surface area increase.

According to the legal provisions of the Forest Code, considerable land gains for ecosystem preservation were indicated by satellite image analyses of the two bodies of water, provided the PPA delineation was made during the maximum water surface level.

As remarked by Domingues *et al.* (2015), similarly to the area calculated here under WS, other significant unobserved PPA losses around lakes and lagoons may occur routinely elsewhere in the country, as a result from the lack of legal definitions. That is, the current Brazilian Forest Code, while defining the limits of PPA, does not consider water balance nor rainfall seasonality as criteria for lake PPA demarcation. The new 2012 Code also disregards local environmental peculiarities, such as geomorphology, soil and climate, which are known to influence the morphology of lacustrine bodies of water, such as those found in abundance along the Brazilian Coastal Plain.

Marchett *et al.* (2012) also observed seasonal surface variation in another lagoon from the RS Coastal Plain. By delimiting the *Cidreira-Rondinha* Lagoon on four Landsat 5 TM satellite images from different dates over one year, they obtained four different boundary margins attributed mainly to climatic conditions and water use for irrigation. As reported by those authors, the delimitation of the water body on more than one season enabled a better understanding of its dynamics, in comparison to

using only one image or topographic map. Similarly, Santos (2013), based on the analysis of Landsat TM images dated 26/09/2000 and 06/09/2010 of several lakes and lagoons in the extreme northeastern coast of Brazil (Nísia Floresta, Rio Grande do Norte state), mapped different water features for the respective years. That author detected a 59% decrease in total lake water surface lamina from 2000 (2,022.5 ha) to 2010 (1,476.6 ha), which was credited to a considerable rainfall difference: 2034.0 mm recorded in 2000 against 910.6 mm in 2010. The conclusions from Santos (2013) and Marchett *et al.* (2012) corroborate findings in the present study.

In relation to the flooded surface of *Paurá* Lagoon, measurements made by others (Schäfer *et al.*, 2009b) reported 70 ha during the summer of 2008, which were quite similar to the 69.29 ha obtained during WS period (early autumn, 2009) in the present study.

Factors distinct of the hydrological regime may also influence the variation in the level of lakes in this coastal region. Gianuca & Tagliani (2012), analyzing aerial photos of 1964 and Landsat 5 TM images of 2007 from the neighboring locality of *Estreito*, in the south of *Paurá* Lagoon, suggested that the horizontal increase in the lagoon flooded area was due to the obstruction of natural drainages by the exotic pine plantations nearby. However, drainage changes would lead to increases in the water level especially during periods of high rainfall. Studies by Schäfer *et al.* (2009a) indicated that most asymmetrical and shallow lagoons of the RS Middle Coast region have suffered a gradual decrease in area by clogging due to accumulation of sand from dunes moved by the predominant northeast winds. It is possible that the same occurs in *Paurá* Lagoon. In the present study, a comparison between 1998 and 2009 images shows greater accumulation of sand around the south side of the lagoon during the latter year.

In addition to the seasonal hydrological regime, the dynamics of *Paurá* Lagoon is probably suffering influences from the presence of planted or naturally dispersed exotic pine trees in the surrounding area. Evidences from others have demonstrated that large pine plantations near small bodies of water could influence their area, by reducing the level or slowing the advance of surface water. Studying the spatial dispersion of pine plantations in the National Park of *Lagoa do Peixe* and its surroundings, Portz *et al.* (2011) cite a document from the Brazilian National Institute of Environment - IBAMA (Letter nº001/06 - PNLP - IBAMA, dated 09/01/2006), describing impacts of *Pinus* tree monoculture, which include relegation/reduction of the water table, the decrease in humidity and consequent change in rainfall.

These changes in the water regime affect directly and indirectly the hydrological system of the water body, causing the drying of wetlands, and affecting flora and fauna. The water balance of the lagoon is also affected, as these wetlands act as sponges retaining water for periods of drought. Therefore, it would be important to eliminate existing exotic *Pinus* from *Paurá* lagoon PPA and control new invasions through an appropriate tree management in neighboring forestry enterprises.

Landsat satellite images were chosen here, because they are available free of charge in the internet and provide comparable registers spanning over more than three decades. Several authors cited here have also used Landsat images for similar reasons (Gianuca & Tagliani, 2012; Marchett *et al.*, 2012; Santos, 2013; Schäfer *et al.*, 2009a). Methodologies such as the presently applied, providing satisfactory results while employing less expensive GIS tools, are particularly advantageous to small and medium size landowners, as well as to local environmental agencies, usually devoid of sufficient resources. Nevertheless, PPA and lagoon flooded area measurements determined using Landsat 5 images have an inherent error due to the image pixel size (30 m x 30 m). This fact does not invalidate the results found here, although it highlights the need for a cautionary interpretation of the values which solely should not be considered as absolute. As done here, site recognition to confirm measurements should still be carried out in the field. Whenever greater accuracy in results is needed, higher spatial resolution images from other satellites could be employed, usually upon purchase of a license fee.

Findings of this study reinforce the importance of understanding the dynamics of the water body, to thereby allow a greater range of ecological functions of the PPA, especially in coastal zones and other areas of notable importance to conservation.

5. CONCLUSIONS

We have verified and confirmed the applicability of a method previously developed to demarcate PPA of lakes and lagoons of the Southern Brazilian Coastal Plain (Domingues *et al.*, 2015). Combining analyses of multitemporal satellite images, pluviometrical data and water balance, the PPA and water surface area of *Paurá* lagoon were delineated, measured and compared at maximum periods of water deficit and water overflow. Lagoon PPA with larger dimensions were found during maximum water level conditions. Therefore, *in situ* area demarcation between mid winter and early spring (July to October) would be highly advantageous to the preservation of *Paurá* Lagoon and associated ecosystems.

In compliance to the new 2012 Brazilian Forest Code, *in situ* PPA demarcation considering annual water body dynamics, together with an effective integrated exotic tree management for *Pinus* control, would be crucial to maintain landscape, water regime and biodiversity in the Southern Brazilian Coastal Plain.

In addition to control and monitoring, environmental agencies and other governing bodies should consider these findings when planning and implementing policies, such as those for ecological-economic integrated management. Directives derived would assist landowners and entrepreneurs to comply with law in a more ecological way.

The methodology applied here may be also adapted to protect wetland and lake-associated ecosystems from other coastal or non-coastal regions.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the Brazilian National Council for Science and Technology – CNPq, for granting an Undergraduate Scientific Initiation Scholarship to Leticia Sebastião Miranda through the PIBIC CNPq – FEPAM agreement.

REFERENCES

- Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Silva, M.G.A. J.; Dias, M.A.F.S. (2009) - Tempo e clima no Brasil. 463 p., Oficina de Textos, São Paulo, Brasil.
- Cecílio, R.A.; Coutinho, L.M. (2011) - Delimitação e estudo de vulnerabilidade da Área de Preservação Permanente no entorno da Lagoa Guanandi, Itapemirim-ES. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 5, p.58-68, INPE. Curitiba, PR, Brasil. Available on-line at: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0236.pdf>. (Accessed September 2015).
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) (2014) – El Niño, La Nina – Últimas Ocorrências. Available on-line at: <http://enos.cptec.inpe.br>. (Accessed June 2014).
- Corrêa, F.; Claudino, M. C.; Bastos, R. F.; Huckembeck, S.; Garcia, A. M (2012) - Feeding ecology and prey preferences of a piscivorous fish in the Lagoa do Peixe National Park, a Biosphere Reserve in Southern Brazil. *Environ. Biol. Fish* v. 93, n.1. p.1–12. DOI 10.1007/s10641-011-9881-4
- Dillenburg, S.R.; Hesp, P.A. (2009). Editors. *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. 1st ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Domingues A.L.; Lipp-Nissinen, K.H., Miranda, L.S.; Buriol, G.A.; (2015) - Delimitação da área de preservação permanente da Lagoa dos Gateados, na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (RS), utilizando séries de imagens de satélite e dados hidrológicos históricos. *Revista Brasileira de Geografia Física*. Recife. 8 (3): 776-792. ISSN 1984-2295. DOI: 10.5935/1984-2295.20150031.
- Hales, J.; Petry, P. (2013) - Laguna dos Patos. In: *Fresh Waters Ecoregions of the World*. Available on-line at: http://www.feow.org/ecoregions/details/laguna_dos_patos (Accessed September 2015).
- Gianuca, K.S.; Tagliani, C.R.A. (2012) - Análise em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) das alterações na paisagem em ambientes adjacentes a plantios de pinus no Distrito do Estreito, município de São José do Norte, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 12, n.1, p. 43-55. DOI: 10.5894/rgci285.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (s/d) - Departamento de Sensoriamento Remoto. Series View. Available on-line at: <https://www.dsr.inpe.br/laf/series/index.php> (Accessed September 2014).
- Marchett, C.A.; Schuh, S.M.; Ahlert, S.; Schäfer, A. E. (2012) - Uso de imagens de Landsat-5-TM em diferentes datas para a definição dos limites de lagoas costeiras do RS. In: *Seminário de Estudos Limnológicos em Clima Tropical*. 3. UFSM. Santa Maria, RS, Brasil. Available on-line at <http://www.ufsm.br/selcs2012>. (Accessed July 2014).
- Mesquita, E.A.; Brito, M.L. da C.; Romana, L. do Ó P. (2012) - Geoprocessamento aplicado ao mapeamento das formas de uso da terra na Área de Preservação Permanente da Lagoa do Uruaú. *Revista Geonorte*, Edição Especial (Special Edition), v.2, n.4, p.1509-1518. Beberibe, CE, Brasil. Available on-line at http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/009_GEOPROCESSAMENTO%20APLICADO%20AO%20MAPEAMENTO%20DAS%20FORMAS%20DE%20USO%20DA%20TERRA.pdf (Accessed January 2015).
- Ministério do Meio Ambiente - MMA. (2007) - Portaria MMA nº 9, de 23 de janeiro de 2007. Available on-line at http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodiversidade31.pdf (Accessed June 2014).
- NASA (2012) - Introductory Landsat tutorial. Available on-line at <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/tutorial/Landsat%20Tutorial-V1.html> (Accessed April 2014).
- Sillero, N.; Tarroso, P. (2010) - Free GIS for herpetologists: free data sources on Internet and comparison analysis of proprietary and free/open source software. *Acta Herpetologica*, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 63-85. ISSN 1827-9643. Available at: <<http://www.fupress.net/index.php/ah/article/view/8535/7996>>. (Accessed November 2016). DOI:10.13128/Acta_Herpetol-8535.
- Parapanema (1999) - Projeto Bujuru: Complexo Mineiro - lavra, beneficiamento e transporte de minerais pesados. *Relatório de Impacto Ambiental - RIMA*. Magna Engenharia. 1v. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Pereira, M. S.; Poerschke, F. (2010) New bird records from Lagoa do Peixe National Park, southern Brazil. *Biotemas*, Florianópolis (ISSN 2175-7925), v. 23, n. 1, p. 241-246. Available on-line at <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2010v23n1p241> (Accessed October 2015). DOI: 10.5007/2175-7925.2010v23n1p241
- Presidência da República Federativa do Brasil (2012) - Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 19 jul. 2012. Available on-line at http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm (Accessed May 2014).
- Portz, L.; Manzolli, R.P.; Saldanha, D.L.; Correa, I.C.S. (2011) - Dispersão de espécie exótica no Parque Nacional da Lagoa do Peixe e seu entorno. *Revista Brasileira de Geografia Física* (ISSN 1984-2295), v.4, n.1, p.35-38. Porto Alegre, RS, Brasil. Available on-line at <http://www.revista.ufpe.br/rbge/index.php/revista/article/viewFile/171/152>

- Reis, R.B.; Cardoso, P.V.; Cruz, C.B.M.; Vicens, R.S. (2009) - Mapeamento e caracterização das Áreas de Preservação Permanente na Área de Proteção Ambiental do Rio São João/Mico Leão Dourado. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 14, p. 5397-5404, INPE. Natal, RN, Brasil. Available on-line at <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.13.37/doc/5397-5404.pdf>
- Santos, W.A.A. (2013) - Uso do Sensoriamento Remoto multiespectral para determinação da variação de lâminas d'água das lagoas no município de Nísia Floresta, Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, (ISSN 1984 – 2295), 06(06): 1635-1647. Available on-line at <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/480/497>
- Sausen, T.M. (2006) - SELPER populariza imagens de satélite. *Info GEO Revista de Análise Geográfica*. 41: 30-32. Curitiba, PR, Brasil.
- Schäfer, A.E.; Lanzer, R. M.; Pereira, R. (2009a) - *Atlas Socioambiental dos Municípios de Mostardas, Tavares, São José do Norte e Santa Vitória do Palmar*. 372p. Il., EDUCS. Caxias do Sul, RS, Brasil. ISBN 857-0615175. Available on-line at https://docs.google.com/file/d/0Byw_g7Puk0zzeDBrMEs1Z04tRWM/edit.
- Schäfer, A.E.; Marchett, C.; Bianchi, A. (org). (2009b) - *Recursos hídricos dos municípios de Mostardas, Tavares, São José do Norte, Santa Vitória do Palmar*. Manual de gestão sustentada: EDUCS. Caxias do Sul, RS, Brasil. ISBN 978-85-7061-519-0.
- Secretaria Estadual do Meio Ambiente - SEMA (2012) - Projeto RS Biodiversidade. Available on-line at <http://www.sema.rs.gov.br/> (Accessed September 2015).
- Secretaria do Planejamento e Coordenação. (1978) - *Plano integrado para o desenvolvimento do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, adequação e uso do solo, zoneamento agroclimático*. Editora Meridional. 296p., EMMA. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T. (2010) - Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica*, v.10, n.4, p.67-75. Available on-line at <http://www.redalyc.org/pdf/1991/199118978010.pdf>. ISSN: 1676-0611

SUPPORTING INFORMATION I

FEATURES OF THE STUDY AREA AND ITS STRATEGIC ECOSYSTEMIC IMPORTANCE IN THE SOUTHERN COASTAL REGION OF BRAZIL

The Coastal Plain of Rio Grande do Sul state (RS) is represented by a close and long-range sedimentary area 70 km wide and 640 km long, which houses a lagoon-estuarine complex of great socioeconomic and environmental importance (Gianuca & Tagliani, 2012). Its Middle Coast region comprises conservation priority actions executed by the RS Biodiversity Project - *Projeto RS Biodiversidade* - RSBio (2012). This interinstitutional State project, co-funded by the World Bank, has been promoting biodiversity recovery and conservation of local rural practices by fomenting integrated ecosystem management, adoption of appropriate methods and opportunities for sustainable use of natural resources. One of the RSBio priority areas in the Middle Coast is the *Paurá* Lagoon, located north of the town of São José do Norte (Figure 1) and south of the *Lagoa do Peixe* National Park (LPNP) in the neighboring municipality of Tavares. This national park is considered an area of extreme ecological importance and priority for conservation by the Brazilian Ministry of the Environment (Ministério do Meio Ambiente, 2007). Alongside with that, LPNP is a site of the Ramsar Convention on Wetlands - an international treaty for the conservation and sustainable utilization of wetlands. It is an important waterfowl habitat, which harbors also many diverse and productive aquatic fauna, including endangered fish species (Corrêa *et. al.* 2012; Pereira & Poerschke, 2010; Portz *et. al.*, 2011). This proximity allows for flora and fauna sharing, therefore highlighting the strategically value of the *Paurá* Lagoon region.

SUPPORTING INFORMATION II

RAINFALL HISTORICAL SERIES 1992-2012 IN THE PAURÁ LAGOON REGION

Table 1 - Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 1992-1994, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul. Empty cells mean unavailable data.

Tabela I - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 1992 e 1994, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul. Células vazias significam dados não disponíveis.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
1992	January		
	February		
	March		
	April		
	May		
	June		
	July		
	August		
	September	131.6	18
	October	79.6	24
	November	42.0	28
	December	35.9	25
1994	January	27.7	29
	February	166.7	18
	March	64.5	26
	April	122.4	19
	May	79.7	22
	June	59.1	21
	July	189.9	20
	August	59.6	26
	September	46.0	22
	October	214.8	19
	November	113.3	23
	December	69.7	27

Table 2 - Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 1995-1996, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul.

Tabela 2 - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 1995 e 1996, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
1995	January	37.2	22
	February	73.2	21
	March	135.1	22
	April	152.1	20
	May	43.0	27
	June	142.1	22
	July	342.7	15
	August	111.6	22
	September	161.0	22
	October	106.3	25
	November	51.2	21
	December	28.6	26
1996	January	105.2	18
	February	85.9	21
	March	133.9	21
	April	84.7	22
	May	0.5	30
	June	144.1	22
	July	23.8	26
	August	105.4	22
	September	109.4	19
	October	221.0	21
	November	58.0	26
	December	42.9	27

Table 3 - Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 1997-1998, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul.

Tabela 3 - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 1997-1998, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
1997	January	71.5	27
	February	155.9	21
	March	102.4	24
	April	75.3	24
	May	103.5	25
	June	183.2	21
	July	124.0	26
	August	247.8	22
	September	93.7	24
	October	291.2	20
	November	142.7	22
	December	103.6	24
1998	January	212.7	21
	February	151.9	21
	March	188.7	20
	April	226.4	19
	May	186.3	25
	June	158.3	23
	July	153.4	25
	August	204.7	19
	September	144.3	23
	October	12.5	28
	November	36.4	27
	December	47.2	24

Table 4 - Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 1999-2000, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul.

Tabela 4 - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 1999-2000, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
1999	January	75.7	26
	February	71.9	26
	March	40.3	26
	April	175.9	23
	May	141.1	26
	June	75.2	24
	July	103.6	26
	August	60.8	25
	September	111.3	26
	October	90.0	27
	November	108.5	27
	December	122.7	28
2000	January	43.0	28
	February	46.3	25
	March	90.0	23
	April	145.0	24
	May	133.2	25
	June	198.0	23
	July	102.8	28
	August	96.1	26
	September	249.2	25
	October	155.4	24
	November	88.2	26
	December	63.5	26

Table 5 - Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 2001-2002, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul.

Tabela 5 - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 2001-2002, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
2001	January	120.8	25
	February	111.3	25
	March	44.4	28
	April	238.9	22
	May	48.6	27
	June	188.3	25
	July	178.5	23
	August	36.8	28
	September	142.9	22
	October	93.4	27
	November	163.1	25
	December	60.4	28
2002	January	84.4	28
	February	74.5	22
	March	191.5	22
	April	140.4	22
	May	121.4	28
	June	172.6	24
	July	174.0	25
	August	139.2	26
	September	156.6	25
	October	163.2	25
	November	52.7	27
	December	266.6	24

Table 6 - Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 2003-2004, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul.

Tabela 6 - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 2003-2004, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
2003	January	28.9	30
	February	221.0	19
	March	98.8	26
	April	61.2	26
	May	44.6	29
	June	156.5	25
	July	180.0	25
	August	55.2	30
	September	69.9	27
	October	117.0	28
	November	51.8	26
	December	156.6	25
2004	January	65.2	28
	February	31.1	27
	March	51.3	28
	April	90.8	26
	May	257.4	26
	June	113.4	26
	July	122.8	28
	August	79.4	28
	September	162.6	26
	October	39.6	28
	November	49.3	27
	December	112.8	28

Table 7 - Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 2005-2006, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul. Empty cells mean unavailable data.

Tabela 7 - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 2005-2006, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul. Células vazias significam dados não disponíveis.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
2005	January	7.2	30
	February	40.4	24
	March	46.2	29
	April	78.1	25
	May	126.3	26
	June	13.3	27
	July	50.6	28
	August	86.5	24
	September	245.8	22
	October	136.5	24
	November	11.3	29
	December	30.5	28
2006	January	133.1	26
	February	57.3	25
	March	55.7	28
	April	33.1	28
	May	96.8	25
	June		
	July		
	August		
	September	181.6	24
	October	30.0	27
	November	157.0	26
	December	112.7	25

Table 8- Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 2007-2008, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul. Empty cells mean unavailable data.

Tabela 8 - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 2007-2008, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul. Células vazias significam dados não disponíveis.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
2007	January	70.3	26
	February	112.8	22
	March	260.7	25
	April	149.2	27
	May	100.6	26
	June	276.6	20
	July	166.0	25
	August	259.1	21
	September		
	October		
	November		
	December	4.5	30
2008	January	29.5	27
	February	68.1	26
	March	60.3	29
	April	74.2	21
	May	268.4	23
	June	54.6	26
	July	102.5	23
	August	141.1	24
	September	130.0	25
	October	68.4	26
	November	43.6	27
	December	18.2	29

Table 9 - Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 2009-2010, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul. Empty cells mean unavailable data.

Tabela 9 - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 2009-2010, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul. Células vazias significam dados não disponíveis.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
2009	January	95.3	21
	February	98.5	23
	March	55.5	24
	April	3.7	29
	May	102.4	25
	June	70.1	25
	July	71.9	28
	August	184.5	23
	September		
	October	70.0	26
	November	238.7	22
	December		
2010	January		
	February		
	March	18.3	28
	April		
	May	164.6	26
	June	124.1	27
	July	197.8	25
	August		
	September	158.3	24
	October	14.8	30
	November	58.4	28
	December	46.8	26

Table 10 - Accumulated monthly values of rainfall and number of days without rain per month, during 2011-2012, in Paurá Lagoon region. Compiled with data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul.

Tabela 10 - Valores mensais acumulados de precipitação e dias sem precipitação nos respectivos meses, período 2011-2012, na região da Lagoa do Paurá. Compilado a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Tavares-RS da Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado do Rio Grande do Sul.

Years	Month	Monthly Rainfall (mm)	Rainless Days
2011	January	99.0	28
	February	97.4	24
	March	46.4	27
	April	100.6	25
	May	67.5	28
	June	120.9	24
	July	69.2	26
	August	227.5	25
	September	76.5	26
	October	168.3	22
	November	32.8	28
	December	135.2	26
2012	January	37.6	27
	February	47.2	26
	March	53.4	28
	April	39.5	26
	May	34.1	29
	June	63.7	28
	July	128.6	29
	August	115.4	23
	September	192.3	21
	October	60.0	25
	November	24.7	27
	December	230.2	26

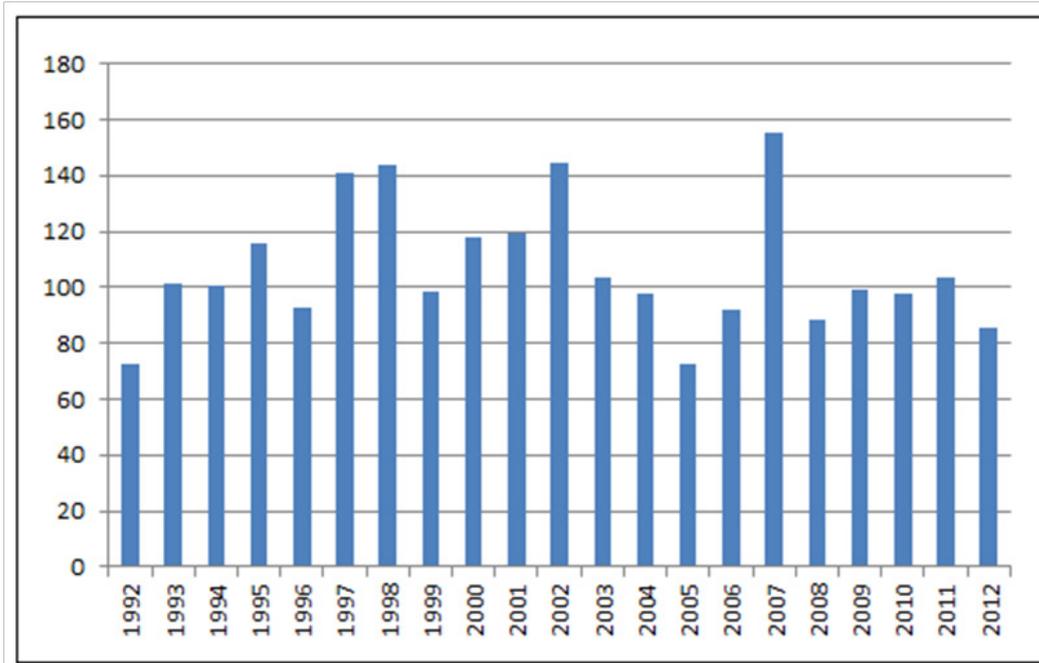


Figure 1 - Average monthly values of accumulated rain by year during the series 1992-2012, in the Paurá Lagoon region, calculations based on data from the Tavares Weather Station, Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul.

Figura 1 - Valor médio mensal de precipitação acumulada, por ano da série histórica 1992 a 2012, calculado com base nos dados da Estação Meteorológica de Tavares, da Superintendência de Portos e Hidrovias do Rio Grande do Sul.

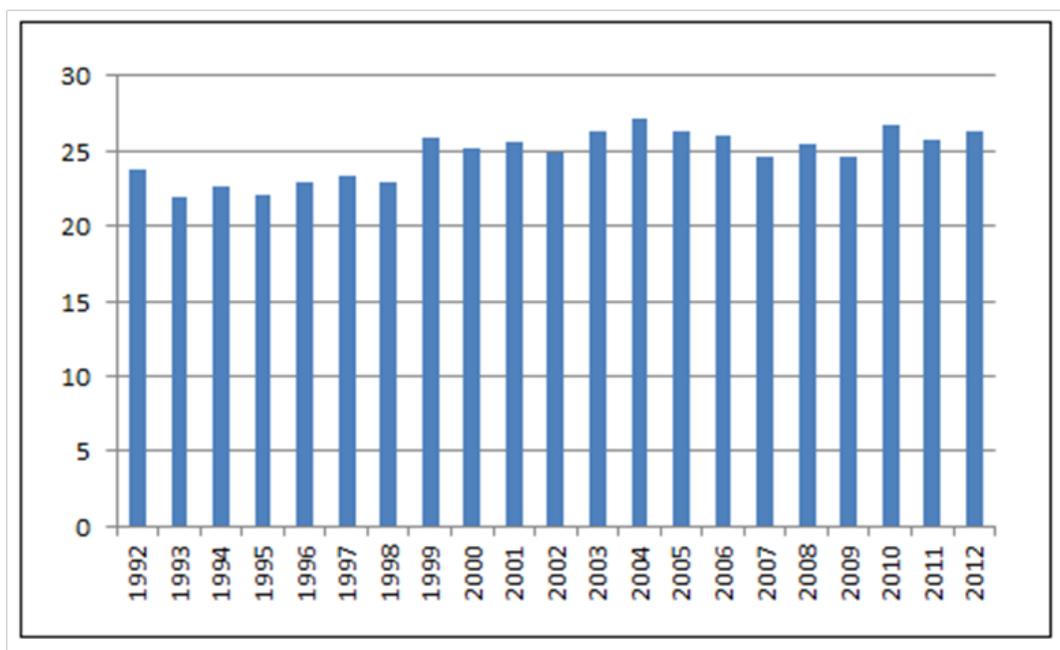


Figure 2 - Average monthly number of days without rain per year in the 1992-2012 historical series, in the region of Paurá Lagoon, calculated based on data from the Tavares Weather Station, the Superintendence of Ports and Waterways of Rio Grande do Sul.

Figura 2 - Número médio mensal de dias sem chuva, por ano da série histórica de 1992 a 2012, na região da Lagoa do Paurá, calculado com base nos dados da Estação Meteorológica de Tavares, da Superintendência de Portos e Hidrovias do Rio Grande do Sul.

SUPPORTING INFORMATION III

GRAPHICAL REPRESENTATION OF ACCUMULATED RAINFALL DATA INDICATIVE OF SATELLITE IMAGE SELECTION

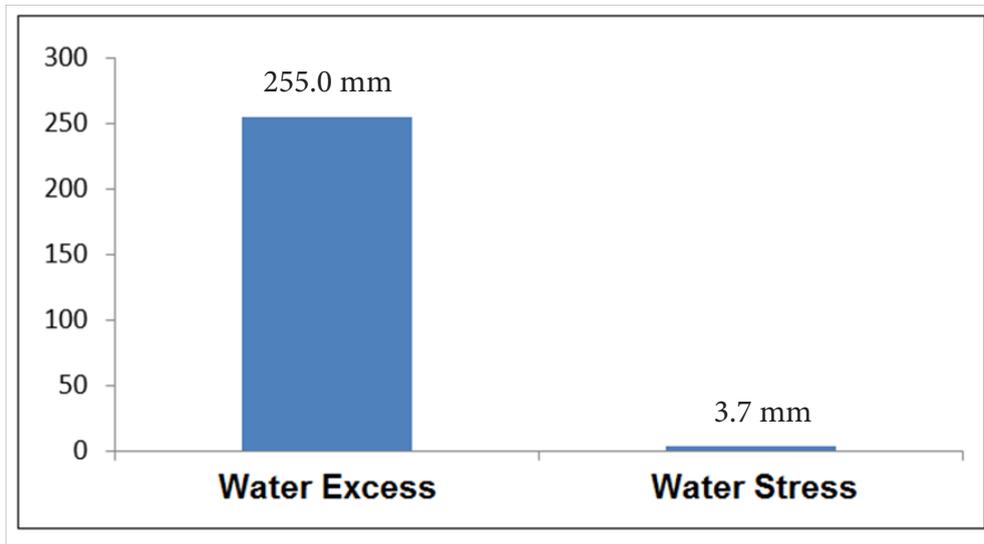


Figure 1 — Amount of rainfall precipitation accumulated in the 31 days preceding the date of imaging of the two images Landsat 5 - 09/06/1998 and 29/04/2009, selected during rain water excess and drought, respectively, of Paurá Lagoon region, São José do Norte-RS, from the 1992-2012 rainfall historical series.

Figura 1 – Valor acumulado da altura de precipitação nos 31 dias que antecederam a data de imageamento das duas imagens Landsat 5 - 06/09/1998 e 29/04/2009, selecionadas nos períodos de excesso e déficit hídrico, respectivamente, da região da Lagoa do Paurá, São José do Norte-RS, a partir de série histórica de precipitação pluviométrica de 1992-2012.

SUPPORTING INFORMATION IV

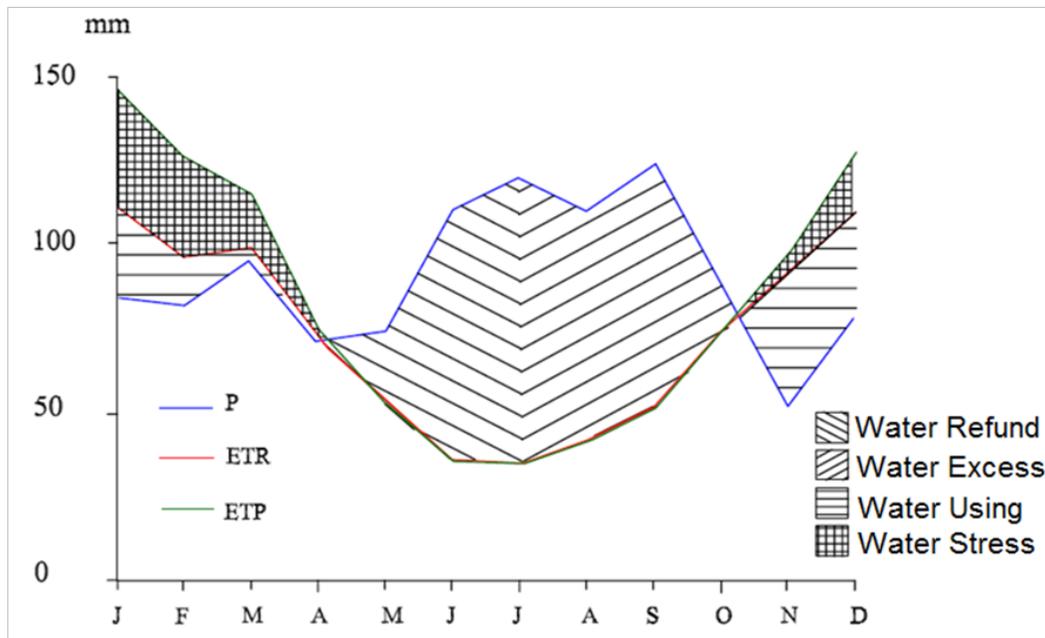


Figure 1 - Water balance of Mostardas-RS, based on 23 years, 150 mm holding capacity. P – Precipitation (Rainfall), ETR - Real Evapotranspiration, ETP - Potential Evapotranspiration. Source: Adapted from the reference study by the State Department of Coordination and Planning of Rio Grande do Sul (1978).

Figura 1 - Balanço hídrico da região de Mostardas-RS, média de 23 anos, capacidade de retenção de 150 mm. P – Precipitação (Chuva), ETR - Evapotranspiração Real e ETP - Evapotranspiração Potencial. Fonte: Adaptado do estudo referencial realizado pela Secretaria Estadual de Coordenação e Planejamento do Rio Grande do Sul (1978).

SUPPORTING INFORMATION V

GRAPHICAL REPRESENTATION OF PPA AND LAGOON SURFACE AREAS IN TWO EXTREME SEASONAL WATER AVAILABILITY CONDITIONS

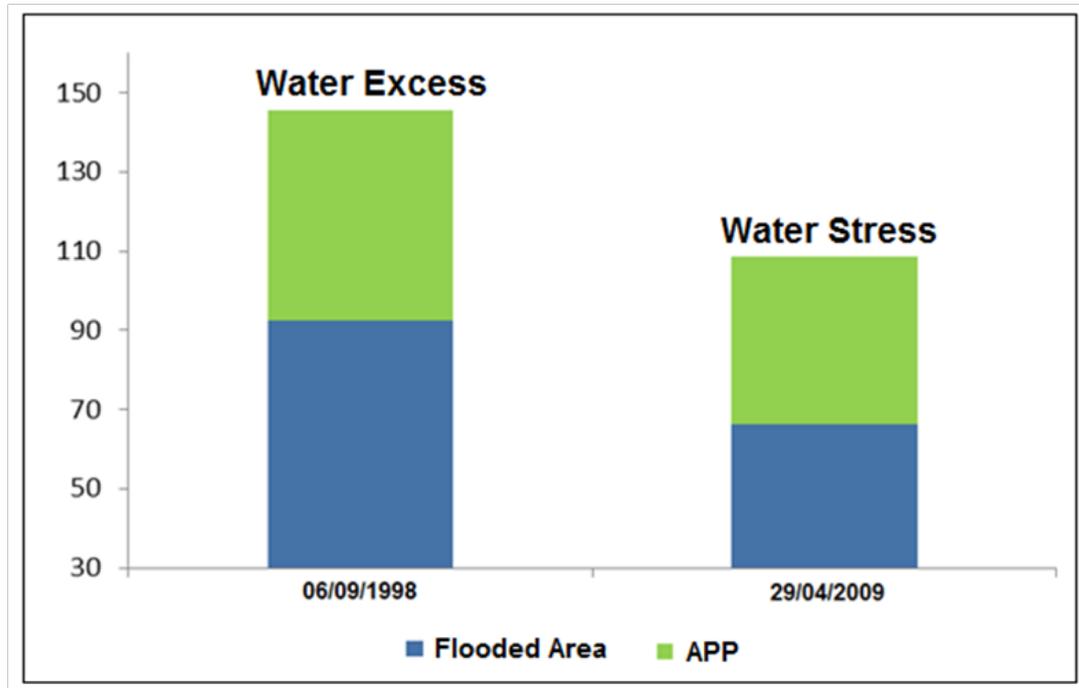


Figure 1 – Variation in the dimensions of water surface and permanent preservation (PPA) in Paurá Lagoon, São José do Norte-RS between the maximum water excess (06/09/1998) and water deficit (29/04/2009) times in the rainfall historical series from 1992 to 2012.

Figura 1 – Variação da dimensão das áreas alagadas e de preservação permanente (APP) na Lagoa do Paurá, São José do Norte-RS entre as épocas de maiores excedentes (06/09/1998) e déficits hídricos (29/04/2009) na série histórica de precipitação pluviométrica de 1992 até 2012.

GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA

Journal of Integrated Coastal Zone Management

