

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

**Dunas frontais de Xangri-Lá, litoral Norte do RS:
inventário, classificação e escolha de áreas prioritárias ao manejo**

Luiz Liberato Cavalcanti de Albuquerque Tabajara,

Nelson Luiz Sambaqui Gruber, Luana Carla Portz

Pesquisas em Geociências, 39 (1): 35-52, jan./abr., 2012.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/35812>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - jan./abr., 2012.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Dunas frontais de Xangri-Lá, litoral Norte do RS: inventário, classificação e escolha de áreas prioritárias ao manejo

Luiz Liberato Cavalcanti de Albuquerque TABAJARA¹, Nelson Luiz Sambaqui GRUBER² & Luana Carla PORTZ³

¹Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS. CEP 91.540-000. E-mail: luiztabaja@hotmail.com.

²Departamento de Geografia, Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS. CEP 91540-000. E-mail: nelson.gruber@ufrgs.br.

³Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS. CEP 91.540-000. E-mail: luanaportz@gmail.com.

Recebido em 03/2010. Aceito para publicação em 04/2012.

Versão online publicada em 01/12/2012 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - A necessidade do município de Xangri-Lá (RS) de elaborar o seu Plano de Manejo de Dunas ensejou a construção deste método para o gerenciamento costeiro ativo de setores prioritários ao manejo. Entre setembro e outubro de 2005, o estudo diagnóstico se apropriou de técnicas clássicas da morfodinâmica praial, morfologia e ecologia das dunas, complementadas com a obtenção de uma matriz de dados ambientais e de padrões urbanísticos (*checklist*) para definição de índices de vulnerabilidades (IV%). A matriz das variáveis empregadas na medição e cálculo dos IV% foi submetida à análise multivariada, resultando na classificação de cinco regiões costeiras com características similares. De um total de 40 variáveis usadas, 12 se destacaram como as mais importantes e suficientes para classificar os clusters. O risco de erosão e degradação das dunas frontais aumentou com a pressão de uso e redução das dunas frontais em razão do avanço da urbanização sobre as áreas de maior mobilidade de areia, o que poderá acentuar o panorama geológico natural de erosão atualmente existente. O inventário das dunas identificou 67 % dos perfis em erosão por processos de ondas e deflação eólica, 25 % com estabilidade e um perfil afetado pela urbanização.

Palavras-chave: vulnerabilidade de dunas, perfis morfo-ecológicos, manejo de dunas.

Abstract - THE XANGRI-LÁ FOREDUNES: INVENTORY, CLASSIFICATIONS AND CHOOSE PRIORITY AREAS FOR MANAGEMENT. The need for the municipality of Xangri-Lá (RS) to prepare your management plan of dunes resulted in this construction method for the active coastal management priority sectors. Between September and October 2005, the diagnostic study appropriated of classical techniques of beach morphodynamics, morphology and ecology of the dunes, complemented with getting an array of environmental data and urbanistic standards (*checklist*) for defining vulnerability indices (IV). The matrix of the variables employed in measurement and calculation of IV was subjected to multivariate analysis, resulting in the classification of five coastal regions with similar characteristics. A total of 40 variables used, twelve stood out as the most important and sufficient to classify the clusters. The degradation risk and erosion of the foredunes increased with pressure of use and reduction it on grounds of urban advancement on the areas of increased mobility of sand, which may accentuate the natural geological landscape of erosion. The inventory of dunes identified 67 % of profiles on erosion by wind and wave processes deflation, 25 % with stability and a profile affected by urbanization.

Keywords: foredunes vulnerability, morpho-ecological profiles, dune management.

1. Introdução

As praias do litoral norte do estado do Rio Grande do Sul são muito procuradas no verão para o lazer e o banho. A sua urbanização, no entanto, foi sempre caracterizada pela falta de planejamento, ocupação de áreas de risco e destruição ou alteração de áreas protegidas por lei (Esteves *et al.*, 2003). A ocupação dos espaços se processou por meio de loteamentos imobiliários que avançaram

sobre o sistema de dunas frontais, acarretando problemas cíclicos de manutenção das vias públicas. O excesso de demandas pontuais de retirada de areia e de uso das praias, antecedendo ao verão, ensejou a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS (FEPAM, 2000) a dar as bases normativas para os municípios elaborarem os seus planos de manejo de dunas.

Para efeito de licenciamento ambiental, o processo de planificação da costa foi dividido em

duas etapas, com diferentes objetivos e graus de detalhamento (FEPAM, 2004). A primeira etapa (Licença Prévia) deverá caracterizar as condições ambientais e de ocupação de toda a orla do município, classificar os setores da costa e estabelecer quais os setores prioritários ao manejo de dunas, decorrentes dos conflitos entre as atividades eólicas e a ocupação urbana. A segunda etapa (Licença de Instalação) é o plano de manejo propriamente dito, com o detalhamento das intervenções propostas para solucionar os problemas de erosão, drenagens pluviais e melhoria dos acessos à praia.

Além dos agentes naturais de riscos, decorrentes do cenário de subida do nível dos oceanos e aumento na frequência e magnitude das tempestades (Scor Working Group, 1991), os frágeis ambientes costeiros requerem práticas de gerenciamento, a fim de minimizar os conflitos de uso existentes na ocupação do espaço. A duna frontal é um elemento formador da paisagem e de atenuação dos embates das ondas e marés altas durante as tempestades, mas pouco se sabe sobre a sua capacidade de suportar os impactos exercidos tanto por processos naturais como antrópicos.

O objetivo principal deste trabalho é consolidar o método para a elaboração do diagnóstico e classificação dos setores da costa, assim como eleger áreas prioritárias para eventual intervenção, disponibilizando aos gestores municipais uma ferramenta simples e econômica para facilitar a tomada de decisão. Deste modo, procura-se atender a demanda dos municípios do nosso litoral por planos de manejo de dunas, tendo como base o termo de referência da FEPAM para a emissão de licença prévia (LP) e licença de instalação (LI).

2. Área, materiais e métodos

O diagnóstico é uma etapa antecedente ao planejamento de toda a orla do município que utiliza critérios de análise ambiental e de ocupação do espaço, visando a sua divisão em setores (FEPAM, 2004). A identificação dos conflitos entre a urbanização e os campos arenosos facilita a escolha das técnicas de manejo e de controle do uso do espaço, a fim de solucionar os problemas de erosão e degradação da orla.

O litoral do município de Xangri-Lá faz parte da porção nordeste do litoral norte do Rio Grande do Sul (Fig. 1), e está inserido no sistema deposicional Barreira-Laguna IV, formado durante

o estágio final da transgressão marinha pós-glacial (Dillenburg *et al.*, 2000; Hesp *et al.*, 2005). Na borda leste desta barreira situam-se as praias oceânicas atuais, nas quais, para o interior, desenvolvem-se extensos campos de dunas.

As praias presentes nesta região são de micro-marés, dominadas por ondas e constituídas por sedimentos arenosos unimodais de tamanho fino, com amplo predomínio da composição quartzosa (95%) (Martins, 1967). De acordo com as sequências morfodinâmicas descritas na literatura (Wright & Short, 1984), as praias de areia fina do litoral norte do Rio Grande do Sul variam entre intermediárias a dissipativas, (Tomazelli & Villwock, 1992; Toldo Jr. *et al.*, 1993; Weschenfelder *et al.*, 1997).

Os campos de dunas transgressivas do município de Xangri-Lá apresentam características transicionais entre os campos de Capão Novo, ao Norte, e o de Atlântida Sul, descritos por Martinho *et al.* (2010). Na porção sul do município, inicia o alargamento do campo de dunas, concomitante com o incremento da velocidade dos ventos e o decaimento das precipitações, em consequência da ausência da escarpa da Serra do Mar adjacente à costa (Tomazelli, 1993; Martinho *et al.*, 2010). Atualmente, o município está em processo de conurbação por aglomerado urbano contínuo de condomínios horizontais.

A costa está sujeita à influência da rosa-de-areia representativa do potencial de transporte eólico de areia da estação meteorológica de Imbé (Tomazelli, 1993; Martinho *et al.*, 2010). Nesta região, o vento nordeste predomina durante os períodos secos, enquanto os ventos SW e S usualmente chegam junto com chuvas associadas ao deslocamento do sistema frontal para o norte, com a deriva resultante dos ventos para SW (Tomazelli, 1993). Sob este regime de vento, antes da intensa ocupação do espaço, as dunas transversas e barcanas migravam oblíquas à linha de costa (12°) na direção SW (Martinho *et al.*, 2010).

No sentido de reconhecer as formas e os processos naturais e antrópicos atuantes ao longo da costa, o esforço de aquisição dos dados abordou duas técnicas de estudo: 1) amostragens de perfis transversais à praia, com a finalidade de obter os estados morfodinâmicos das praias e as condições morfo-ecológicas das dunas frontais; 2) aplicação do método de *checklist* (lista de controle de vulnerabilidade) para a medição dos índices de vulnera-

bilidade do sistema de dunas frontais do município de Xangri-Lá, RS. O *checklist* é um procedimento para o delineamento do problema no qual as principais características são listadas, taxadas e avaliadas com respeito à vulnerabilidade e a proteção das dunas (Williams *et al.*, 1993).

O conjunto das informações agrega características ambientais e do uso e ocupação do espaço, permitindo a setorização da costa. Os setores prioritários ao manejo de dunas são aqueles que perfazem os maiores índices de vulnerabilidade, tendo, como causa de degradação ambiental, agentes naturais e humanos (Fig. 2).

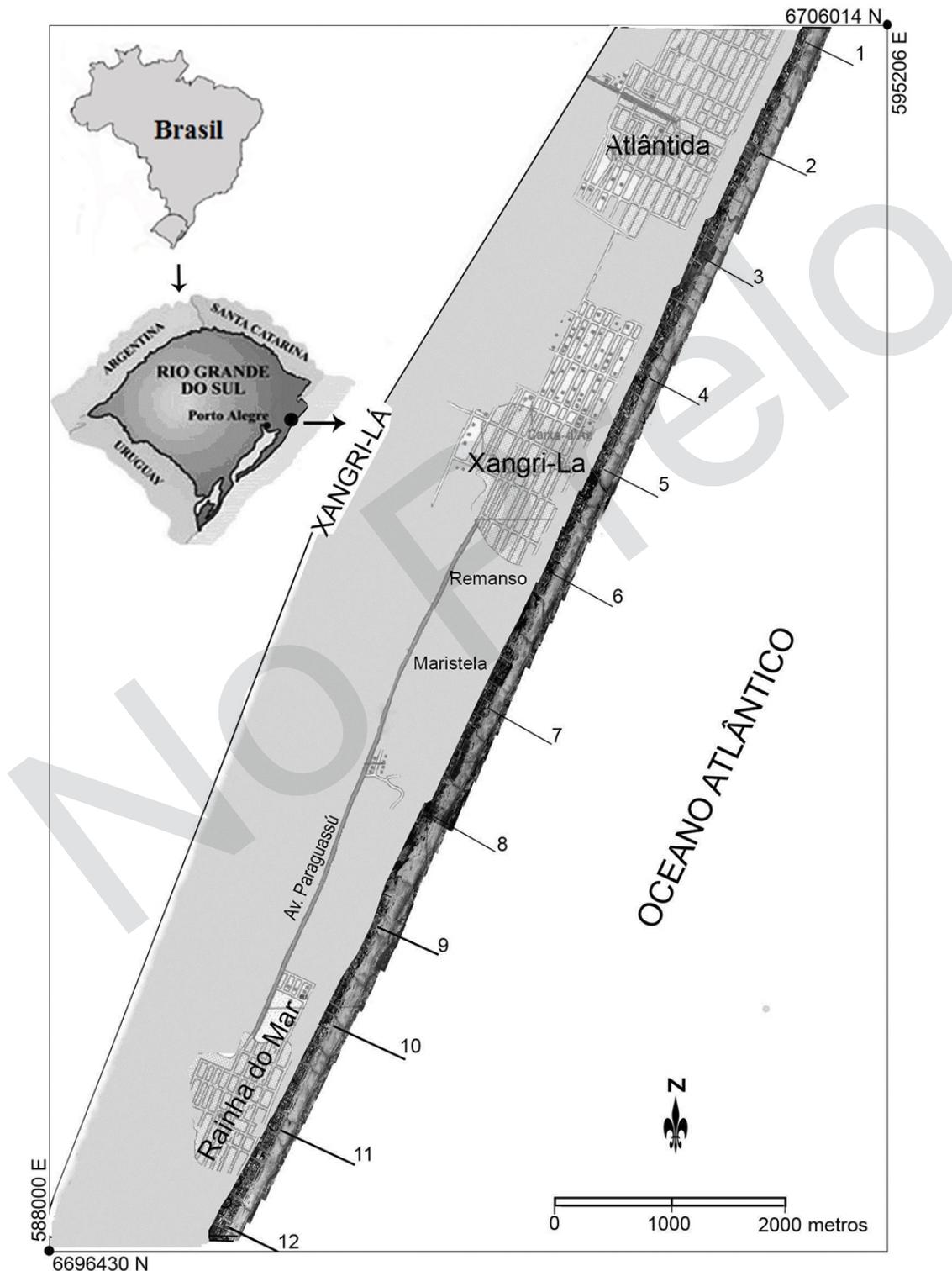


Figura 1. Mapa de localização do município de Xangri-Lá, no litoral norte do Rio Grande do Sul, englobando as praias de Rainha do Mar, Xangri-Lá e Atlântida. Junto à linha de costa, são apresentados os mosaicos fotográficos contendo os trechos da costa e os 12 perfis de praia analisados no estudo diagnóstico.

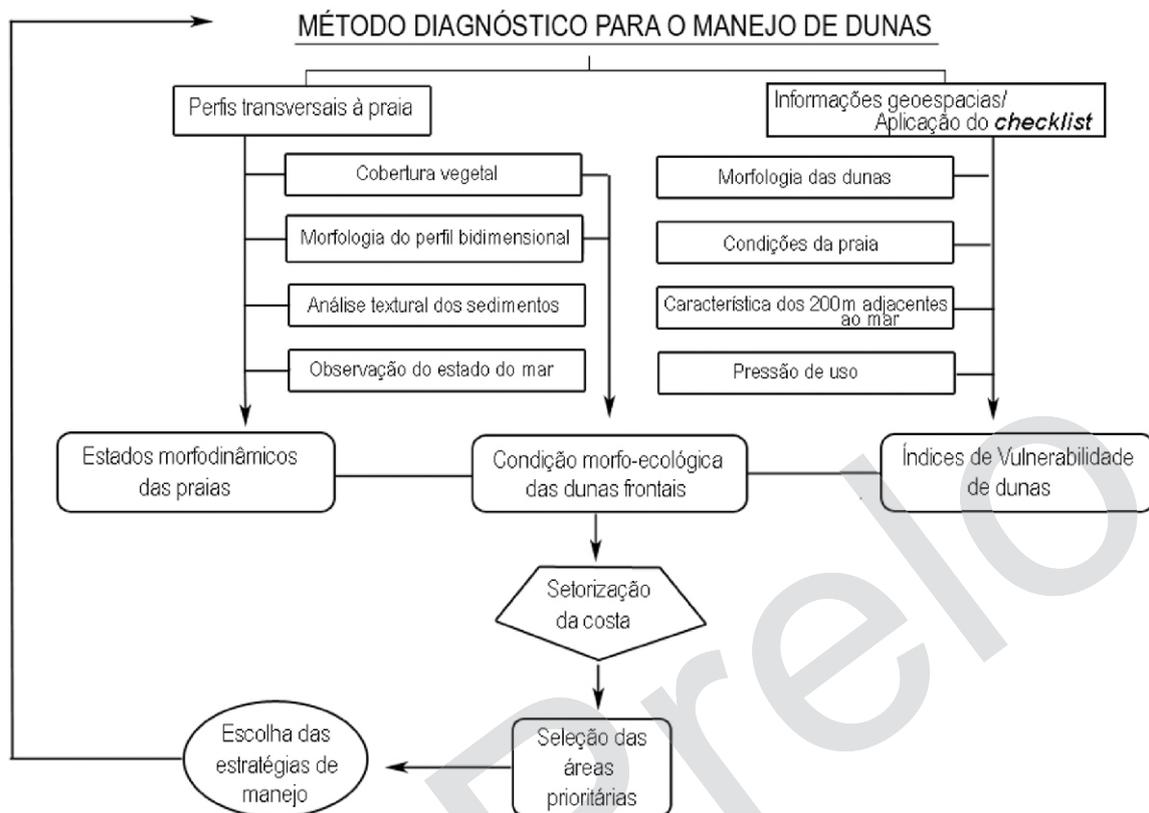


Figura 2. Fluxograma para o diagnóstico, classificação e seleção de áreas prioritárias ao manejo de dunas no litoral de Xangri-Lá usando critérios de vulnerabilidade, morfodinâmica de praia e morfo-ecologia de dunas.

2.1. Perfis transversais à praia

Em setembro de 2005, o grupo de monitoramento da dinâmica costeira do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO/IGEO/UFRGS) realizou 12 nivelamentos geométricos, equidistantes 1 km, ao longo do litoral do município de Xangri-Lá (Fig. 1). O uso do método clássico de estudo da dinâmica praial (Birkemeier, 1985), por meio de perfis topográficos transversais à praia, permitiu agregar à pesquisa da morfodinâmica praial a condição morfo-ecológica das dunas (Fig. 2). O referencial de nível vertical (RN) de cada perfil de praia foi materializado por meio de marcos situados na região do pós-duna, em direção ao continente, para que todos os perfis levantados numa mesma posição pudessem ser superpostos, para efeitos de comparação. Deste modo, a variação espaço-temporal da cobertura vegetal (cobertura percentual/ m²) relativa aos perfis de praia pode ser acompanhada, segundo as condições climáticas, marinhas e eólicas (Santos *et al.*, 1995; Borges *et al.*, 2007; Portz, 2008).

Um aspecto fundamental para a classificação das dunas frontais foi a utilização do modelo evolutivo de Hesp (1988), segundo cinco estágios morfo-ecológicos: Estágio 1 - duna estável a progradante, bem vegetada (90-100%) e com o declive da face marinha suave; Estágio 2 - duna estável, bem vegetada mas com pequenas superfícies sem vegetação; Estágio 3 - dunas com topografias onduladas (*hummocky*), contendo pequenas brechas sem vegetação, conectadas a corredores de deflação pequenos a moderados; Estágio 4 - aumento da variabilidade topográfica e superfícies de deflação sem cobertura vegetal; Estágio 5 - erosão dos cordões em larga escala, permanecendo apenas nódulos remanescentes, bacia de deflação e lençóis de areia móveis. Importante também foi considerar os conceitos de Arens & Wiersma (1994) na classificação e evolução de dunas frontais de acordo com o estado em longo período da barreira, que pode ser aplicado a costas progradantes, estáveis ou em erosão.

Numa primeira aproximação, a forma da duna e o grau de cobertura vegetal ao longo do per-

fil de praia foram as variáveis utilizadas no inventário das dunas frontais, as quais, por interagirem com a praia, proporcionam indicações geoambientais do comportamento da linha de costa (Short & Hesp, 1982; EuroSION Project, 2004; Souza *et al.*, 2005).

De acordo com o seu desenvolvimento, as dunas frontais foram separadas em quatro categorias principais: E (duna em erosão); A (duna em acreção); S (duna estável); M (duna manejada). As morfologias erosivas apresentam normalmente duas cristas de dunas, separadas por um corredor de deflação eólica, resultado das interações dos ventos incidentes oblíquos à praia, através de restrições e brechas pré-existentes na duna frontal. A inclinação da face marinha da duna frontal é elevada (acima de 30%) ou escarpada por ondas de tempestades, contendo baixa ou nenhuma cobertura vegetal. Numa situação de colapso do sistema eólico ocorrem muitas brechas e descontinuidades laterais do cordão de dunas. Uma duna com morfologia estável e bem vegetada apresenta a inclinação da face marinha suave ($\leq 20\%$) e levemente convexa, resultando em maior estabilidade frente aos fortes ventos. A presença de dunas incipientes no pós-praia caracteriza a duna em acreção, que além de proteger a base da duna estabilizada, indica a recuperação ou progradação do sistema em direção ao mar.

Morfologias erosivas compartilham espaço com morfologias deposicionais dentro de um ciclo dinâmico (Carter *et al.*, 1990) cujo balanço vai tender para um lado ou para outro na dependência do estado da zona de surfe e praia, suprimento de sedimentos e tendência da costa em progradar, erodir ou estabilizar em um longo período de tempo (Hesp, 1999).

2.2. Medição dos índices de vulnerabilidade

O recobrimento aerofotográfico vertical (35 mm) é uma ferramenta auxiliar no estudo do ambiente praiado e da vulnerabilidade das dunas (Zomer, 1997; Zomer *et al.*, 1997). As fotografias aéreas de Pequeno Formato (FAPEFs) das praias de Xangri-Lá foram levantadas em sobrevôo, datado de março de 1998 (Escala 1:1.800). O tratamento das imagens foi realizado a partir da construção de três mosaicos fotográficos digitais (Xangri-Lá Norte: XN; Xangri-Lá Sul: XS; e Rainha do Mar: RM), georreferenciados e os dados geográficos manipulados a partir do *software Trackmaker Pro* e *Arcgis®*. As

condições das dunas foram avaliadas a cada 250 m lineares de costa (distância horizontal aproximada entre cada estereopar), usando técnicas de geoprocessamento e fotointerpretação, complementadas por investigações de campo.

A vulnerabilidade de dunas é definida como um conjunto de condições que induzem a duna à erosão e a degradação do ecossistema (Davies *et al.*, 1995). Vários fatores podem produzir esta situação, por exemplo, subida do nível do mar, aumento da frequência e magnitude das tempestades, balanço negativo de sedimentos e atividades humanas.

A lista de controle de vulnerabilidade (Apêndice 1) foi estruturada de modo a permitir considerações sistemáticas dos principais parâmetros que resumem as condições das dunas. O método consiste em atribuir pontuação de 0 a 4 aos vários parâmetros de cada uma das seguintes categorias: A (Morfologia das dunas), com 9 parâmetros; B (Condições da praia) com 9 parâmetros, C (Característica dos 200 m adjacentes ao mar), com 12 parâmetros; e D (Pressão de uso), com 10 parâmetros.

O Índice de Vulnerabilidade (IV) de um determinado setor da praia varia na proporção direta da fragilidade do sistema, sendo expresso como a porcentagem do escore total encontrado no *checklist*, para as categorias A até D, em relação ao máximo escore. A régua de cálculo, em detalhe, usada para a obtenção do índice de vulnerabilidade poderá ser encontrada no trabalho de Tabajara *et al.* (2005). A maioria das variáveis envolvidas na taxação dos índices de vulnerabilidade das dunas de Xangri-Lá é original do *checklist* proposto por Davies *et al.* (1995). No entanto, muito dos valores quantitativos aplicados às variáveis foram adaptados às condições existentes nas praias do litoral Norte do RS, bem como alguns parâmetros novos foram introduzidos a partir de tentativas anteriores de classificar a costa, a saber: segundo o impacto humano na pós-praia e campo de dunas (Zomer, 1997; Esteves *et al.*, 2003); geoindicadores de erosão costeira (Souza & Suguio, 2003); taxas de retrogradação/progradação da linha de costa (Toldo *et al.*, 1999); efetividade de transporte eólico (Willians *et al.*, 1994). Além disso, foi utilizada a classificação morfo-ecológica de dunas frontais de Hesp (1988).

Após a construção de uma matriz definida pelo escore dos parâmetros em função dos 42 trechos costeiros (unidades amostrais de 250 m lineares), as variáveis foram normalizadas entre 0 a 4 e aplicada a análise multivariada com auxílio do pa-

cote estatístico PAST (Hammer *et al.*, 2001). Dal Cin & Simeoni (1994) também classificaram a costa em grupos de unidades amostrais homogêneas em relação às variáveis tratadas estatisticamente, que depois foram ordenadas segundo os níveis de vulnerabilidade. Os setores prioritários ao manejo contêm os maiores índices de vulnerabilidade e, geralmente, se agrupam em uma única categoria estatística, por causa do comportamento similar das variáveis analisadas.

3. Resultados

3.1. Perfis transversais praia-duna

A maioria dos perfis transversais à praia apresentou os primeiros dez metros ocupados pela Avenida Beira Mar. A composição florística sobre a superfície dos terrenos arenosos se restringiu a poucas espécies pioneiras, expostas a uma constante movimentação de areia, flutuação da temperatura superficial do solo, pouca retenção de água no substrato altamente poroso e ação do borriço marinho (Pfadenhauer, 1978; Cordazzo & Seeliger, 1995). As condições ambientais limites ao crescimento das plantas nas dunas tornam-se ainda mais rigorosas em perfis afetados e reduzidos pela urbanização, em razão das tempestades de ventos e ondas marinhas, hidrodinâmica dos sangradouros e o pisoteio humano.

O inventário das dunas de Xangri-Lá (Fig. 3) identificou morfologias erosivas, contendo dois cordões de dunas separados por um corredor de vento, por onde fluxos aerodinâmicos oblíquos à costa aumentavam a sua velocidade na passagem por estreitamentos morfológicos. Seis perfis morfo-ecológicos do tipo ruptura de deflação eólica foram amostrados na área de estudo, com implicações nas estratégias de manejo. Nos perfis praia-duna 1, 5 e 6, a cobertura vegetal sobre a duna aumenta na direção da segunda crista, mais estabilizada e alta. Nos perfis praia-duna 9 e 10, a mobilidade da areia é alta na sua porção mediana (bacia de deflação alongada), não permitindo a fixação da vegetação. O perfil praia-duna 12 é composto por três cordões ou cristas de dunas, sendo o primeiro cordão desprovido de vegetação. A característica marcante da duna com ruptura de deflação é o baixo índice de

cobertura vegetal na superfície entre os cordões, quando pode expor o nível base do lençol freático, pavimentos de conchas e resíduos antrópicos.

Em setembro de 2005, alguns cordões de dunas frontais da costa de Xangri-Lá se encontravam com escarpas remanescentes das ondas de tempestade do inverno. A altura da escarpa era proporcional ao tamanho da duna frontal, na dependência do suprimento de areia da praia e da distância a sota-vento dos canais pluviais urbanos. As dunas adjacentes a sangradouros (Fig. 3D) são depósitos menores, com déficit no suprimento de areia em razão do fechamento do trânsito eólico.

Os perfis praia-duna 7 e 8 apresentaram condição de maior estabilidade (duna do tipo S) em razão da sua geometria e densidade de vegetação fixando a sua superfície. Se a face marinha suave e convexa destacava-se por colonizar as espécies mais comuns da duna (*Senecio crassiflorus*, *Panicum racemosum*, *Blutaparon portulacoides*, *Paspalum vaginatum* e *Hydrocotyles bonariensis*), a face livre, mais protegida na retaguarda da duna, fornecia condições de fixação de espécies de terrenos mais estáveis (*Ipomoea* sp., *Gamochoeta americana*, *Macroptilium heterophyllum*, *Baccharis* sp., incluindo a exótica onze horas (*Carpobrotus chilensis*).

Dunas frontais manejadas (M) foram amostradas no perfil praia-duna 3, que corresponde a extensão do Jardim do Caburé, propriedade privada lindeira a praia (Fig. 1 e 4C). O terreno original foi aplainado e coberto com grama de jardim. Posteriormente, um pequeno cordão de dunas onduladas e vegetadas com *Carpobrotus chilensis* se desenvolveu na direção do mar (Fig. 3C). Cordazzo *et al.* (2006) aconselham o controle da dispersão desta planta, por causar uma significativa perturbação ecológica em todos os ambientes em que se estabelece, com diversos prejuízos ecológicos a flora e a fauna.

Dunas frontais em progradação não foram amostradas no campo. Diferenciam-se pela presença de dunas incipientes mais ou menos coalescidas ao pé das dunas mais antigas. As dunas incipientes ou embrionárias podem apresentar formas lenticulares, rampas ou terraços (Hesp, 2002), e são colonizadas por agrupamentos vegetais capazes de resistirem às inundações marinhas, tais como *Blutaparon portulacoides*, *Paspalum vaginatum* e *Spartina ciliata*.

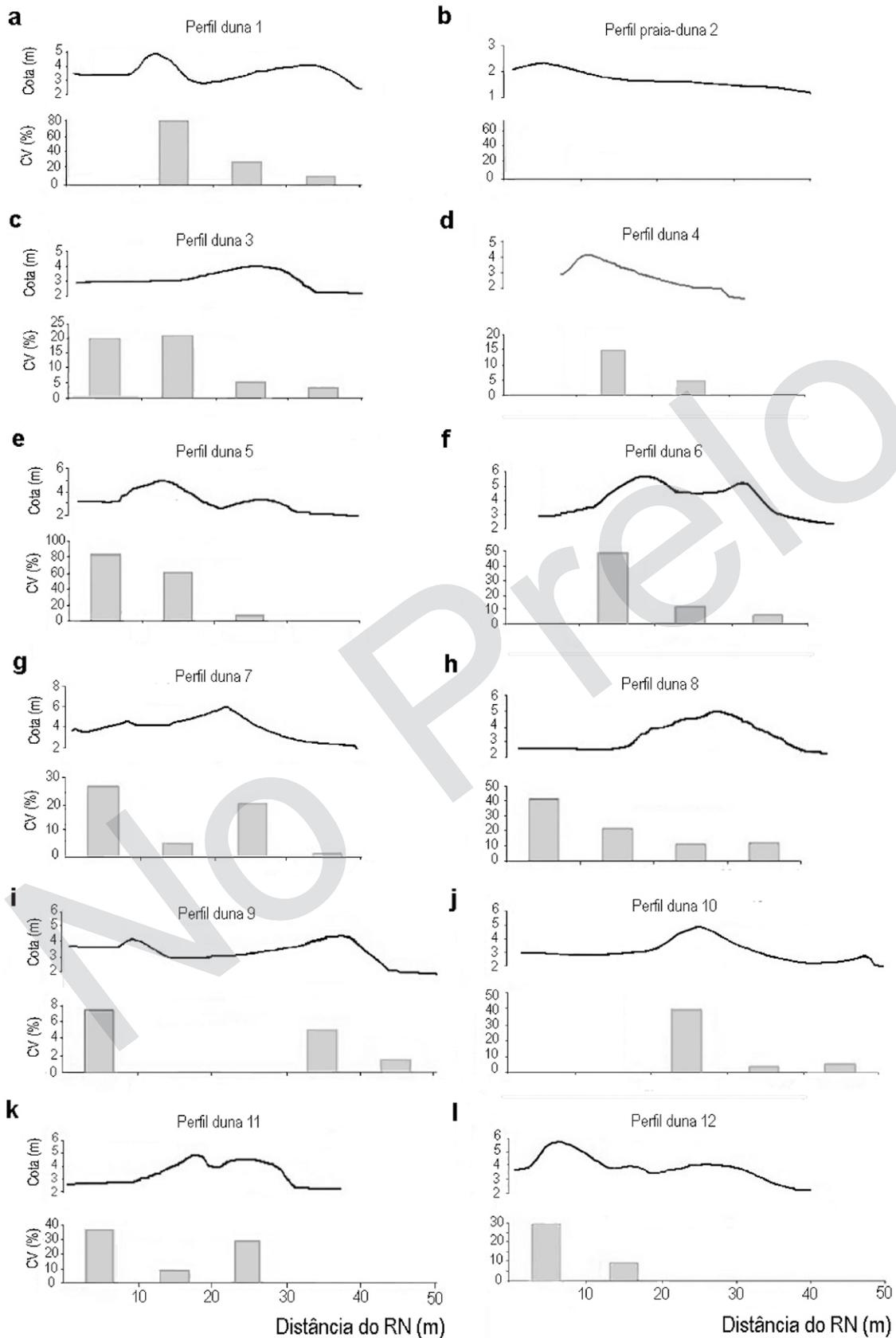


Figura 3. Inventário dos perfis praia - duna no litoral de Xangri-Lá, em setembro de 2007: nivelamento geométrico (curva no topo) e cobertura vegetal percentual (CV %, histograma abaixo). Os perfis transversais se estendem para o mar (à direita) a partir dos referenciais de níveis ou marcos instalados na região do pós-duna (continente).

3.2. Uso do checklist na medição dos índices de vulnerabilidade de dunas

Os resultados mostram uma série de trechos com alto valor de vulnerabilidade, intercalados com trechos de menor valor, indicando a presença de agrupamentos mais ou menos homogêneos separados por variações pontuais de alguns trechos (Fig. 5A). Além dos índices numéricos, os dados podem ser apresentados através de diagramas de vulnerabilidade (Fig. 5B), onde as quatro

categorias usadas para o cálculo do índice de vulnerabilidade são representadas por um dos eixos do diagrama, formando um polígono.

Variações pontuais extremas ($IV \geq 60\%$) foram observadas nas unidades amostrais XN5 e XS10, em razão dos impactos das ocupações do restaurante Bali Hai (Fig. 4B) e do condomínio horizontal Villas Resort (Fig. 4F), respectivamente. Por outro lado, áreas com vazios demográficos como os das unidades amostrais RM2 e RM3 (Fig. 4E) apresentaram índices de vulnerabilidades mais baixos.

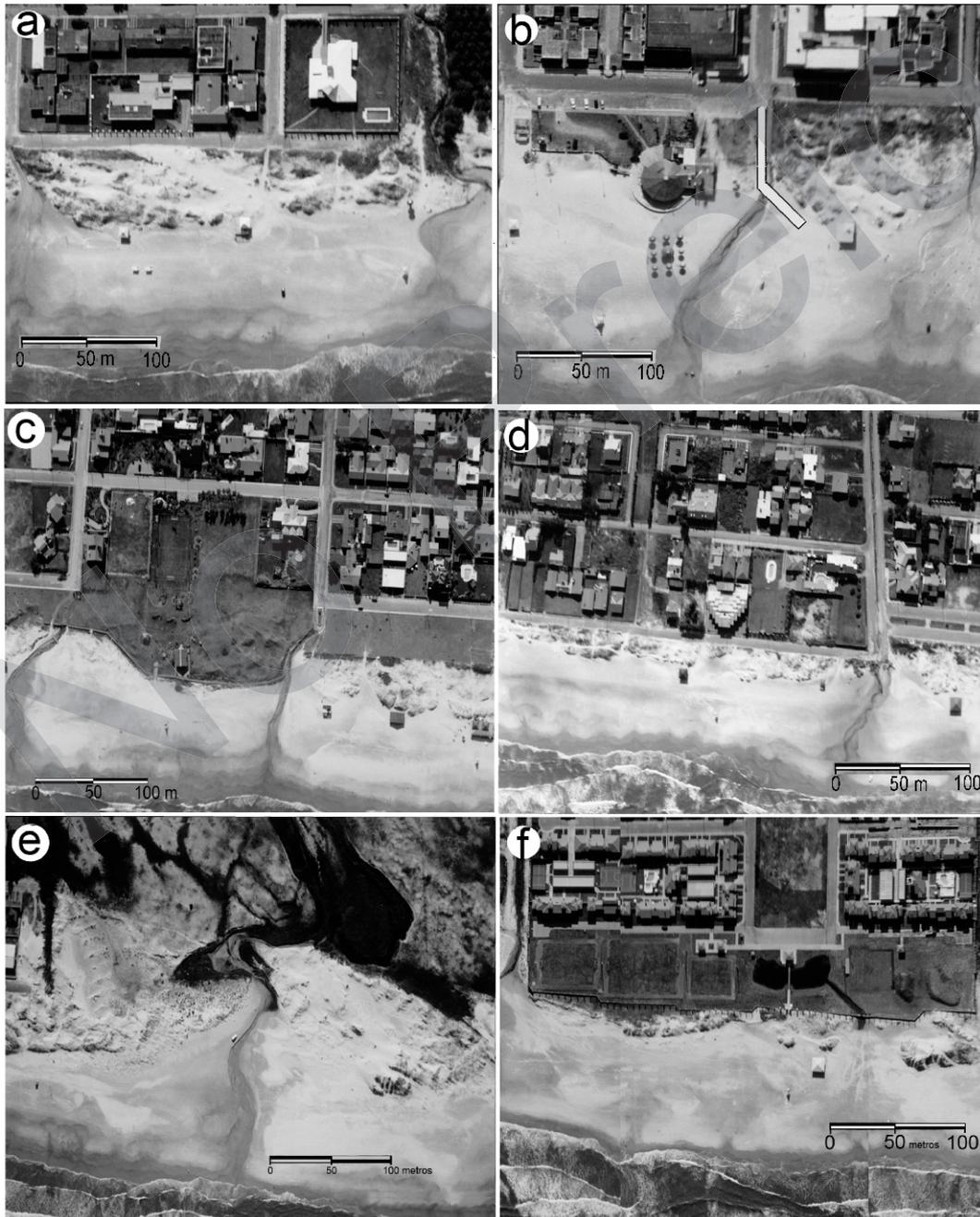


Figura 4. Imagens aéreas verticais de algumas unidades amostrais de Norte para o Sul: a) unidade XN1- limite Norte com o município de Capão da Canoa; b) unidade XN5- Restaurante Bali Hai; c) unidade XN8- Jardins do Caburé e o manejo privado das dunas; d) unidade XN11- início do setor prioritário; e) unidade RM3- área natural com sangradouro; f) unidade XS10- Condomínio Villas Resort (Data do sobrevoo: 28/03/1998; fonte: Fundação o Boticário).

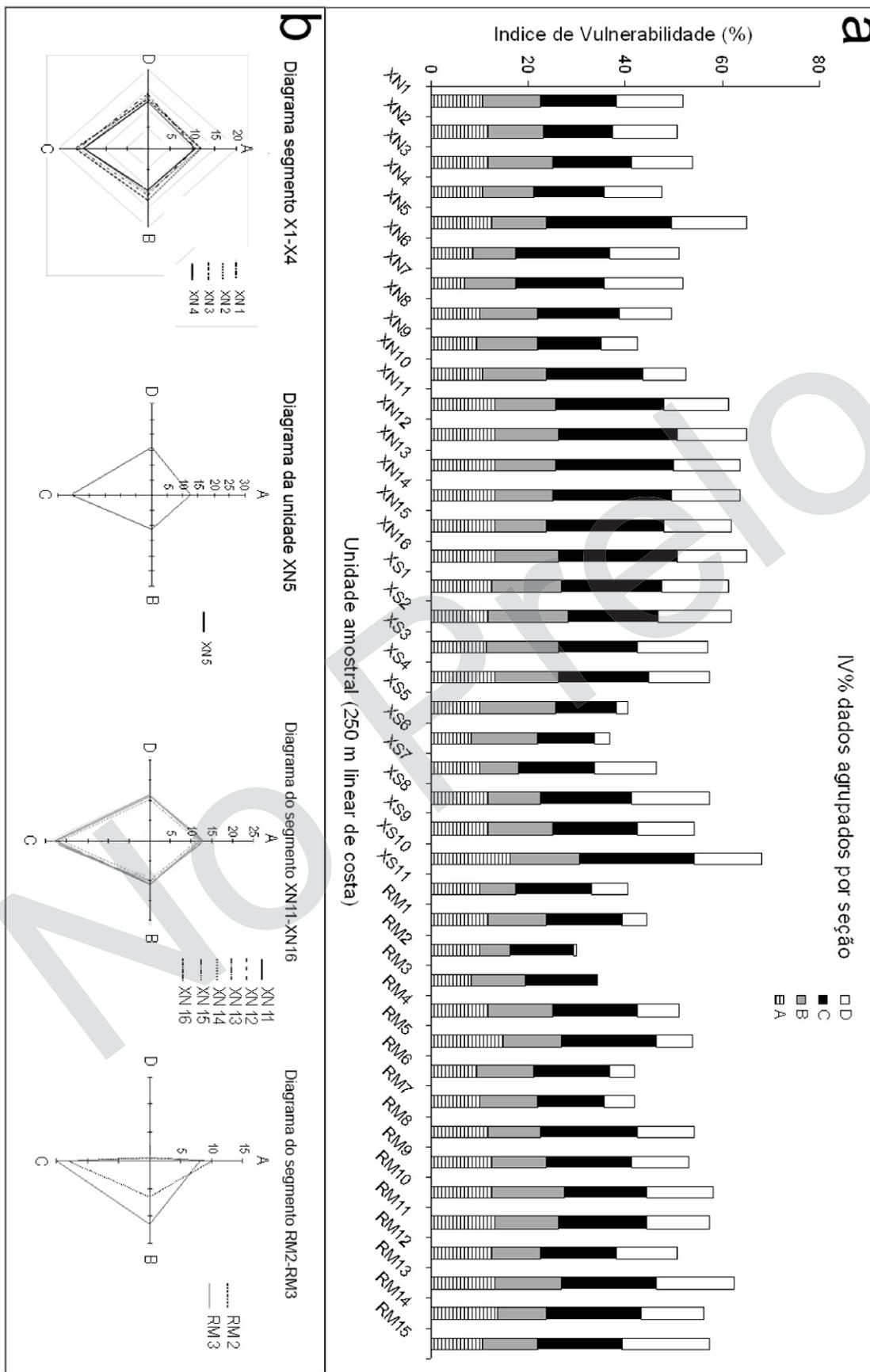


Figura 5. Variação dos índices numéricos de vulnerabilidade das dunas ao longo do litoral de Xangri-Lá (a), e diagramas característicos de alguns segmentos analisados (b).

O setor XN11 até XS1 (Fig. 5D) constituiu um grupo homogêneo e contínuo com maior índice de vulnerabilidade ($IV > 60\%$), produto de uma urbanização equivocada sobre as dunas que as reduziram a menos de 20 m de largura. Ao norte, entre o limite com o município de Capão da Canoa e a plataforma de pesca de Atlântida (XN1-XN8), verifica-se outro grupo de unidades amostrais homogêneas com IV próximo a 50% (Fig. 4A). Destaca-se também ao sul do município, o setor RM8 até RM15, onde ocorre aumento gradual do IV atribuído à piora da condição morfológica da duna e a oscilações negativas da linha de costa (Toldo Jr. *et al.*, 1999).

A posição da urbanização em relação ao mar (variável D8 do apêndice 1) tem influência direta na Área de Preservação Permanente e nos níveis de cobertura impermeável. A capacidade de estabilização das areias pela vegetação e a funcionalidade do sistema eólico aumenta quanto mais larga é a área de preservação (largura > 30 m), sendo comprometida quando parte ou toda a duna frontal é suprimida (largura < 20 m).

A preservação da faixa de 50 m de dunas nos vazios demográficos diminuiu a importância das variáveis presentes na categoria D (pressão de uso). Nesta situação, o IV se aproximou de 30%, com o valor atrelado somente às causas naturais de degradação (p.ex.: a presença ou ausência de sangradouro), atuantes em diferentes escalas espaciais e temporais (Fig. 4E).

3.3. Classificação setorial da costa e seleção de áreas prioritárias

As classes de variação dos Índices de Vulnerabilidades das dunas no litoral de Xangri-Lá são mostradas na figura 6. Em 42 casos analisados ao longo de 10.500 m de linha de costa, 19 casos (45,2% das ocorrências) apresentaram IV entre 50-59%. Equivalente à escala 3 de Hesp (1988), as dunas exibem formas onduladas, alternando áreas bem vegetadas e estáveis com outras erosivas e pobremente vegetadas.

Causas naturais de erosão em conjunto com a pressão de uso podem acelerar os processos que induzem as dunas a erosão, tornando-as pobremente vegetadas e instáveis. Quando a forma tridimensional da duna torna-se mais complexa e a cobertura vegetal fica altamente variável, ocorrem fluxos de velocidade de vento no interior da duna. Esta classe de duna (Escala 4 de Hesp, 1988) esteve

correlacionada a $IV > 60\%$ e representou 26% das ocorrências, devendo ser priorizada no planejamento das intervenções sobre a costa.

O dendrograma da figura 7 permitiu classificar e hierarquizar os trechos costeiros, segundo o comportamento das variáveis empregadas na taxação dos IV (*checklist*). Os trechos costeiros do litoral de Xangri-Lá, ao nível de correlação acima de 0,85, foram subdivididos em cinco grupos. As associações tendem a se formar entre trechos adjacentes; no entanto, existem características da linha de costa que podem apresentar fortes variações também dentro de pequenas distâncias.

O Grupo 1 (XS5, XS6, XS11, RM1, RM2, RM3, RM5, RM6 e RM7) esteve associado a vazios urbanos e áreas naturais, bem como a trechos contendo dunas largas (acima de 40 m) e sujeitas à baixa pressão de uso.

O segmento costeiro do Grupo 2 (XN11, XN12, XN13, XN14, XN15, XN16, XN17 e XS4) caracteriza um trecho contínuo de 1.600 m, cujas dunas frontais estavam reduzidas pelo avanço da urbanização (largura < 20 m) e com muitas zonas de escape de areia para a Avenida Beira Mar. Em razão dos seus altos índices de vulnerabilidade (IV variando entre 60 e 63%) foi eleito como prioritário ao manejo. As variações morfológicas das dunas eram complexas e atribuídas aos múltiplos acessos de pedestres à praia, canais pluviais urbanos e diferenças no estoque de sedimentos na praia subaérea. Brechas e rupturas de deflação permitiam o escape das areias da praia para o interior do viário, resultando em um problema cíclico de manutenção; em especial, no segmento costeiro associado ao perfil morfo-ecológico 6 em razão do aumento local no volume das dunas (Fig. 3F). Um perfil de duna adjacente a sangradouro também se incluiu neste grupo, constituída por um único cordão, escarpado e com forte retração local (Fig. 3D).

O Grupo 3 (XN1, XN2, XN3, XN4, XN5, XN6, XN7, XN8, XN9, XN10, RM8, RM9) representa um segmento de 2.250 m de dunas ao longo do Balneário de Atlântida, desde a divisa com o município de Capão da Canoa até a área prioritária ao manejo (Fig. 6). Este grupo apresentou moderada vulnerabilidade IV (entre 42 e 54%), por ter dunas com larguras ≥ 30 m e áreas relativamente bem preservadas (> 5000 m²). Apesar do intenso nível de ocupação, a urbanização no balneário é do tipo horizontal a mista. O índice de vulnerabilidade foi pressionado pelo alto percentual de brechas no sistema

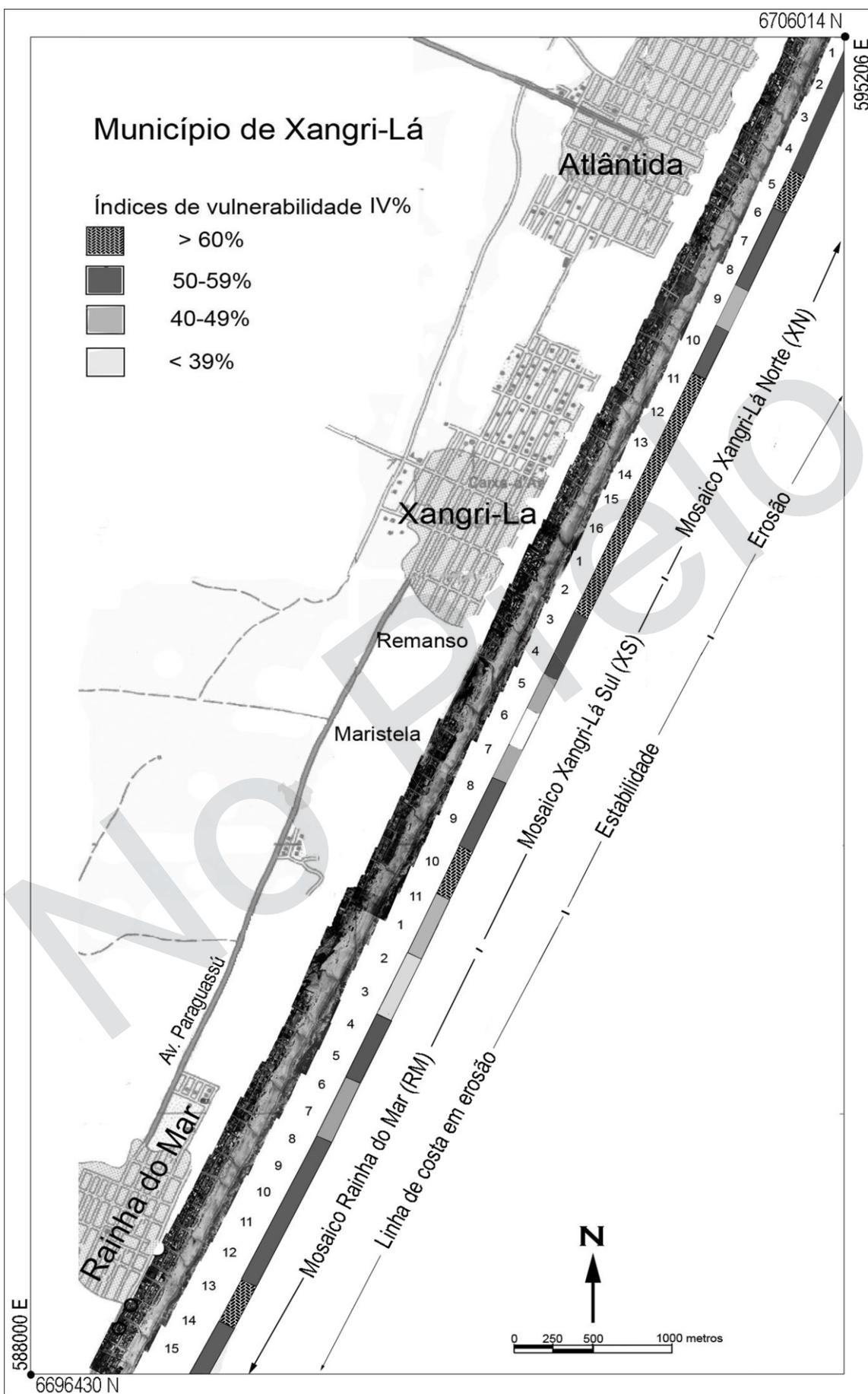


Figura 6. Mosaicos georreferenciados de Xangri-Lá Norte (XN), Xangri-Lá Sul (XS) e Rainha do Mar (RM) com as respectivas unidades amostrais, trilha de variação dos IV% e a mobilidade da linha de costa.

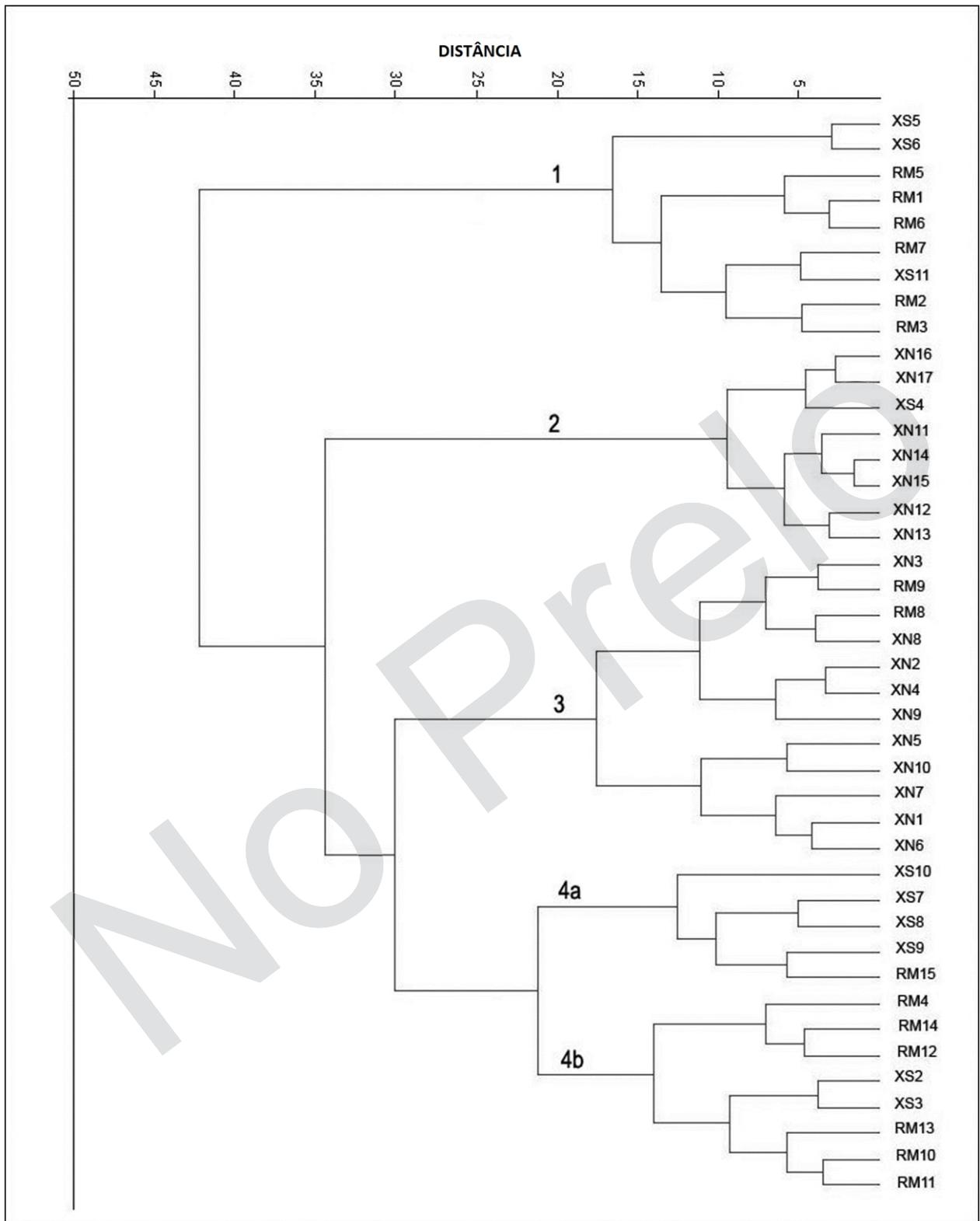


Figura 7. Resultado da análise de agrupamento por intermédio de dendrograma.

de dunas associado a corredores de areia, bem como pela quantidade elevada de trilhas incisas, degradando a cobertura vegetal. Esta condição facilitava a fuga de areia para o interior da Avenida Beira Mar, especialmente nas unidades XN1, XN3 e XN7.

O Grupo 4a (XS7, XS8, XS9, XS10, RM15) compõe um trecho contínuo com estabilidade na linha de costa, onde se inserem os perfis morfoecológicos 7 e 8, coincidentes com as dunas mais estáveis (Figs. 3G e 3H). Na unidade XS7 existiam marcas de veículos e atividades de trilhas altamente impactantes sobre o sistema, enquanto na unidade XS10, um condomínio fechado se apropriou de uma boa parte da Área de Preservação Permanente das dunas. O Grupo 4b (XS2, XS3, RM4, RM10, RM11, RM12, RM13, RM14) coincidiu com o trecho ao sul do município contendo oscilações negativas da linha de costa (Fig. 6). As dunas frontais apresentavam formas erosivas e descontínuas, com a presença de corredores de deflação eólica e lençóis de areia sem vegetação. O campo de dunas transgressivas de Atlântida Sul inicia o seu alargamento, o que pode explicar o baixo estoque de sedimentos disponível (Toldo Jr. *et al.*, 1999) devido a retenção de sedimen-

tos por processos eólicos (Souza *et al.*, 2005).

Depois de feita a separação dos cinco grupos pela análise de agrupamento, se aplicou o procedimento *stepwise* da análise discriminante com o objetivo de saber quais as variáveis que mais discriminaram. Com 90% de classificação correta, as doze (12) variáveis arroladas na tabela 1 foram as mais importantes na classificação dos grupos da orla do município de Xangri-Lá. Apesar da boa distribuição e representação de todas as categorias do *checklist*, os atributos da categoria D (pressão de uso) se destacaram como as variáveis mais importantes na classificação da costa de Xangri-Lá.

A partir do conhecimento de que as unidades amostrais, ou casos observados, pertenciam a diversos grupos procurou-se determinar quais as funções das p variáveis observadas que melhor permitiam distinguir ou discriminar entre esses grupos. A análise discriminante testou entre as possíveis combinações lineares das variáveis observadas, qual aquela em que os indivíduos de cada classe se tornavam mais homogêneos e, as diversas classes, mais heterogêneas entre si (Chambers & Hastie, 1992).

Tabela 1. Coeficientes de classificação da análise discriminante.

Categoria	Variáveis classificadas	Grupos				
		1	2	3	4a	4b
A1	Pista ortogonal	13,31	-6,42	11,59	18,43	9,78
A3	Largura da Duna	18,31	-9,72	22,83	32,36	10,56
B1	Largura do pós-praia	15,68	32,49	9,42	3,86	20,67
B3	% duna escarpada pelo mar	2,25	9,95	1,83	-7,79	7,08
B9	Índice de concavidade	9,54	20,04	5,88	-0,89	16,01
C3	Fuga de areia do sistema	7,67	11,52	2,95	7,22	6,95
C8	% de cobertura impermeável	-5,31	30,07	-10,99	-15,87	3,37
D3	Marcas de veículos sobre as dunas	5,67	-15,39	5,60	26,77	-2,86
D4	Densidade de caminhos de pedestre	-2,63	2,52	-1,17	0,06	1,90
D5	Trilhas incisas	-4,19	2,83	1,07	-4,45	0,45
D6	Estágio de urbanização	14,08	-25,50	14,25	33,46	2,37
D8	Posição da urbanização	1,89	0,05	10,35	8,96	3,98
		-77,52	129,34	-69,49	126,85	-99,28

4. Discussão e conclusão

4.1. Perfis bidimensionais praia-duna

A expressão mais simples de uma praia arenosa é o perfil da sua seção transversal (perfil bidimensional), que registra a altura, largura, decli-

vidade e volume da praia (Short, 1999). Estudos clássicos da dinâmica costeira comparam os resultados de perfis sequenciais, obtidos a partir de um mesmo referencial de nível fixo ao longo do tempo. Estas observações mostram que as feições morfológicas variam entre dois extremos (Pethick, 1984), desde um perfil inclinado e convexo (verão)

até um mais rebaixado, aplainado a côncavo (inverno). A análise comparativa das variações da linha de costa e do volume de sedimentos entre os perfis são métodos diretos para a caracterização da erosão costeira ou do balanço sedimentar em dado perfil no tempo (Souza et al., 2005).

O ajuste mútuo entre a topografia e a dinâmica dos fluídos (ondas, marés e correntes) envolvidos no transporte de sedimentos define o termo morfodinâmica (Wright & Thom, 1977). Os estudos morfodinâmicos são feitos por meio de perfis transversais à praia que inclui a caracterização morfológica da praia, análise sedimentar e a integração com as observações sobre o estado do mar, no momento do levantamento. O presente estudo verificou uma condição sinóptica do litoral de Xangri-Lá reinante no início da primavera, que geralmente exhibe estado morfodinâmico dissipativo à intermediário de alta energia (Tabajara et al., 2007).

Os perfis morfo-ecológicos das dunas integraram informações topográficas e da cobertura vegetal, e permitiram avaliar as seguintes tendências no desenvolvimento das dunas amostradas: a) 67 % dos perfis estavam em erosão por processos de ondas e deflação eólica; b) 25 % mantinham estabilidade; c) Ausência de dunas incipientes e de progradação do sistema eólico em direção à praia; d) um dos perfis da duna fora substituído pela urbanização.

Após a passagem de um ciclone extratropical no litoral Norte do RS, em setembro de 2006, o monitoramento das praias de Xangri-Lá registrou o agravamento da erosão e recuo do sistema de dunas frontais (Portz, 2008). A condição atual retrata uma costa dominada por ondas de tempestades, com os taludes marinhos das dunas apresentando escarpas remanescentes e recuo, em larga escala espacial, com diferentes fases de preenchimento e recuperação da vegetação (Cenário D do modelo de Hesp, 1999).

A cobertura vegetal ao longo dos perfis foi mais densa na face de deslizamento da segunda crista de duna, próximo à Avenida Beira Mar, ficando a face marinha da duna quase toda exposta em razão do retrabalhamento marinho e eólico. Quando o pé da duna é desprovido de vegetação, a areia eólica é transportada até as porções superiores da face marinha da duna tornando-a mais alta e esbelta (Arens, 1996).

A onda de tempestade é o agente primário

de erosão nas dunas frontais e formação da ruptura de deflação (Carter et al., 1990). Secundariamente, o incremento da erosão pelos ventos conduz a uma maior variabilidade topográfica e ao aumento da dispersão das areias para o interior do continente (Hesp, 1999). Os padrões de deposição e erosão no interior da duna são fortemente influenciados pela velocidade do vento, topografia da duna e cobertura vegetal (Arens, 1996). Todos os perfis amostrados com ruptura de deflação continham duas cristas de dunas intercaladas por uma zona rebaixada, com elevada mobilidade de areia e baixa cobertura vegetal. As brechas, situadas lateralmente ao corte do perfil, permitiam que fluxos aerodinâmicos oblíquos à praia produzissem jatos de velocidade através de estreitamentos morfológicos, lançando lençóis de areia sobre a Avenida Beira Mar.

4.2. Vulnerabilidade das dunas e classificação da orla

A abordagem metodológica proposta permite identificar rapidamente quais são as zonas mais vulneráveis do sistema de dunas frontais que, por conseguinte, exigem medidas urgentes de proteção (Matias et al., 1996). O *checklist* é um sistema rápido de avaliação tanto na dimensão temporal como espacial (Willians & Bennett, 1996). O método pode ser alimentado por novos parâmetros ou eliminar parâmetros redundantes e introduzir novas avaliações quantitativas, buscando sempre a melhor aproximação da condição da duna. Somente os sucessivos trabalhos e a discussão permanente da acuracidade do método, como retrato da realidade do sistema de dunas, poderão melhor configurar as estratégias de manejo de dunas.

A vulnerabilidade das dunas frontais de Xangri-Lá mostrou a presença de agrupamentos mais ou menos homogêneos separados por variações pontuais de alguns trechos. A classificação dos setores da costa identificou cinco grandes agrupamentos, ao nível de correlação acima de 0,85, representados por segmentos costeiros com características similares quanto ao comportamento das variáveis analisadas, facilitando a proposição das soluções de manejo. Entre as áreas prioritárias para iniciar o Programa de Manejo destaca-se o Grupo 2, setor XN11-XN17. Trata-se de um grupo homogêneo e contínuo com elevados índices de vulnerabilidade ($IV > 60\%$), decorrente de uma urbanização equivocada que avançou sobre as dunas.

Para um total de 40 variáveis listadas, a análise discriminante selecionou doze necessárias para a formação dos grupos feitos a partir do *cluster* (Fig. 7), de modo a abrigar trechos costeiros mais homogêneos e grupos mais heterogêneos entre si. As variáveis selecionadas na tabela 1 afetam o nível de sensibilidade das dunas à erosão e estão bem representadas em todas as seções do *checklist*; no entanto, a categoria pressão de uso teve o maior número de ocorrências (5), seguida da categoria condições de praia, com três ocorrências.

Em estudo similar feito por Zomer (1997) para o litoral Norte do RS, a pressão de uso humana foi o principal condicionador das características morfológicas da faixa de dunas em áreas com a ocupação consolidada. Impactos sobre a cobertura vegetal, avaliados pelas variáveis marcas de veículos sobre as dunas (variável D3 do apêndice 1), densidade de caminhos de pedestre (D4) e trilhas incisas (D5), tiveram importância realçada na definição das classes da orla de Xangri-Lá. O estágio de urbanização da orla (D6) é do tipo horizontal padrão (assentamento de casas residenciais em lotes), mas também ocorre urbanização mista no Balneário de Atlântida que contrasta com vazios urbanos do Balneário Remanso. Já a posição da urbanização (D8) ao longo do perfil da praia, determinou o comportamento da variável largura da duna (A3) e do percentual de cobertura impermeável (C8), com sinergia nas taxas de vulnerabilidade.

As condições da praia (categoria B) envolvem processos naturais e antrópicos, e estão bem representadas pelos índices de concavidade (B9), percentual de dunas escarpadas pelo mar (B3) e largura da pós-praia (B1). Em praias com erosão induzida pelo homem, a vulnerabilidade pode ser medida pela configuração do perfil praiado (Marcomini & López, 1997). Com o incremento da urbanização em direção ao mar até reduzir a largura da pós-praia, o perfil torna-se mais retilíneo a côncavo e sem bermas na face da praia, devido a processos de reflexão das ondas de tempestade sobre os muros de contenção ou de outra estrutura rígida (Tabajara *et al.*, 2005).

O estudo da mobilidade da linha de costa de Xangri-Lá (Toldo Jr. *et al.*, 1999) indica que mais de 77% da orla está em recuo, com exceção de parcela do trecho central (Mosaico Xangri-Lá Sul), relativamente estável. Portanto, o planejamento urbano equivocado que permitiu a ocupação das áreas de maior mobilidade de areia, poderá acentuar o pano-

rama geológico natural de erosão de alguns setores da costa (Fig. 6).

Na prática, o manejo de dunas é frequentemente ligado ao manejo de praia (Bird, 1996) e, conforme Soil Conservation Service (1990) baseia-se nas seguintes estratégias: 1) a conservação do sistema de dunas existentes concedendo uma zona tampão entre as propriedades privadas e as áreas ativas de praia; 2) recuperação das dunas com distúrbios; 3) controle das atividades recreativas. O grupo de estudo (Gruber *et al.*, 2008) apontou aos gestores do município de Xangri-Lá as seguintes técnicas de manejo para resolver os problemas de erosão de todo a orla: controle dos corredores de areia através da instalação de cercas de contenção, espalhamento de cobertura morta, plantio de capim de praia, redimensionamento dos sangradouros, bem como a melhoria dos acessos à praia, campanhas de sinalização e educação ambiental.

Agradecimentos - Ao CNPq por ter disponibilizado a Bolsa de Recém Doutor para trabalhar no Projeto RECOS/Instituto do Milênio junto ao CECO/IG/UFRGS, a Fundação o Boticário de Proteção à Natureza por financiar o levantamento aerofotográfico, a Jandyra Fachel, do Instituto de Matemática/UFRGS pelo apoio no tratamento estatístico dos dados e aos consultores pelas sugestões de melhoria do manuscrito.

Referências

- Arens, S.M. 1996. Patterns of sand transport on vegetated foredunes. *Geomorphology*, 17: 339-350.
- Arens, S.M. & Wiersma, J. 1994. The Dutch Foredunes: Inventory and Classification. *Journal of Coastal Research*, 10(1): 189-202.
- Bird, E.C.F. 1996. *Beach Management*. Chichester, John Wiley, 281p.
- Birkemeier, W.A. 1985. Field data on the seaward limit of profile change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 111: 598-602.
- Borges, C.L.L., Tabajara, L.L. & Gruber, N.S. 2007. Variação Espaço-Temporal da Morfologia e Cobertura Vegetal das Dunas Frontais no Litoral Norte do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 12., 2007, Florianópolis. *Anais...*, Florianópolis, AOCEANO. 1 CD-ROM.
- Carter, R.W.G., Hesp, P. & Nordstrom, K.F. 1990. Erosional landforms in coastal dunes. In: Nordstrom, K.F., Psuty, N.P., Carter, R.W. (Eds.) *Coastal Dunes: form and process*. Chichester, John Wiley, p. 217-250.

- Chambers, J.M. & Hastie, T.J. 1992. *Statistic Models in S*. London, Chapman & Hall/CRC, 608p.
- Cordazzo, C.V. & Seeliger, U. 1995. *Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil*. Rio Grande, Editora da FURG, 275p.
- Cordazzo, C.V., Paiva, J.B. & Seeliger, U. 2006. *Guia ilustrado das plantas das dunas da costa sudoeste Atlântica*. Pelotas, USEB, 107 p.
- Dal Cin, R. & Simeoni, U. 1994. A Model for Determining the Classification, Vulnerabilidade and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research*, 10(1): 18-29.
- Davies, P., Willians, A. T. & Curr, R.H.F. 1995. Decision making in dune management: theory and practice. *Journal of Coastal Conservation*, 1: 87-96.
- Dillenburg, S.R., Roy, P.S., Conwell, P.C. & Tomazelli, L.J. 2000. Influence of Antecedent Topography on Coastal Evolution as Tested by the Shoreface Translations-Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research*, 16(1): 71-81.
- Esteves, L.S., Silva, A.R.P, Arejano, T.B., Pivel, M.A.G. & Vranjac, M.P. 2003. Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 35: 548-556.
- Euroasion Project. 2004. *Living with coastal erosion in Europe: Sand and Space for Sustainability*. Barcelona, European Commission, 30p. Disponível em: <http://www.euroasion.org/reports-online/part4.pdf>. Acesso em: 30 set 2011.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul, 2000. *Diretrizes Ambientais para o Desenvolvimento dos Municípios do Litoral Norte*. Porto Alegre, 96p.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul, 2004. *Documento Normativo para a elaboração de Planos de Manejo de Dunas*. Porto Alegre, 2p.
- Gruber, N.S., Tabajara, L.L., Souza, R.R. & Correa, I.C.S. 2008. *Plano de Manejo das Dunas do Município de Xangri-Lá - RS*. Porto Alegre, CECO-UFRGS, 36p.
- Hammer, O., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 1-9.
- Hesp, P.A. 1988. Morphology, dynamics and internal stratification of some established fore dunes in southeast Australia. *Sedimentary Geology*, 55: 17-41.
- Hesp, P.A. 1999. The Beach Backshore and Beyond. In: Short, A.D.(Ed.). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Londres, John Wiley, p. 145-169.
- Hesp, P.A. 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48:245-268.
- Hesp, P.A., Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Gruber, N.S., Toldo, E.E., Tabajara, L.L., Clerot, L.C.P. 2005. Beach ridges, foredunes or transgressive dune field? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 77(3): 493-508.
- Marcomini, S.C. & López, R.A. 1997. Beach Profile Vulnerability. In: BORDOMER- COSTAL ENVIRONMENTS MANAGEMENT AND CONSERVATION, 1., 1997, Bordeaux. Actes..., Bordeaux, Aquitaine et Ifremer; v. 2, p. 220-231.
- Matias, A., Dias, J.A., Williams, A.T. & Ferreira, O. 1996. Vulnerabilidade das dunas da Ria Formosa. Lisboa, Programa ELOISE/Grupo DISEPLA, 9p.
- Martinho, C.T, Hesp, P.A. & Dillenburg, S.R. 2010. Morfológica and temporal variations of transgressive dune fields of Northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. *Geomorphology*, 117(1/2): 14-32.
- Martins, L.R. 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da planície costeira do Rio Grande do Sul. *Publicação Especial*, 13. Porto Alegre, Escola de Geologia/UFRGS, 102p.
- Pethick, J. 1984. *An Introduction to Coastal Geomorphology*. London, Arnold, 260p.
- Pfadenhauer, J. 1978. Contribuição ao conhecimento da vegetação e de sua condição de crescimento nas dunas costeiras do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Biologia*, 38(4): 827-836.
- Portz, C.L. 2008. *Contribuição para o Estudo do Manejo de Dunas: Caso das Praias de Osório e Xangri-Lá, Litoral Norte do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 128p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Santos, C.R., Castellani, T.T. & Horn Filho, N.O. 1995. "Pioneer" vegetation Dynamics at the Beach and fore Dunes in Joaquina Beach, Santa Catarina Island, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68(3): 495-508.
- Scor Working Group 1991. The response of Beaches to Sea-Level Changes: A Review of Predictive Models. *Journal of Coastal Research*, 7: 895-921.
- Short, A.D. 1999. Wave-dominated beaches. In: Short, A.D. (Ed). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Chichester, John Wiley, 377p.
- Short, A.D. & Hesp, P.A. 1982. Wave Beach and Dune Interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*, 48: 259-284.
- Soil Conservation Service. 1990. *Coastal Dune Management*.

- ment: A Manual of Coastal Dune Management and Rehabilitation Techniques.* Sydney, Soil Conservation Service of NSW, 74p.
- Souza, C.R.G. & Suguio, K. 2003. The Coastal Erosion Risk Zoning and the São Paulo State Plan for Coastal Management. *Journal of Coastal Research* 35: 530-547.
- Souza, C.R., Souza Fº, P.W.M., Esteves, L.S., Vital, H., Dillenburg, S.R., Patchineelam, S.M & Addad, J.E. 2005. Praias arenosas e erosão costeira. In: Souza, C.R (Ed.). *Quaternário do Brasil*. São Paulo, Editora Holos, p.130-152.
- Tabajara, L.L., Gruber, N.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*, 3:71-84.
- Tabajara, L.L., Dillenburg, S.R., Almeida, L.E.S.B. & Bitencourt, H. 2007. Morfodinâmica, comportamento erosivo/deposicional e Interações praia duna no litoral Norte do RS, Brasil. In CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 12., Florianópolis, 2007. *Resumos...*, Florianópolis, Associação Brasileira de Oceanografia. 1 CD-ROM.
- Toldo Jr, E.E., Dillenburg, S.R., Almeida, L.E.S.B., Tabajara, L.L., Martins, R.R. & Cunha, O.B.P. 1993. Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé-RS. *Pesquisas*, 20 (1): 27-32.
- Toldo Jr, E.E., Almeida, L.E.S., Barros, C. & Martins, L.R., 1999. Retreat of the Rio Grande do Sul Coastal Zone, Brazil. In: Martins, L.R. & Santana, C.I. (Eds.). *Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin*. Porto Alegre, Editora da UFRG, p.62-68.
- Tomazelli, L.J., 1993. O Regime de Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, 20(1): 18-26.
- Tomazelli, L.J., Villwock, J. A. 1992. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea ao longo do litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 19(1): 3-12.
- Weschenfelder, J., Zouain, R.N.A., Zomer, S.L.C. & Souto, R.P. 1997. Caracterização morfológica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS. *Notas Técnicas*, 10: 35-48.
- Willians, A.T. & Bennet, R. 1996. Dune Vulnerability and Management in England. In: Taussik & J. Mitchell (Eds.). *Partnership in Coastal Zone Management*. Cardigan, SPL, p.377-384.
- Willians, A.T., Davies, P., Curr, R.H.F., Koh, A., Bodéré, J.C.I., Hallégouet, B., Meur, C. & Yoni, C. 1993. A checklist assessment of dune vulnerability and protection in Devon and Cornwall, UK. In: COASTAL ZONE'93, 1993, New York. *Proceedings...* New York: ASCE, v. 1, p.3395-3408.
- Willians, A.T., Davies, P., Dias, J.M.A., Pereira, A.R., Garcia, M.R. & Tejada, M. 1994. A re-evaluation of dune vulnerability checklist parameters. *Gaia*, 8: 179-182.
- Wright, L.D. & Thom, B.G. 1977. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, 1:412-459.
- Wright, L.D. & Short, A.D. 1984. Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.
- Zomer, S.L.C. 1997. *Uso de Recobrimentos aerofotográficos verticais no Estudo das Alterações sobre a Faixa de Dunas Frontais do Litoral Norte do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, v.1, 133p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Zomer, S.L.C., Ayup-Zouain, R.N., Weschenfelder, J. & Lange, O. 1997. Recobrimentos aerofotográficos verticais 35 mm no estudo do ambiente praial entre Salinas e Arroio do Sal (RS). *Notas Técnicas*, 10: 49-59.

Apêndice 1. Lista de controle de vulnerabilidade de dunas para a medição dos índices de vulnerabilidade dos trechos costeiros (250 m linear de costa) do município de Xangri-Lá, RS.

Seção A – Morfologia da duna		0	1	2	3	4
1	Pista Ortogonal	longa []		média []		curta []
2	Área superficial (m ²)	>10000 []		>5000 []		<1000 []
3	Largura da duna (m)	> 50 []	> 40 []	> 30 []	>20 []	> 10 []
4	Altura máxima da duna (m)	> 5 []	> 4 []	> 3 []	> 1,5 []	< 1,5 []
5	Processo de escarpamento	baixo []		moderado []		alto []
6	Estágios Evolutivos (Hesp, 1988)	1 []	2 []	3 []	4 []	5 []
7	Tamanho das partículas na duna	=-1 []	0 []	1 []	2 []	3 []
8	Declividade na face frontal marinha	suave []		moderada []		acentuada []
9	Clima de ondas (energia)	baixo []		média []		alta []
Seção B – Condições da praia		0	1	2	3	4
1	Largura do pós praia (m)	> 100 []	> 80 []	> 60 []	> 40 []	>40 []
2	Suprimento de areia	alto []		moderado []		baixo []
3	Dunas escarpadas pelo mar	0 []	<25 []	> 25 []	<50 []	>75 []
4	Brechas na face de praia	nenhuma []		algumas []		muitas []
5	Largura das brechas na face de praia	< 2 []		2 - 10 []		> 10 []
6	Dunas embrionárias	muitas []		algumas []		pouca []
7	Pista oblíqua	> 250 []	> 200 []	> 150 []	> 100 []	<100 []
8	Orientação da linha de costa/deriva	> 30 []	> 25 []	> 20 []	> 15 []	< 15 []
9	Índice de concavidade (%)	<10 []	< 30 []	< 50 []	< 70 []	< 90 []
Seção C – Características dos 200m adjacentes ao mar		0	1	2	3	4
1	Superfície desvegetada (%)	<10 []	>10 []	>20 []	>40 []	>75 []
2	Área de blowouts dentro do sistema (%)	< 5 []	> 5 []	> 10 []	> 20 []	> 40 []
3	Fuga de areia do sistema p/ continente	pouca []		alguma []		muita []
4	Invasão de água salgada nas dunas	nenhuma []		alguma []		muita []
5	Brechas no sistema de dunas (%)	> 0 []	> 5 []	> 25 []	> 50 []	> 70 []
6	Cobertura vegetal do lado marinho (%)	> 90 []	> 60 []	> 30 []	> 10 []	< 10 []
7	Se as recentes areias depositadas foram colonizadas por <i>Blutaparon</i>	muitas []		alguma []		nenhuma []
8	Cobertura impenetrável (%)	nenhuma []		alguma []		muita []
9	Existência de vegetação exótica	nenhuma []		alguma []		muita []
10	Marcas de extração de areia	nenhuma []		pouca []		muita []
11	Oscilações da linha de costa desde 1976	prograda []		estabiliza []		retrograda []
12	Sangradouros	0 []		1 []		2 ou + []
Seção D – Pressão de uso		0	1	2	3	4
1	Pressão de usuários	0 []	>5 []	>25 []	>50 []	>75 []
2	Nº de acessos de veículos	0 []	1 []	2 []	3 []	4 []
3	Marcas de veículos sobre as dunas	nenhuma []		alguma []		muita []
4	Densidade de caminhos de pedestre	baixa []		média []		alta []
5	Trilhas incisas	1 []	2 []	3 []	4 []	5 []
6	Estágio de urbanização	nenhum []	orla rústica []	horiz. padrão []	mista []	vertical []
7	Nível de urbanização (%)	<10 []	>10 []	30 a <50 []	>50 []	>70 []
8	Posição da urbanização	sem []	terço final []	pós-duna []	frontal []	pós-praia []
9	Nº de quiosque na praia	0 []	02/jan []	5 []	8 []	10 []
10	Nº de proprietários	um []		alguns []		muitos []