



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**EVOLUÇÃO DO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVO DA MARGEM LESTE DA
LAGOA DO PEIXE, LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL, DE 1948 A 2010**

ANA RITA OLIVEIRA HAHN

**ORIENTADOR - DR. IRAN CARLOS STALLIVIERE CORRÊA
CO-ORIENTADORA – DR.^a LUANA CARLA PORTZ**

Volume I

PORTO ALEGRE, 2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**EVOLUÇÃO DO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVO DA MARGEM LESTE DA
LAGOA DO PEIXE, LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL, DE 1948 A 2010**

ANA RITA OLIVEIRA HAHN

ORIENTADOR – Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa

CO-ORIENTADORA – Prof.^a Dr.^a Luana Carla Portz

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sérgio Rebello Dillenburg – Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Javier Alcantara Carrió – Instituto Oceanográfico,
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Luiz Felipe Velho – Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Sul,
Campus Porto Alegre

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para a obtenção do
título de Mestre em Geociências

Porto Alegre, 2016

CIP - Catalogação na Publicação

HAHN, Ana Rita
EVOLUÇÃO DO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVO DA
MARGEM LESTE DA LAGOA DO PEIXE, LITORAL MÉDIO DO RIO
GRANDE DO SUL, DE 1948 A 2010 / Ana Rita HAHN. --
2016.
87 f.

Orientador: Iran Carlos Stalliviere Corrêa.
Coorientador: Luana Carla Portz.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto
Alegre, BR-RS, 2016.

1. Campo de Dunas. 2. Dinâmica Eólica. 3.
Interpretação de Imagens. 4. Precipitação. 5.
Climatologia. I. Stalliviere Corrêa, Iran Carlos,
orient. II. Portz, Luana Carla, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

“Quem nunca foi um discípulo, jamais será um Mestre.”

Mestre Dindo

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica pela disponibilização da infraestrutura necessária para o presente trabalho. Agradeço, também, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela oportunidade oferecida de cursar o mestrado com uma bolsa de estudos.

Agradeço ao meu orientador, professor Iran Carlos Stalliviere Corrêa, com o qual pude contar em todos os momentos de dúvidas e questionamentos, sendo sempre atencioso, educado e um excelente profissional. Devo agradecer, também, a co-orientação da professora Luana Portz e a grande ajuda e parceria com o Rogério.

Agradeço ao Projeto RS Biodiversidade, que disponibilizou as imagens SPOT-5, e à Marinha do Brasil e ao INMET, os quais disponibilizaram os dados climatológicos. Agradeço, com carinho, ao Denílson Viana pela ajuda fundamental com a climatologia e, principalmente, pela amizade.

Agradeço aos pesquisadores que compõem a banca, os quais aceitaram avaliar meu trabalho.

Agradeço aos professores Elírio Toldo e Sérgio Dillenburg pelas aulas tão bem ministradas e resoluções atenciosas de dúvidas. Agradeço a ilustre oportunidade de cursar a disciplina do professor Luiz Tomazelli e de participar do seu fantástico trabalho de campo, com o qual se aprende não apenas Geologia Costeira e Marinha, como também lições de carisma e de atenção aos alunos.

Agradeço ao querido mestre Gilberto, o “Giba”, pelo exemplo que passa aos seus alunos e demais colegas de trabalho. O mestre Gilberto é um exemplo não apenas de profissional e de conhecimento, como também de humildade, generosidade e de verdadeira maestria.

Agradeço aos seguintes colegas: Mastracusa, Alemão, Limara, Tulio e Scottá (meus amigos na profissão e na vida) “Mãe”ribel, Taís, Michel, Sami, Ina, Carla, Erick, Renato Leal, Há, Volney, Luidgi, Edu Martins, Suélen, Júlio, Uruguaiana, Mauro, Gabi Sampaio, Franco, Natacha, Paty e Giu. Peço desculpas por citá-los pela alcunha, mas quero ler este parágrafo de agradecimento com um sorriso nos lábios ao lembrar-se de tantos momentos divertidos (em laboratório, em campo e fora da universidade) passados com esta galera.

Agradeço à Flávia, amiga de anos, e às demais UPs Fran, Venisse e Carina pelos momentos ilustres de piadas e de conversas de profundo conteúdo. Agradeço com imenso carinho a amizade de meu querido LF, com quem pude contar em todos os momentos e por quem tenho grande admiração.

Agradeço ao Instituto Rio Branco, aos colegas de batalhas cotidianas em sala de aula e, em especial, aos meus queridos alunos (com os quais consigo força e inspiração para enfrentar as adversidades da profissão professor, sendo por eles e para eles que quero fazer ciência também). Agradeço à Manu, minha mais querida companheira nas batalhas desta profissão tão difícil e tão fascinante.

Agradeço à Desi e à Natália, minhas melhores amigas.

Agradeço à Kaká, ao Mauricio, ao Primo, ao Amílton, ao Chapolin, à Dani e a toda a galera do grupo Palmares de Sapucaia do Sul, camaradas dentro e fora da roda. Em especial, agradeço ao Pablo pelos ensinamentos e, principalmente, pela preciosa amizade.

Agradeço ao grupo Palmares, com os quais transformo minha vida com a energia das rodas, e ao Mestre Dindo, mestre da vida.

Agradeço ao Isaac, meu companheiro. Sempre.

Agradeço aos meus avós queridos, Paulo e Alzira.

Agradeço aos meus irmãos Miguel, Ana Paula, “Bolão” e Dóris, que tanto amo e me motivam. Agradeço à Maria, minha sobrinha que, mesmo tão pequena, parece entender a importância da sua existência na minha vida (assim como Miguel).

Agradeço ao meu pai, Jair, e à minha mãe, Marília. Eles são os grandes mestres da minha vida.

RESUMO

O presente estudo concerne à compreensão da evolução morfológica entre 1948 e 2010 no campo de dunas transgressivo da margem leste da lagoa do Peixe, situado no Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP), Rio Grande do Sul, Brasil, e à análise dos agentes responsáveis pelas transformações verificadas. O PNLN possui banhados, matas de restinga, lagoas de água doce e salobra e campos eólicos transgressivos, demandando proteção. A metodologia consistiu na análise de imagens aéreas, de 1948 e de 2001, e orbitais, de 2010, sendo todas manipuladas no software ArcGis®. Utilizaram-se, também, dados de precipitação de 1948 a 2010, obtidos do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC), e de vento do período entre 1958 e 2000, da Marinha do Brasil, e de 2008 a 2014, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo gerados gráficos de anomalias de chuva e de direção, frequência e velocidade do vento. Constatou-se que o campo de dunas apresentava extensas cadeias transversais e barcanoides e baixa cobertura vegetal em 1948, evoluindo para cadeias barcanoides menores, barcanas isoladas, lençóis de areia, dunas parabólicas e bacias de deflação em 2001 e em 2010, além de áreas úmidas interdunas. Verificou-se um significativo incremento da pluviosidade anual e nos meses de novembro como resultado do aumento da frequência de eventos El Niño (ENOS), promovido pela fase quente da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) de 1977 até o início do século XXI, aumentando a cobertura vegetal e as áreas úmidas na área de estudo. Observaram-se modificações no padrão de ventos na região, o qual pode estar relacionado aos fatores climáticos, às mudanças na cobertura vegetal e ao uso do solo para a silvicultura. Os fatores responsáveis pelas mudanças morfológicas no campo eólico, portanto, correspondem ao incremento das chuvas e à presença da silvicultura, que reduziu o suprimento de areia e também afetou a morfologia local.

Palavras-Chave: Campo de Dunas, Evolução Morfológica, Dinâmica Eólica, Interpretação de Imagens, Precipitação, Climatologia.

ABSTRACT

This study is about understanding the morphologic transformations occurred between 1948 and 2010 in the transgressive dunes field of Peixe lagoon's east margin, situated in the Lagoa do Peixe National Park (LPNP), in Rio Grande do Sul State, Brazil, and analyzing which agents control these transformations. The LPNP has wetlands, sandbank woods, freshwater and brackishwater lagoons and transgressive dunefields that must be protected. The methodology was analyze aerial photographs of 1948 and 2001 and SPOT-5 satellite images from 2010, and georeference them on ArcGis® software. It was found that the transgressive aeolian system showed morphologic transformations in the analyzed period, because it was identified many transversal and barchanoid ridges in 1948 which suffered reduction in current images, occurring the evolution of both into smaller barchanoid ridges, isolated barchan dunes, sand sheets, parabolic dunes, blowouts and wetlands on interdunes environments in 2001 and 2010. There was also an important increase in annual rainfall and in every November, because the El Niño events (ENOS) increased during the warm phase of the Pacific Decadal Oscillation (PDO), from 1977 to beginning of the 21th. This factor increased the vegetal covering and the wetlands on the dunes field. There were changes in the local wind pattern that can be related to climatic factors, variations in the vegetal covering and land use for silviculture. Thus, the factors that changed the morphology in the dunes field were the increasing of the rainfall and the silviculture that reduced the sand and also affected the local morphology.

Key-words: Dunes Field, Morphological Evolution, Aeolian Dynamics, Image Interpretation, Rainfall, Climatology.

SUMÁRIO

<i>Sobre a Estrutura desta Dissertação</i>	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	13
1.2 Justificativa	13
1.3 O Setor Médio da Planície Costeira do Rio Grande do Sul	14
1.3.1 Contexto Geológico e Geomorfológico	15
1.3.2 Classificação climática	25
1.4 O Sistema Depositional Eólico Transgressivo	27
1.4.1 Os Ventos e o Transporte de Sedimentos	27
1.4.2 Deposição de Sedimentos	29
1.4.3 Perfil Praia, Aerodinâmica e Dunas Costeiras	33
1.4.4 A Vegetação e as Dunas	36
1.4.5 Depósitos Eólicos	38
REFERÊNCIAS	47
2 ARTIGO SUBMETIDO: Transformações Morfológicas no Campo de Dunas Transgressivo da Margem Leste da Lagoa do Peixe, Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil	52
ANEXOS 1, 2 e 3	82

Sobre a Estrutura desta Dissertação:

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de artigos publicados em periódicos ou publicações equivalentes. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais, conforme Norma 03 do Programa de Pós Graduação em Geociências:

- A. Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvida, o estado da arte sobre o tema de pesquisa.
- B. Artigos publicados em periódicos ou submetidos a periódicos com corpo editorial permanente e revisores independentes, ou publicações equivalentes (capítulo de livro de publicação nacional ou internacional com corpo de revisores independentes), escritos pelo autor durante o desenvolvimento de seu Mestrado.
- C. Anexos, compreendendo: artigo(s) nos quais o pós-graduando é co-autor, resumo(s) e artigo(s) publicado(s) em eventos, relacionado(s) ao tema central da dissertação, bem como documentação pertinente de natureza numérica (tabelas, cálculos), gráfica (figuras, diagramas, mapas, seções) e fotográfica que, por sua dimensão e/ou natureza não pode ser incluída no(s) artigo(s).

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes de campos de dunas constituem-se como ecossistemas fundamentais para o desenvolvimento e preservação de diferentes formas de espécies animais e vegetais. Como exemplos dessas espécies, podem ser citados alguns mamíferos roedores, como o *Callomys laucha* e o *Ctenomys flamarioni*, popularmente chamado de tuco-tuco e classificado como espécie endêmica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRGs) (MARQUES *et. al.*, 2002).

Outras espécies animais podem ser citadas, como a coruja buraqueira (*Speotyto cunicularia*), o gambá (*Conephatus chinga*), o tatu (*Dasypus hybridus*), o sapo das dunas (*Bufo arenarum*), a jararaca das dunas (*Lystrophis dorbignyi*) e o maçarico de colar (*Charadrius collaris*), entre outras (NÚCLEO DE EDUCAÇÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL/NEMA, 2008). Apesar do ambiente de dunas apresentar condições que dificultam sua ocupação por muitas espécies animais, como a alta exposição ao vento e suscetibilidade dos depósitos arenosos à ação eólica, entre outras, essas espécies citadas formam a singular biota desse ecossistema.

De acordo com Seeliger *et. al.* (2004), como exemplos de espécies vegetais, há o *Cakile marítima*, o *Blutaparon portulacoides*, a margarida das dunas (*Senecium crassiflorus*), o capim das dunas (*Panicum recemosum*), o capim salgado (*Spartina ciliata*) e a grama da praia (*Paspalum vaginatum*). Mesmo que o sistema de dunas costeiras seja um ambiente hostil para o crescimento de muitas espécies de plantas em função do vento, instabilidade da areia, salinidade, deficiência de nutrientes, temperatura e estresse hídrico (CORDAZZO *et. al.*, 2006), as espécies vegetais supracitadas colonizam o ambiente de dunas e contribuem para sua fixação e conservação.

Diante dessas características singulares, o sistema de dunas costeiras é considerado patrimônio público e Área de Proteção Permanente devido não apenas a esse valor ecossistêmico, como também em função de sua importância para a proteção contra a ação de ondas e ressacas das áreas adjacentes a ele, como banhados, campos, corpos d'água e zonas urbanas (PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO/PNGC, 1988). Os depósitos eólicos costeiros também contribuem para a manutenção da linha de costa, proteção do lençol

freático contra a salinização e armazenamento de água doce, possuindo significativa importância paisagística, científica, cultural e ecológica (CHRISTOPHERSON, 2012).

Em face de todas as características acima descritas, elaborou-se o presente estudo sobre um depósito eólico transgressivo do setor médio da PCRGS, o qual possui um fator singular que potencializa a importância desse estudo: a área situa-se na margem leste da lagoa do Peixe, principal corpo lagunar do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP). Segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação do Ministério do Meio Ambiente (2000), a categoria de UC denominada Parque Nacional corresponde à UC que *“possibilita uma maior interação entre o visitante e a natureza, pois permite o desenvolvimento de atividades recreativas, educativas e de interpretação ambiental, além de permitir a realização de pesquisas científicas”*.

Logo, a categoria Parque Nacional corresponde a uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, na qual é permitido o uso apenas indireto de seus recursos naturais, como a educação ambiental e a pesquisa científica. Dessa maneira, o uso do solo nessas áreas torna-se muito restrito, objetivando uma maior conservação do ambiente natural.

Entretanto, mesmo havendo restrições de uso do solo no PNLN por ser uma UC de Proteção Integral, onde é permitido apenas o uso indireto dos recursos oriundos do meio natural, observam-se atividades que põem em risco sua preservação, como a caça e pesca predatória, a pecuária e a silvicultura. O cultivo e a disseminação da espécie exótica *Pinus* sp. não apenas sobre as dunas da área de estudo, como também em grande parte da área abrangida pelo parque, impacta agressivamente o ambiente.

Além dos impactos provocados pelo agente antropogênico, o meio natural no qual se insere o ecossistema de dunas costeiras apresenta-se suscetível a fatores de natureza climática (PINHEIRO *et. al.*, 2013). Por exemplo, alterações no padrão de ventos e no regime de precipitação atuante sobre um campo eólico irão influenciar na geomorfologia e na morfodinâmica desse ambiente (MARTINHO, 2008).

Diante da relevância dos estudos sobre os ambientes de dunas costeiras e do cenário no qual se encontra a área de estudo, ou seja, inserida em um parque nacional que demanda a conservação do meio natural, a presente pesquisa é desenvolvida. Dessa maneira, busca-se contribuir para futuras formas de

planejamento mais sustentáveis e que provoquem um menor impacto ao ambiente natural das dunas através do maior conhecimento sobre sua evolução e dinâmica.

1.1 Objetivos Gerais e Específicos

O presente estudo objetiva verificar as transformações morfológicas ocorridas no campo de dunas transgressivo da margem leste da lagoa do Peixe, principal corpo lagunar do PNLP, entre 1948 e 2010. A partir disso, pretende-se relacionar as transformações observadas com dados históricos de precipitação pluvial e de vento, de maneira que se possa inferir sobre possíveis mudanças no regime de chuvas e de ventos atuantes na área de estudo.

A partir desses objetivos gerais, são delineados os seguintes objetivos específicos:

- Verificar as transformações na morfologia do campo de dunas a partir da interpretação e análise de fotografias aéreas de 1948 e de 2001 e de imagens de satélite de 2010;
- Relacionar as transformações morfológicas da área de estudo com possíveis mudanças nos padrões de precipitação e de vento, a partir da análise de dados climatológicos correspondentes à área de estudo.

1.2 Justificativa e Importância

A complexidade dos ambientes deposicionais eólicos costeiros é observada na biodiversidade singular existente neles, havendo inúmeras espécies animais e vegetais que habitam esses sistemas e resistem às condições naturais adversas atuantes neles. Além dessa função ecossistêmica dos ambientes de dunas, deve ser citado, também, seu papel de barreira natural que protege as áreas adjacentes às dunas da ação das ressacas e seu papel cênico.

A categoria de patrimônio público e de Área de Proteção Permanente (PNGC, 1988) confere aos sistemas eólicos costeiros um caráter que demanda medidas de proteção contundentes, ainda mais quando esses sistemas eólicos encontram-se inseridos em Unidades de Conservação. A área de estudo está situada em uma UC de Proteção Integral (PNLP), na qual formas de uso do solo impactantes ao meio

natural são verificadas, aumentando a relevância da realização de estudos que objetivem seu maior conhecimento e, conseqüentemente, sua conservação.

1.3 O Setor Médio da Planície Costeira do Rio Grande do Sul

A área de estudo da presente pesquisa situa-se no setor médio da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRGs), mais precisamente no PNLP, localizado entre os municípios de Tavares e Mostardas. O PNLP está situado nas coordenadas 31° 00' 46" a 31° 29' 00" de latitude sul e 50° 46' 31" a 51° 09' 51" de longitude oeste, conforme é ilustrado na figura 1.

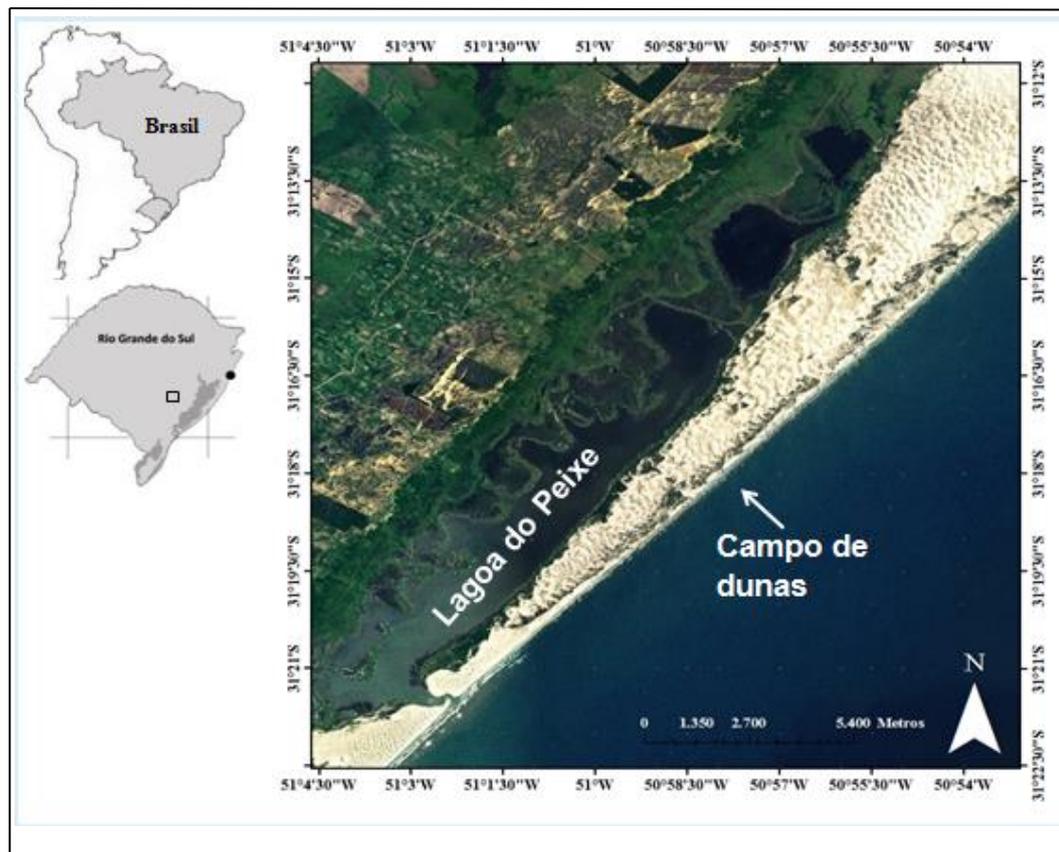


Figura 1: Localização da Área de Estudo, situada no setor médio da PCRGS. Elaborado por Luana Portz.

Serão apresentadas as características evolutivas da PCRGS, físicas e de uso do solo do Litoral Médio do Rio Grande do Sul e da Unidade de Conservação referente ao PNL, onde o campo de dunas transgressivo analisado está localizado.

1.3.1 Contexto Geológico e Geomorfológico

A extensa costa do Rio Grande do Sul possui três setores delimitados (Litoral Norte, Médio e Sul), com uma orientação uniforme NE-SW e um baixo grau de sinuosidade, a qual consiste em depósitos quaternários resultantes da morfodinâmica local das praias. Esses depósitos inconsolidados não recebem contribuições de areias modernas, visto que a carga de tração transportada pelos rios é retida nas lagoas existentes na PCRGS (TOLDO *et. al.*, 2006).

O setor médio da PCRGS é delimitado pelo município de Cidreira ao norte e pela desembocadura da Laguna dos Patos, em Rio Grande, ao sul. Diferentemente

do Litoral Norte, o Litoral Médio do RS não recebe milhares de veranistas durante o verão, embora também os receba sazonalmente em volume considerável e sofra, também, com as alterações no ambiente local advindas dessa migração sazonal da população.

O arcabouço teórico que envolve os estudos da PCRGS apresenta contribuições como as de Morris (1963), Delaney (1965), Martins (1967), Soliani Jr. (1973), Villwock (1984), Tomazelli (1990), Tomazelli e Villwock (1991), Tomazelli (1993), Dillenburg *et. al.* (2000) e Dillenburg e Hesp (2009), entre outros pesquisadores que também enriqueceram esse âmbito de estudo. A caracterização desta região como Planície Costeira foi trabalhada por Carraro *et. al.* (1974), o qual dividiu o Rio Grande do Sul em quatro províncias geomorfológicas: o Planalto, a Depressão Periférica, o Escudo Sul-Riograndense e a Planície Costeira, possuindo esta última 33000 km² e 615 km de extensão.

Posteriormente, o estudo realizado por Villwock (1984) classificou a denominada Província Costeira do Rio Grande do Sul como pertencente às Terras Baixas, as quais recebem sedimentos clásticos terrígenos que são erodidos e transportados das denominadas Terras Altas. Nesta classificação, o autor compartimentou-a em Planície Aluvial Interna, Barreira das Lombas, Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, Barreira Múltipla Complexa e Sistema Lagunar Patos-Mirim, que são diferentemente configuradas por meio de suas distintas dinâmicas face aos processos terrestres naturais e estão representadas na figura 2.

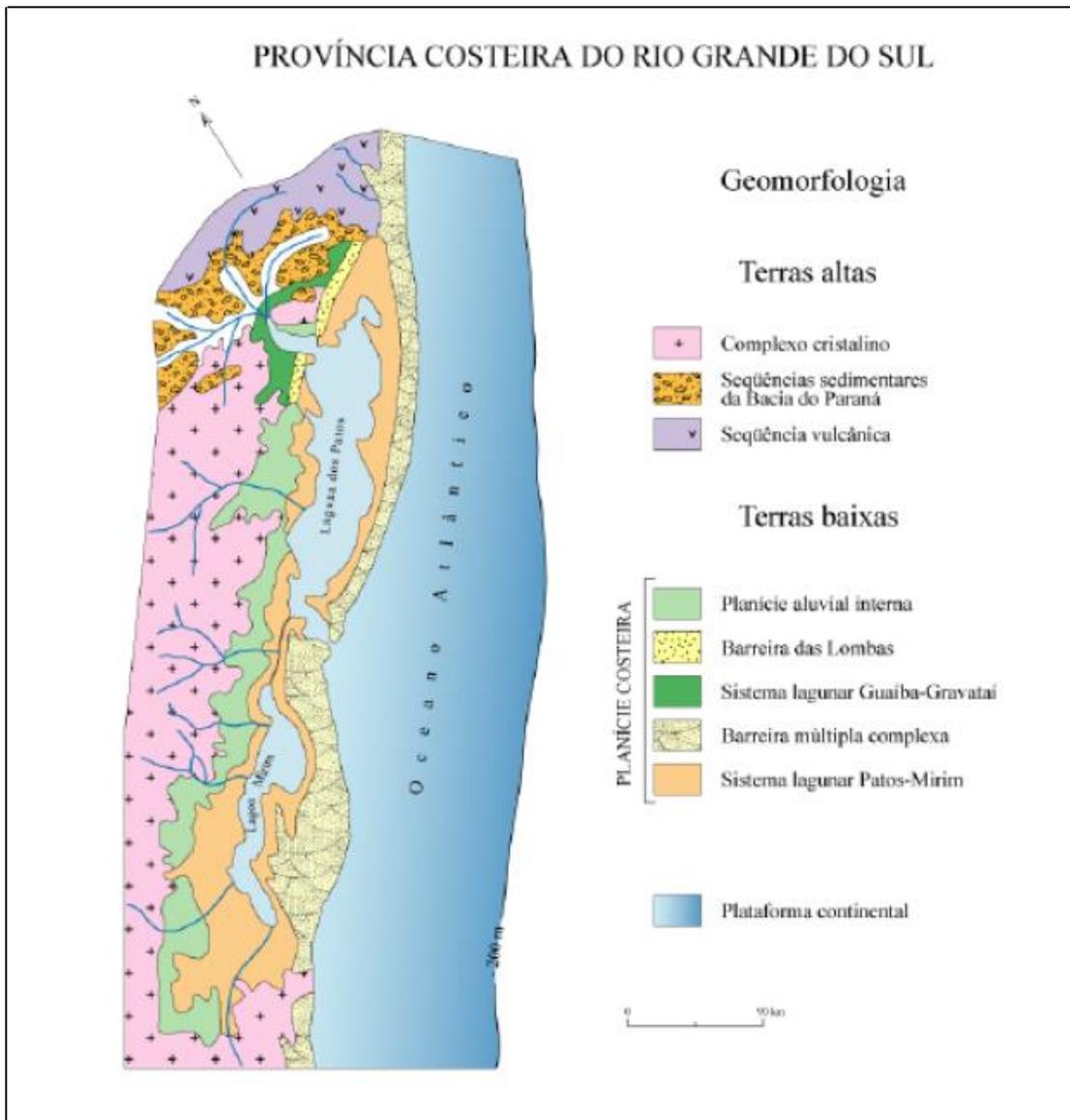


Figura 2: Divisão da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Fonte: VILLWOCK, 1984.

A paisagem da PCRGS foi esculpida no decorrer da era Cenozóica, na qual ocorreram alternâncias cíclicas de períodos frios e quentes que produziram estágios glaciais e interglaciais (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995), descritos pelos Ciclos de Milankovitch. Essas alternâncias provocaram transgressões e regressões marinhas que retrabalharam os sedimentos costeiros, formando sistemas deposicionais que caracterizam a geomorfologia da PCRGS.

Os sistemas deposicionais formados com os avanços e recuos da linha de costa durante o Cenozóico, os quais estão ilustrados na figura 3, são: o Sistema de Leques Aluviais, desenvolvidos a partir das rochas graníticas do Escudo Pré-Cambriano e vulcânicas da Serra Geral, e os sistemas do tipo “Laguna-Barreira”,

sendo esses gerados no decorrer dos últimos 400 mil anos a partir de quatro ciclos de transgressão e regressão do nível do mar. Os subsistemas correspondentes às barreiras referem-se ao pico no qual chegou o nível do mar durante determinado evento de transgressão marinha, enquanto que os subsistemas correspondentes às planícies lagunares concernem aos terrenos de retrobarreira (*backbarrier*).

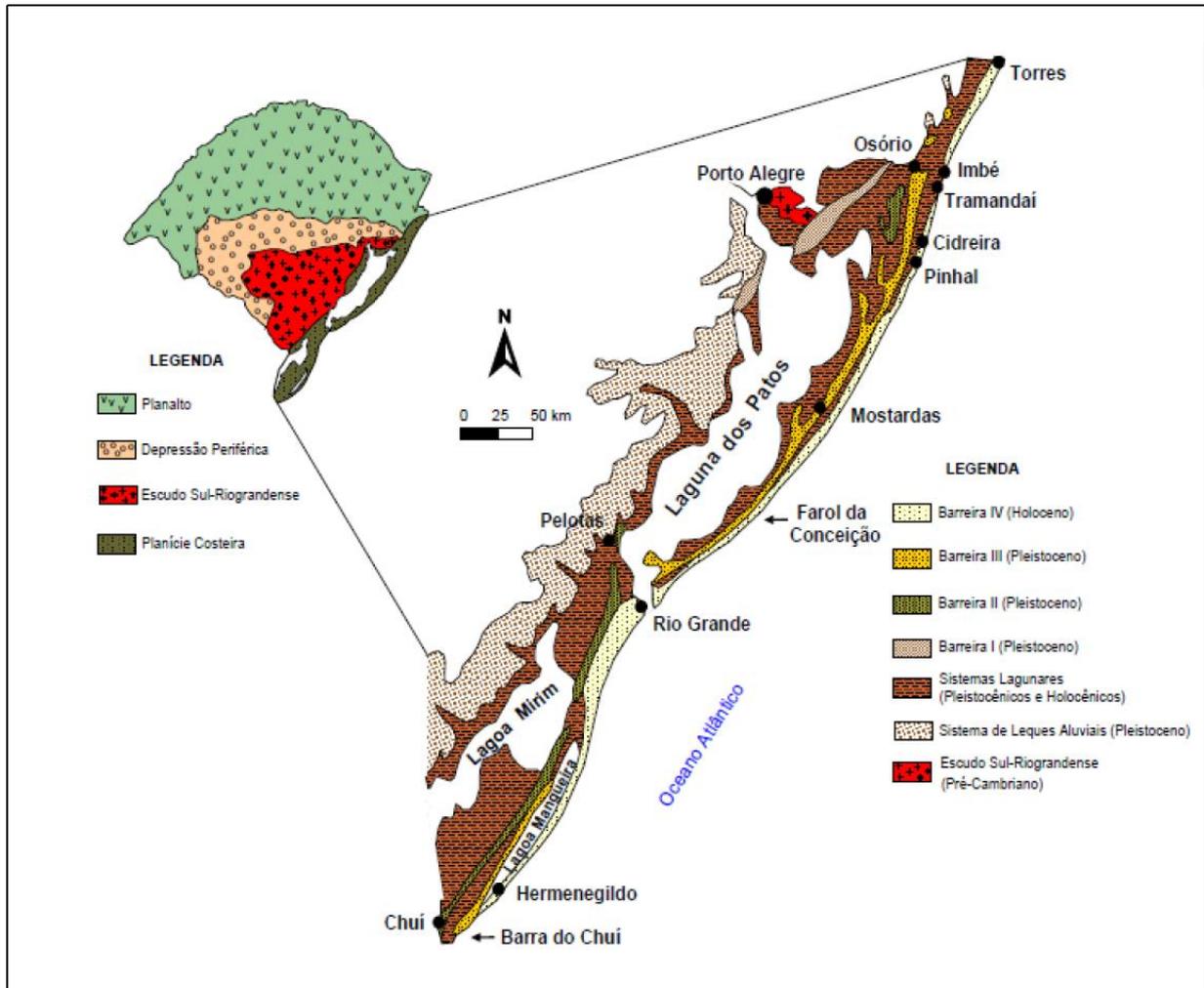


Figura 3: Classificação Geomorfológica do Rio Grande do Sul (CARRARO et. al., 1974). Em destaque, configuração geológica da PCRGS (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000). Fonte: AREJANO, 2006.

O sistema deposicional de Leques Aluviais refere-se ao conjunto de fácies sedimentares resultantes do transporte associado aos ambientes de encosta das denominadas Terras Altas, que correspondem ao escudo cristalino pré-cambriano e ao planalto vulcânico da Bacia do Paraná. De acordo com Villwock e Tomazelli (2007), esse sistema é dividido em três subsistemas: leques alimentados pelo

escudo pré-cambriano, leques alimentados pelo planalto e leques alimentados pela Barreira I, havendo as contribuições de Delaney (1965) para o estudo das fácies do sistema de leques alimentados pelo escudo integrantes da Formação Graxaim e de Morris (1963) no estudo dos depósitos de leques alimentados pelo planalto da Formação Gravataí.

Os sistemas deposicionais referentes às barreiras costeiras configuram como os principais elementos deposicionais e geomorfológicos nas costas dominadas por ondas, ocorrendo mundialmente em áreas onde o gradiente topográfico é suave e onde ocorre abundância de sedimentos arenosos (DILLENBURG e HESP, 2009). A morfologia das barreiras costeiras é controlada, basicamente, pela relação entre as variações do nível médio do mar e o balanço local de sedimentos, o que resulta em uma barreira transgressiva ou regressiva.

Conforme Villwock (1984), o Sistema Laguna-Barreira I, cuja idade é de, aproximadamente, 400 mil anos, é constituído pela Barreira das Lombas e pelo Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, abrangendo parte das bacias do rio Gravataí e do complexo fluvial do Guaíba. O Sistema Laguna-Barreira II, formado, aproximadamente, há 325 mil anos, é constituído pela Barreira Múltipla Complexa e pelo Sistema Lagunar Patos. (VILLWOCK, 2009).

O Sistema Laguna-Barreira III, com aproximadamente 120 mil anos aproximadamente, abrange pequenos tabuleiros arenosos constituintes do terraço marinho originado dos depósitos da Barreira III. Foram encontrados, inclusive, fósseis de mamíferos pleistocênicos em sedimentos associados ao Sistema Lagunar III, os quais constam no estudo realizado por Soliani Jr. (1973).

Por fim, o Sistema Laguna-Barreira IV formou-se no Holoceno há cinco mil anos aproximadamente, sendo constituído, segundo Martins (1967), por areias praias quartzosas de granulação fina a muito fina. Conforme Dillenburg *et. al.* (2000), em resposta a gradientes de energia das ondas distintos, controlados pela topografia antecedente à transgressão pós-glacial, e a balanços sedimentares também diferenciados, há segmentos costeiros em que a barreira é regressiva e outros onde sua natureza é transgressiva.

A morfodinâmica dos campos de dunas frontais e transgressivos correspondentes à Barreira IV foi estudada por Tomazelli (1990) e Tomazelli (1993). Apesar dos setores norte, médio e sul da PCRGS apresentarem comportamentos específicos quanto ao padrão local de ventos, ocorre a predominância anual dos

ventos de NE na costa. O padrão de ventos da região apresenta alta energia e resultam em um padrão médio de migração NE-SW para as dunas costeiras (TOMAZELLI, 1993), que transgridem terrenos mais antigos e avançam sobre corpos lagunares adjacentes como resposta a este padrão (TOMAZELLI, 1990).

O Sistema Lagunar IV, conforme Villwock (2009), apresenta um complexo conjunto de ambientes e sub-ambientes deposicionais, nos quais estão incluídos corpos aquosos costeiros (lagos e lagunas), sistemas deltaicos (deltas fluvio-lagunares e deltas de “maré lagunar”), sistemas aluviais (rios meandранtes e canais inter-lagunares), e sistemas paludiais (pântanos, alagadiços e turfeiras). Conforme Tomazelli e Villwock (1991), os terrenos lagunares do Sistema IV foram ocupados por grandes corpos lagunares durante o pico transgressivo holocênico, os quais, posteriormente, evoluíram para sistemas deposicionais como o sistema de lagoas interligadas do Litoral Norte, a lagoa do Peixe no Litoral Médio e a lagoa Mangueira no Litoral Sul.

A barreira arenosa correspondente à Barreira IV na qual está situada o Litoral Médio desenvolveu-se durante o Holoceno através de variações na posição da linha de costa controladas por glacio-eustasia, como ocorreu nos demais setores da PCRGS. A topografia antecedente era caracterizada por uma projeção dessa linha de costa, favorecendo o desenvolvimento de uma barreira arenosa mais estreita, de natureza transgressiva (DILLENBURG *et. al.*, 2000), e a consequente exposição atual de lamas lagunares e de turfas holocênicas na praia oceânica (TOMAZELLI *et. al.*, 1998), além de grandes concentrações de minerais pesados como os que aparecem na figura 4 (DILLENBURG *et. al.*, 2004).



Figura 4: Minerais pesados na face de sotavento de uma das dunas da área de estudo. Fonte: Arquivo Pessoal.

De maneira que se discorresse melhor sobre as características evolutivas da Barreira IV situada no Litoral Médio do RS, Dillenburg e Hesp (2009) compartimentaram a barreira holocênica do Estado em cinco setores: de Torres à Tramandaí (1), de Tramandaí à Mostardas (2), de Mostardas à Estreito (3), de Estreito à Verga (4) e de Verga à Chuí (5). O setor médio da PCRGS abrange os setores de Mostardas à Estreito, o qual está situado numa porção convexa do alinhamento costeiro do RS, onde a linha de costa projeta-se em direção ao oceano.

O setor da barreira que vai de Mostardas à Estreito apresenta extensos campos de dunas transgressivos em sua superfície, os quais atingem os corpos lagunares da barreira na sua porção norte e os terrenos pleistocênicos ao sul (DILLENBURG e HESP, 2009). Conforme o estudo, esse setor é o trecho mais longo do RS onde uma barreira de natureza transgressiva, como é o caso do Litoral Médio em função de seu balanço negativo de sedimentos, coexiste com campos de dunas transgressivos de grande extensão.

A região de Dunas Altas, situada no setor de Tramandaí à Mostardas, apresenta campos de dunas frontais com alturas significativas ao longo da faixa de praia, os quais se interligam com extensos campos de dunas transgressivos que cobrem não apenas esse setor da barreira, como também o setor no qual está a área de estudo. Na figura 5, uma parte do cordão de dunas frontal de Dunas Altas é mostrado na figura 5.

Nos estudos de Absalonsen e Toldo Jr. (2007), discorreu-se acerca do comportamento deposicional anômalo encontrado no setor norte da praia de Mostardas, onde se encontra o sistema eólico transgressivo que é objeto da presente pesquisa. Conforme os autores, este comportamento anômalo observado é influenciado pela inflexão de, aproximadamente, 11° existente na orientação da linha de praia existente nesse setor do Litoral Médio, a qual ocasiona um engarrafamento da deriva litorânea de sedimentos ao sul da inflexão e consequente deposição sedimentar e alargamento da antepraia ao norte dela.



Figura 5: Praia de Dunas Altas, no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. Fonte: Arquivo Pessoal.

Com este engarrafamento da deriva litorânea e deposição de sedimentos na antepraia ao sul da inflexão, forma-se um grande estoque subaquoso de material sedimentar, o qual é transportado por inércia para fora da zona de arrebatção e depositados neste setor mais profundo durante a passagem de frentes frias (ABSALONSEN e TOLDO JR., 2007). Esta corrente costeira observada em algumas imagens de satélite, a qual conduz uma ampla pluma de sedimentos em suspensão através de um giro rotacional horário, foi denominada por Toldo *et. al.* (2004) de Jato Costeiro e transporta os sedimentos anteriormente depositados ao sul da inflexão para norte.

Este padrão local de circulação costeira, somado à menor energia com que o *swell* atinge a porção ao norte da inflexão, que se mantém abrigada da ondulação de sul, ocasiona o predomínio de áreas estáveis e um aumento das zonas de progradação da linha de praia (ABSALONSEN e TOLDO JR., 2007). No trecho da praia de Mostardas situado ao sul da inflexão, entretanto, observam-se extensas zonas de erosão, visto que o *swell* incide com maior energia neste setor da linha de praia.

Logo, esta variação do fluxo de energia dentro da zona de rebentação, o qual ocorre devido a essa variação no alinhamento da costa, resulta no engarrafamento da deriva litorânea e na redução do transporte líquido de sedimentos de sul para norte em 20% na praia de Mostardas e em 35% na praia de Dunas Altas (TOLDO JR *et. al.*, 2006). O aumento volumétrico da antepraia nessas duas praias passa de seus valores médios de 1 km para mais de 3 km, sendo observado um amplo incremento volumétrico nos campos de dunas nos setores onde há esse alargamento da antepraia, pois esse estoque subaquoso também alimenta as dunas.

De acordo com o Plano de Manejo do PNL, elaborado por Knak *et. al.* (1999), o extenso depósito arenoso da área de estudo é uma das evidências da tendência atual de elevação do nível relativo do mar (NRM) nesta região, ou seja, da transgressão da barreira sobre a qual está situado o parque. A elevação recente do NRM ocasiona o deslocamento da linha de praia em direção ao continente, deslocando a fonte de suprimento arenoso e favorecendo a remoção de areia para o campo eólico ativo, que se encontra transgredindo ativamente os terrenos holocênicos costeiros adjacentes (KNAK *et. al.*, 1999).

No estudo feito por Arejano (2006), o autor citou que as areias eólicas representam a maior parte dos depósitos sedimentares da Barreira IV, havendo um amplo desenvolvimento de dunas eólicas no setor a leste da lagoa do Peixe, principalmente no setor ao norte da desembocadura desse corpo lagunar. Ainda segundo o autor, as cadeias barcanoides constituem o principal tipo de feição eólica presente no campo de dunas em questão, havendo dunas de dez a quinze metros de altura e comprimentos de até dois quilômetros, além de feições como dunas barcanas isoladas, dunas parabólicas, dunas frontais, dunas monticulares de pequena extensão (denominadas *nebkhas* na literatura) e mantos de aspensão eólica também estarem presentes (AREJANO, 2006).

O extenso depósito eólico da presente pesquisa, sobre o qual são as imagens da figura 6, foi analisado anteriormente por Knak *et. al.* (1999) e pela equipe gestora do PNLP na elaboração do Plano de Manejo da UC; por Arejano (2006), durante seu estudo acerca da evolução geológica da barreira sobre a qual está assentada a área do parque; por Portz *et. al.* (2011) em sua análise da dispersão da espécie exótica *Pinus* sp. sobre a área de estudo; e por Burgueño *et. al.* (2013) em sua pesquisa sobre os impactos ambientais da silvicultura nessa região, entre outros estudos. Os estudos direcionados à dinâmica deste depósito eólico, particularmente, são pouco recorrentes.

No estudo de Arejano (2006), o risco de progressiva colmatagem dos corpos lagunares e diminuição do sistema lagunar nessa região devido ao avanço das dunas sobre esse sistema é citado. Segundo o autor, as feições eólicas componentes do campo de dunas transgressivo da margem leste da lagoa do Peixe estão avançando não apenas sobre esse sistema lagunar, como também sobre a escarpa da Barreira III, assoreando a lagoa do Peixe e as lagoas menores localizadas ao norte e ao sul da mesma.

O estudo realizado por Portz *et. al.* (2011) acerca do avanço da silvicultura sobre a área de estudo e no seu entorno constatou que o problema principal da dispersão natural de *Pinus* sp. era encontrado na margem da lagoa do Peixe, ocupada por banhados ao oeste e pelo campo de dunas em questão a leste. Conforme a autora, a área ocupada por silvicultura no PNLP cresceu de 61 hectares em 1986, data de criação do parque, para 252 hectares em 2009, sendo esse aumento superior a quatro vezes o valor referente a 1986.



Figura 6: Trechos do Campo de Dunas da Margem Leste da Lagoa do Peixe. Fonte: Arquivo Pessoal.

1.3.2 Classificação Climática

Com base no sistema de classificação climática de W. Köppen, sabe-se que a configuração climática regional está inserida no tipo climático definido como mesotérmico úmido sem estação seca, cuja sigla é *Cf*. Neste sistema de classificação, o tipo climático *Cf* apresenta subdivisões com base nas diferenças de altitude, estando a área de estudo inserida na subdivisão *Cfa*, que representa um clima subtropical com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a temperatura média do mês mais frio entre -3°C e 18°C.

Outra divisão climática, estabelecida para o RS e com base na altitude e na proximidade com o oceano, foi apresentada por Araújo (1930), sob a forma de oito regiões climáticas: Campanha, Vale do Uruguai, Serra do Sudeste, Depressão Central, Missões, Planalto, Serra do Nordeste e Litoral. A área de estudo, como está inserida no Litoral, apresenta médias térmicas amenas ao longo do ano em função da maritimidade.

O regime de ventos do Litoral Médio do RS foi detalhadamente analisado por Tomazelli (1993), o qual combinou resultados da análise de registros de estações meteorológicas (Torres, Imbé e Rio Grande), de estudos aerofotográficos e de medidas diretas no terreno para conhecer essa variável e, portanto, estabelecer as taxas e direções de migração do campo eólico costeiro do RS. Conforme este autor, o regime de ventos atuante na PCRGS é considerado de alta energia, sendo o vento dominante proveniente de NE ao longo do ano e mais ativo na primavera e no verão.

Nos meses de inverno, os ventos provenientes e mais ativos são os de W, SW e Sul, sendo os ventos de Sul advindos do cinturão de tempestades do Hemisfério Sul e responsáveis pelo empilhamento de massa d'água com uma elevação acima do previsto, o qual é denominado maré meteorológica (PUGH, 1987). Logo, em resposta à ação destes ventos, as dunas da PCRGS migram no sentido NE-SW,

A maior amplitude direcional do regime de ventos ocorre na região mais próxima do Litoral Médio do que as outras estações consultadas: na estação de Rio Grande, em função de sua posição mais meridional, ou seja, em território plano e distante dos efeitos topográficos das escarpas da Serra Geral. Esses efeitos topográficos são responsáveis por interferir no padrão de circulação dos ventos no Litoral Norte do RS (TOMAZELLI, 1993).

O setor médio da PCRGS insere-se na configuração climática explanada no tópico anterior, apresentando médias pluviométricas anuais de 1.300 mm e maiores volumes de chuva nos meses de inverno (NIMER, 1977). Concernente à precipitação na região, o estudo mais detalhado foi feito por Plá (2004), o qual verificou as normais climatológicas de temperatura e precipitação da região do PNLN e comprovou o que a bibliografia infere sobre as massas de ar que atuam na PCRGS, que são as massas de ar Polar e Tropical (mP e mT).

O setor médio da PCRGS, no qual o PNLN está inserido, apresenta características sazonais do regime de precipitação diferentes em relação aos demais setores do litoral, onde há um incremento sazonal das chuvas no verão. (PLÁ, 2004). Como pode ser observado na figura 7, o verão apresenta-se como a estação com o menor volume de precipitação, sendo o inverno a estação mais chuvosa em função da passagem do sistema atmosférico correspondente à Frente Polar Atlântica (FPA).

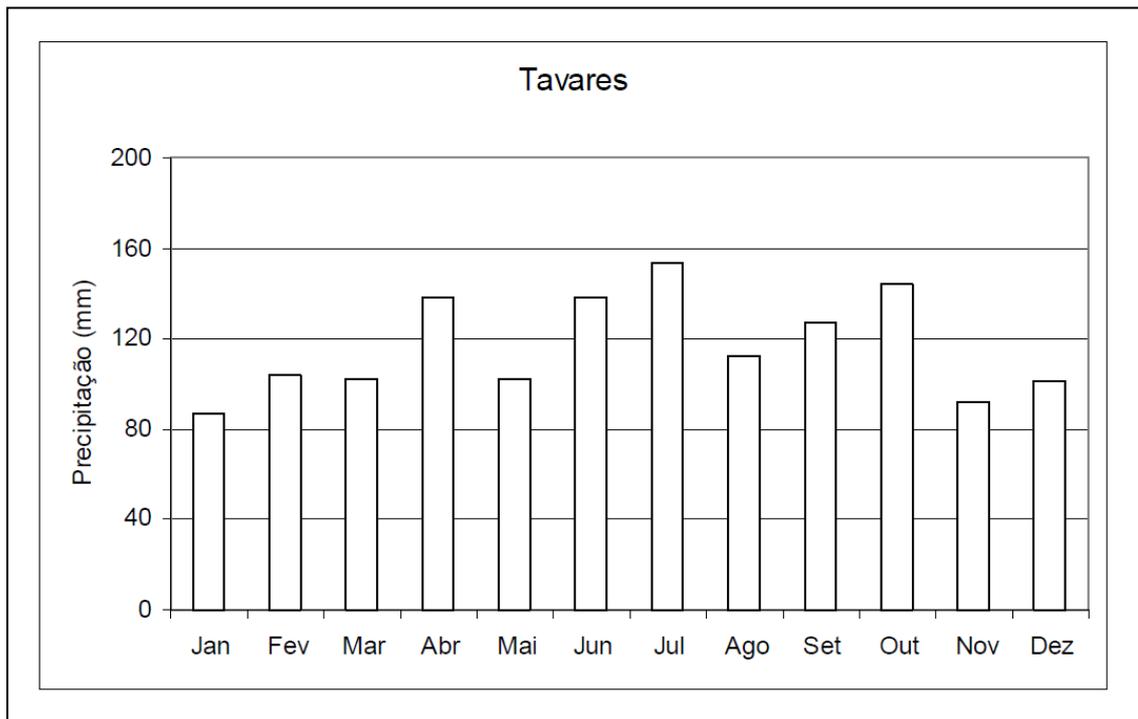


Figura 7: Comportamento Médio do Regime de Precipitação na Região do PNLP. Fonte: PLÁ, 2004.

1.4 O Sistema Depositional Eólico Transgressivo

Os estudos concernentes aos ambientes sedimentares eólicos contemplam uma ampla variedade de subsistemas e de feições, sendo as fácies eólicas encontradas na maioria dos ambientes deposicionais subaéreos, como os costeiros e os desérticos. As dunas, de uma maneira geral, abrangem feições típicas desses ambientes, contemplando uma variada gama, também, de feições específicas relativas à morfodinâmica atuante no local onde se situam.

1.4.1 Os Ventos e o Transporte de Sedimentos

Os ventos constituem-se como o principal agente de transporte nos ambientes eólicos, caracterizando-se como um agente de alta capacidade de transporte de sedimentos e baixa competência para transportar grãos de tamanhos variados, pois possui baixa densidade e viscosidade (PRESS *et. al.*, 2006). Com esse baixo desvio padrão na granulometria transportada pelo vento, esse agente constitui-se como um grande selecionador de sedimentos (DAVIS, 1992).

Segundo Press *et. al.* (2006), a quantidade de material que o vento pode transportar depende da intensidade desse agente (quanto maior é a intensidade do vento, maior é a taxa de material movimentado), do tamanho das partículas (desde poeira a areia) e dos materiais superficiais da área sobre a qual ele sopra (solo seco, sedimento ou substrato rochoso). As formas de transporte desses sedimentos carregados pelo vento, conforme é ilustrado na figura 8, variam de *rastejamento superficial* e *saltação*, quando os grãos são mais grossos, a *suspensão*, quando esses grãos constituem partículas finas (BIGARELLA, 1972).

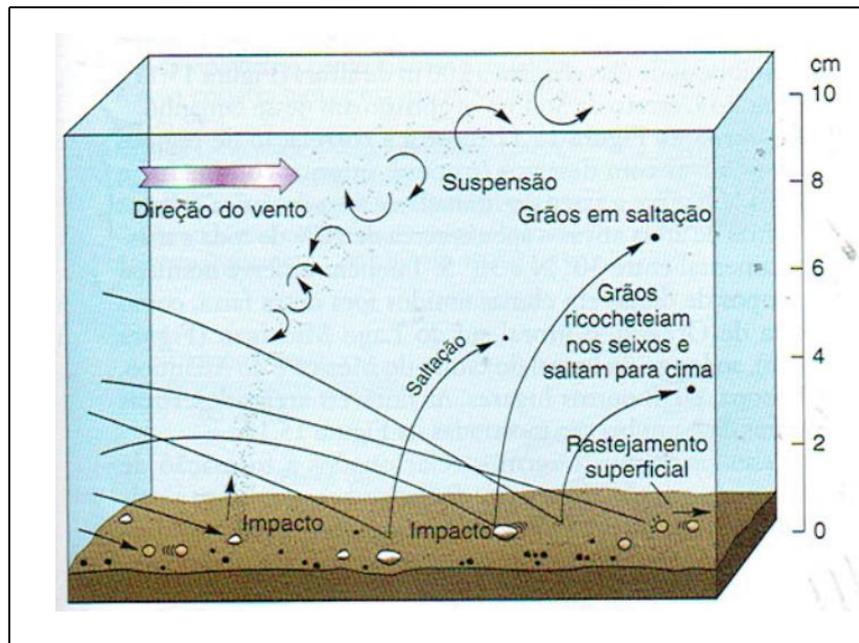


Figura 8: Mecanismos de transporte de sedimentos: *suspensão*, *saltação eólica* e *rastejamento superficial*. Fonte: CHRISTOPHERSON, 2012.

A *saltação* consiste na intercalação entre o deslocamento para frente dos grãos arenosos, acompanhando a velocidade do vento, e na sua queda devido ao seu peso. Os grãos que são deslocados por *saltação* descrevem uma trajetória parabólica, voltando a atingir a superfície e colidindo com outros grãos, impulsionando-os para cima e fazendo-os descrever a mesma trajetória (TOMAZELLI, 1990). As flutuações correspondentes a esse fenômeno são atribuídas à estrutura turbulenta da camada de ar próxima ao solo e, também, às interferências entre as partículas em colisão (CARTER, 1988).

Um segundo processo de transporte dos grãos arenosos corresponde ao *rastejamento superficial* (“*surface creep*”), o qual ocorre em grãos arenosos mais

grossos que, devido ao seu peso maior, não conseguem ser jogados para o ar quando a areia em saltação choca-se contra ele. Em vez disso, esses grãos realizam um movimento de rolamento para frente, sendo essa forma de deslocamento realizada por, aproximadamente, $\frac{1}{4}$ do total de areia movida pelo vento nos desertos (CARTER, 1988).

De acordo, ainda, com Carter (1988), o terceiro processo de deslocamento dos sedimentos nos ambientes eólicos corresponde à *suspensão*, a qual ocorre com os grãos de menor diâmetro do espectro granulométrico (areia muito fina, silte e argila). Essa forma de transporte ocorre quando o fluxo turbulento do ar para cima excede a velocidade de assentamento dos grãos mais finos, os quais podem ser deslocados, dessa maneira, por grandes distâncias para fora da praia e, até mesmo, do campo de dunas.

1. 4. 2 A Deposição de Sedimentos

Após o transporte eólico, a deposição ocorre quando obstáculos ocasionam uma perturbação no fluxo de ar, sendo salientado por Hesp (1981) que o vento é alvo de considerável modificação de seu padrão de fluxo original ao se deparar com esses obstáculos, gerando fluxos secundários que os contornam e se encontram novamente, depositando a areia (figura 6). A vegetação configura como o tipo de obstáculo mais comum encontrado na zona costeira (BAGNOLD, 1941), sendo as “*shadow dunes*”, conforme este mesmo autor, formadas nesse processo deposicional e uma evidência da influência da vegetação nele.



Figura 9: Dunas do tipo *Shadow Dunes* no campo eólico transgressivo de Cidreira, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, conforme terminologia empregada por Bagnold (1941). Fonte: Arquivo Pessoal.

De acordo com Tomazelli (1990), os processos que ocasionam a deposição nos ambientes eólicos correspondem à *queda livre de grãos* (“*grain fall*”), *avalanche de grãos* (*deslizamento* ou “*slide*” e *fluxo de grãos* ou “*grain flow*”) e *migração e cavalgamento* (“*climbing*”) de *marcas onduladas* (“*ripples*”). Cada um desses processos resulta em uma feição ou subfeição distinta no ambiente deposicional eólico, como o *loess*, as *ripples* e as *dunas*, sendo que eles ocorrem concomitantemente nessas últimas feições.

A partir de um determinado processo sedimentar, desenvolve-se uma forma específica de estrato, sendo eles: estratos transladantes cavalgantes (resultantes da migração e cavalgamento de ripples), estratos de avalanche (resultantes da deposição por avalanche) e, finalmente, estratos de queda livre de grãos, oriundos da deposição por queda livre de grãos (TOMAZELLI, 1990). A figura 7 ilustra a localização dos estratos formados a partir destes três mecanismos de deposição.

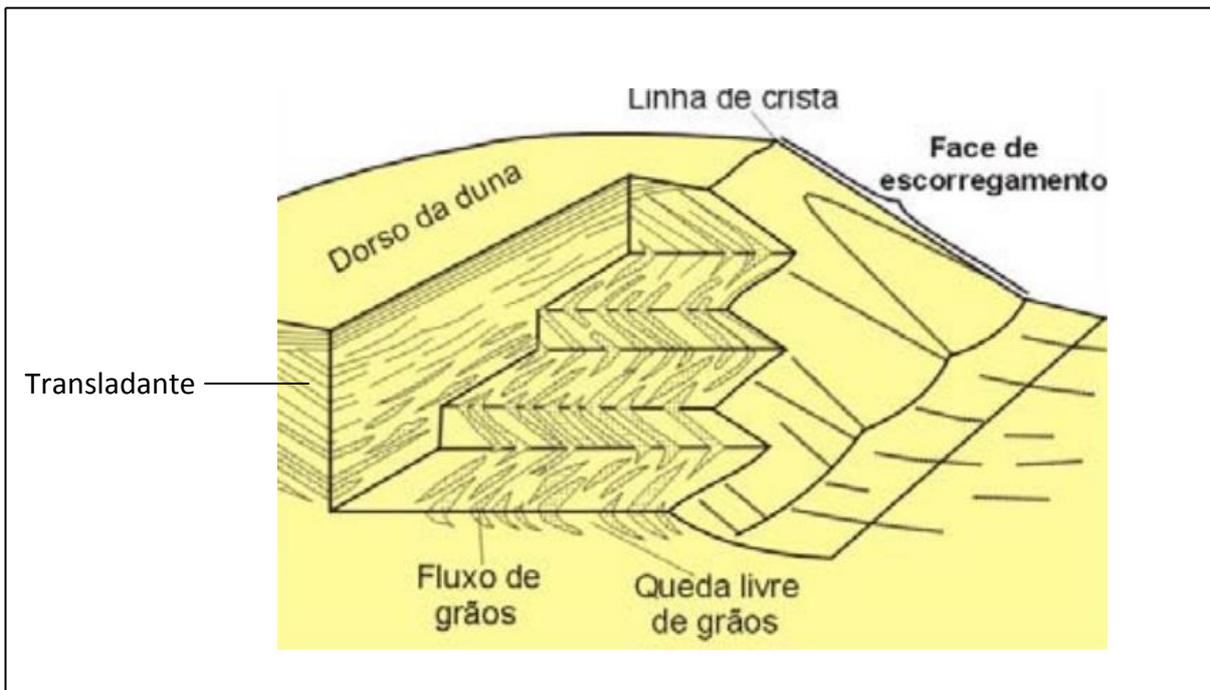


Figura 10: Geometria dos estratos principais formadores das dunas eólicas: estratos transladantes cavalgantes, estratos de fluxo de grãos e estratos de queda livre de grãos. Fonte: HUNTER, 1977.

A deposição por *queda livre de grãos* ou *grain fall* ocorre quando grãos arenosos suspensos assentam ao penetrar em zonas abrigadas do vento, como a sotavento das dunas transversais, onde há uma zona de separação do fluxo de ar. Este processo se inicia quando os grãos que se encontram em saltação transpõem a crista das dunas e penetram nesta zona protegida do vento, perdendo a energia e depositando-se sob condições de queda livre, crescendo verticalmente e originando um estrato que reflete esse processo de queda livre de grãos (TOMAZELLI, 1990).

Segundo este mesmo autor, a deposição por *avalanche de grãos* desenvolve-se ao longo de superfícies com altos declives, nas quais a acumulação de areia excede ao ângulo de repouso da areia seca, que é entre 30° e 34° ; a face de deslizamento das dunas, de acordo com Short (2015), apresenta um ângulo de declividade que varia entre 32° (areia fina) e 36° (areia média) aproximadamente. Este processo de transporte gravitacional de sedimentos, ilustrado na figura 8, manifesta-se através de *fluxo de grãos* ou *grain flow* (Figura 8A), onde a areia seca é transportada como um fluxo não coesivo, ou através de *deslizamento gravitacional*, *slide* ou *slumping* (Figura 8B), no qual a areia apresenta certo grau de umidade e de coesão interna (TOMAZELLI, 1990).

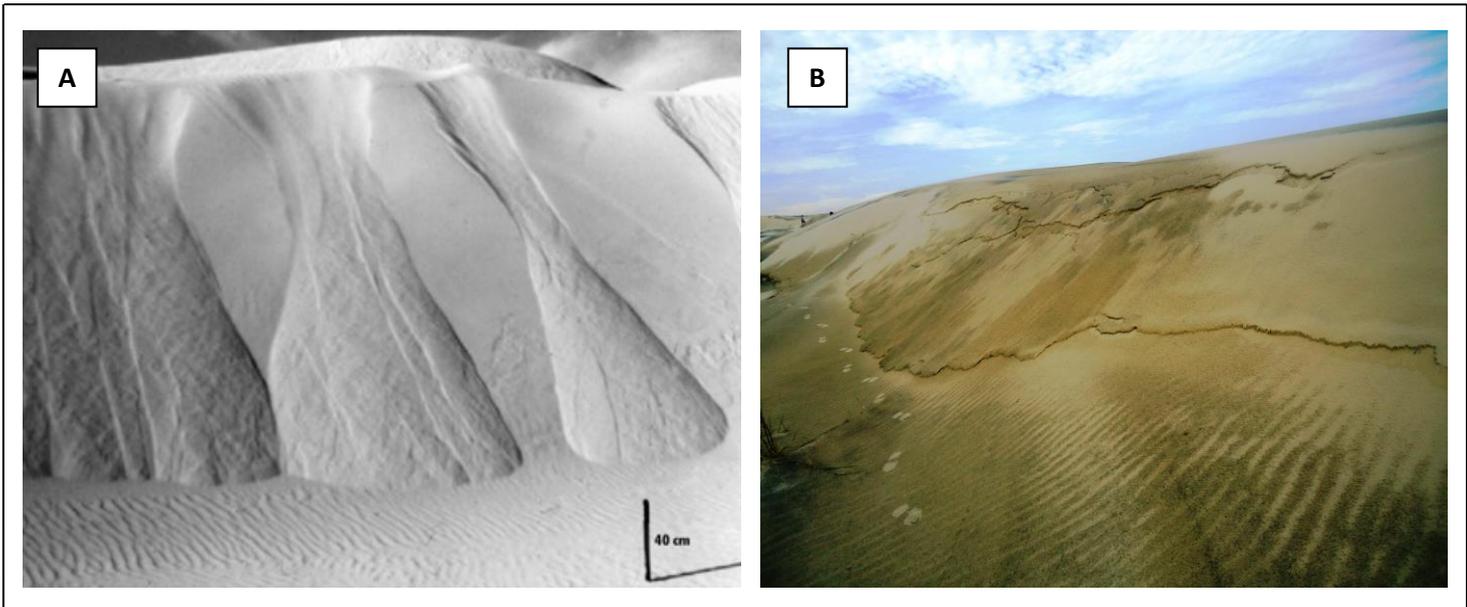


Figura 11: Deposição por avalanche em uma duna barcana – A) avalanche por fluxo de grãos, formando línguas arenosas características. Fonte: TOMAZELLI *et. al.* (2008). B) avalanche por deslizamento gravitacional de grãos, formando blocos arenosos coesos que deslizam ao longo de superfícies de cisalhamento bem definidas. Fonte: Arquivo Pessoal.

O terceiro processo de deposição sedimentar no ambiente eólico refere-se à *migração e cavalgamento de marcas onduladas* denominadas *ripples* (Figura 9), as quais são desenvolvidas quando a carga transportada pelo vento desloca-se através de saltação e rastejamento superficial. Sob essas condições, as *ripples* cavalgam umas sobre as outras, sendo cada marca ondulada preservada através de um *estrato transladante cavalgante* e desenvolvendo-se sobre qualquer tipo de superfície arenosa sempre que o suprimento de areia for alto (TOMAZELLI, 1990).



Figura 12: Ripples subaéreas. Fonte: Arquivo Pessoal.

1. 4. 3 Perfil Praial, Aerodinâmica e Dunas Costeiras

A interação dinâmica entre o perfil praial, aerodinâmica e dunas costeiras é observada quando se verifica o amplo espectro de formações eólicas oriundas de distintas configurações morfológicas. A relação entre as linhas de fluxo do vento e a morfologia do perfil praial apresenta um caráter altamente dinâmico, sendo direta a influência morfológica desse perfil praial nas linhas de fluxo eólico e, conseqüentemente, no campo de dunas costeiro.

Primeiramente, ao usar classificações referentes ao perfil praial, deve-se esclarecer acerca do que representa este termo, o qual dispõe grande variabilidade espacial, temporal e de definições conceituais. De acordo com Hesp (1999), o perfil praial é composto pela porção costeira subaérea, denominado **pós-praia** (*beyond*), pela **face de praia** (*foreshore*) ou setor intermarés, onde os processos de espraiamento da onda (*swash* e *backwash*) são predominantes, pelo setor onde há a dissipação da energia das ondas, denominado **zona de surfe**, pela porção subaquosa onde se encontra a **profundidade de fechamento das ondas**, denominada **antepraia** (*shoreface*) e pela porção mais distal da linha de praia ou, também, *offshore* (Figura 10).

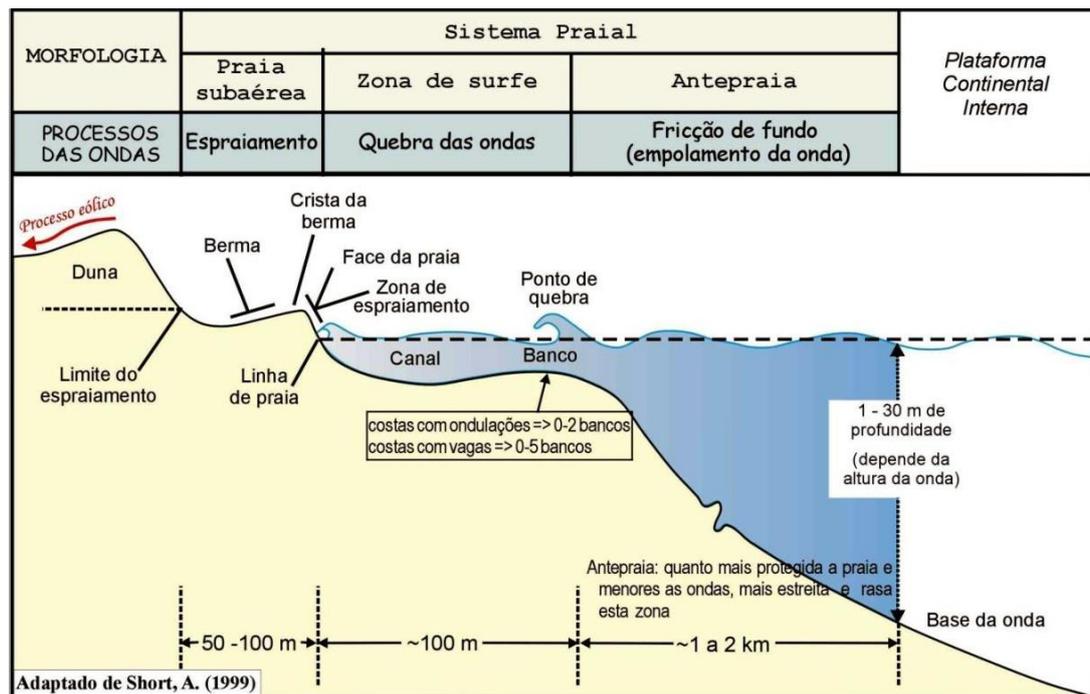


Figura 13: Compartimentação das subdivisões do prisma praiial, modificado de Short (1999) por Toldo Jr. (2010).

No que concerne à relação entre o perfil praiial e as linhas de fluxo do vento, Short e Hesp (1982) afirmam que, de uma maneira geral, quanto mais plana é a superfície correspondente ao pós-praia, menores são as perturbações nas linhas de fluxo e maior é o potencial de continuação do transporte eólico sobre essa superfície em direção ao campo de dunas. Se a superfície do pós-praia apresentar irregularidades topográficas, haverá separação das linhas de fluxo, reduzindo sua velocidade e o potencial de transporte de areia para o continente.

Segundo Short (1981), existem seis níveis distintos de mobilidade das praias e pós-praias, os quais refletem granulometria e suprimento sedimentar variável e distintos gradientes de energia de ondas. Conforme o autor, esses níveis referem-se a seis estágios morfodinâmicos da costa, que irão controlar diretamente a sua morfologia praiial: um *estágio morfodinâmico dissipativo*, quatro *estágios intermediários* e um *estágio reflectivo*, sendo esses processos descritos na literatura, também, por Short (1979), Short (1979), Short e Hesp (1980), Short e Hesp (1982), Wright (1981) e Wright (1982).

De acordo com o que foi descrito por Short e Hesp (1982), praias que se encontram no *estágio morfodinâmico dissipativo* são resultantes de um gradiente alto de energia de ondas e de abundante suprimento sedimentar com granulometria

variável entre areia média a fina, o que resulta em um amplo e plano pós-praia, face de praia com baixa declividade, ampla zona de surfe com canais e barras subaquosos e estabilidade do perfil praial. Essa morfologia subaérea plana e o alto suprimento sedimentar de diâmetro variável entre médio e fino ocasiona uma baixa perturbação nas linhas de fluxo do vento, implicando em um alto potencial de transporte eólico para o continente e possibilitando a construção de um amplo campo de dunas frontal e transgressivo (SHORT e HESP, 1982).

As praias que se encontram nos *estágios morfodinâmicos intermediários* ocupam estágios entre o perfil inteiramente *dissipativo* e o perfil inteiramente *reflectivo*, variando de moderada a alta energia de ondas com tendência dissipativa, ou de moderada a baixa energia com tendência reflectiva (SHORT e HESP, 1982). Entre os estágios, aquele que se encontra exatamente na posição mediana entre os estágios dissipativo e reflectivo (*estágio 4*) é o que apresenta a maior taxa de transporte sedimentar entre a porção subaérea e a zona de surfe, configurando o período de *maior mobilidade do perfil praial* (SHORT, 1979).

Logo, o potencial de transporte eólico para o campo de dunas e a dimensão desse tamanho diminui à medida que a praia aproxima-se do estágio *reflectivo*, enquanto que, se a tendência da praia for para o perfil *dissipativo*, a dimensão do campo de dunas transgressivo e esse transporte para o continente aumentam (SHORT e HESP, 1982). A maioria das praias do RS situam-se em diferentes estágios morfodinâmicos intermediários, sendo o extenso campo eólico da área de estudo resultante do elevado transporte sedimentar proveniente da morfodinâmica intermediária local.



Figura 14: Campo de Dunas da Margem Leste da Lagoa do Peixe. Fonte: Arquivo Pessoal.

Segundo Short e Hesp (1982), as praias que se encontram no *estágio morfodinâmico reflectivo* apresentam um armazenamento de sedimentos na porção subaérea da praia na forma de cristas denominadas bermas, configurando uma face de praia íngreme, uma praia subaérea estreita e uma zona de surfe deficiente de sedimentos e relativamente profunda. Esse perfil praiial é resultante de um gradiente de energia de ondas baixo, e o transporte sedimentar eólico torna-se mínimo em função da alta perturbação aerodinâmica nas linhas de fluxo do vento, promovendo um baixo desenvolvimento do campo de dunas transgressivo (SHORT, 1979).

1. 4. 4 A Vegetação e as Dunas

Conforme Hesp (1999), uma variedade de dunas costeiras desenvolvem-se a sotavento do pós-praia, sendo formadas pequenas dunas monticulares denominadas *nebkhas*, dunas frontais, bacias de deflação e dunas parabólicas a partir da interação entre os regimes de vento e a vegetação. Onde a vegetação não exerce um papel fundamental, são desenvolvidas formas de dunas tipicamente desérticas, como dunas dômicas e cadeias barcanoides e transversais, as quais configuram como campos de dunas transgressivos ativos.

Imediatamente após o pós-praia, comunidades pioneiras de plantas resistentes às adversidades, como alta salinidade e soterramento de areia ocasionado pela ação do vento, são desenvolvidas e auxiliam no desenvolvimento

de formas embrionárias de dunas e na sua posterior estabilização sob a forma de dunas frontais. Na PCRGS, as principais espécies associadas à formação de dunas embrionárias são a Capotiraguá (*Blutaparon portulacoides*), a Grama-aramé (*Paspalum vaginatum*) e o Capim-salgado (*Spartina ciliata*). No que se refere ao cordão de dunas frontal, são encontrados o Capim-das-dunas (*Panicum racemosum*), a Margarida-das-dunas (*Senecio crassiflorus*), o Capim-salgado, o Capim-amoroso-da-praia (*Cenchrus pauciflorus*), a Verbena (*Glandularia aristigera*), entre outras (BRUSIUS *et. al.*, 2015).

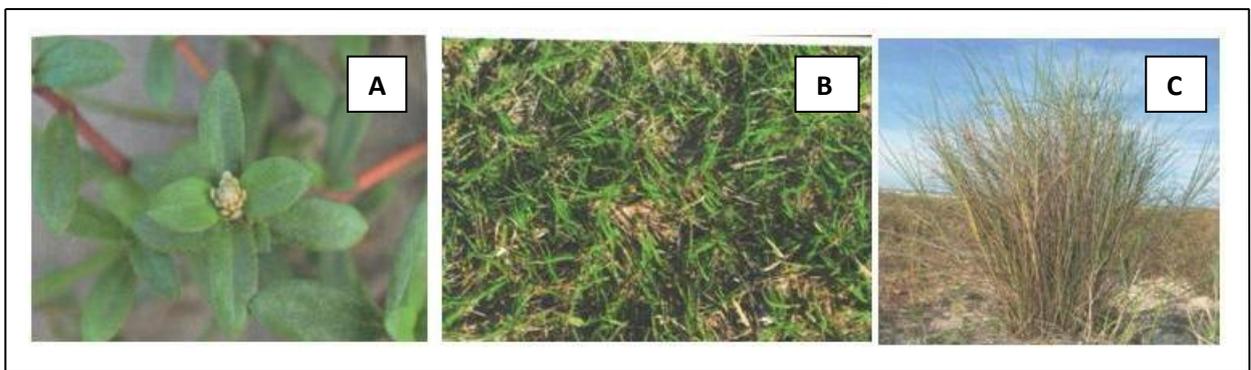


Figura 15: Principais espécies associadas à formação de dunas embrionárias na PCRGS: A) *Blutaparon portulacoides*, B) *Paspalum vaginatum* e D) *Spartina ciliata*. Fonte: BRUSIUS *et. al.*, 2015.

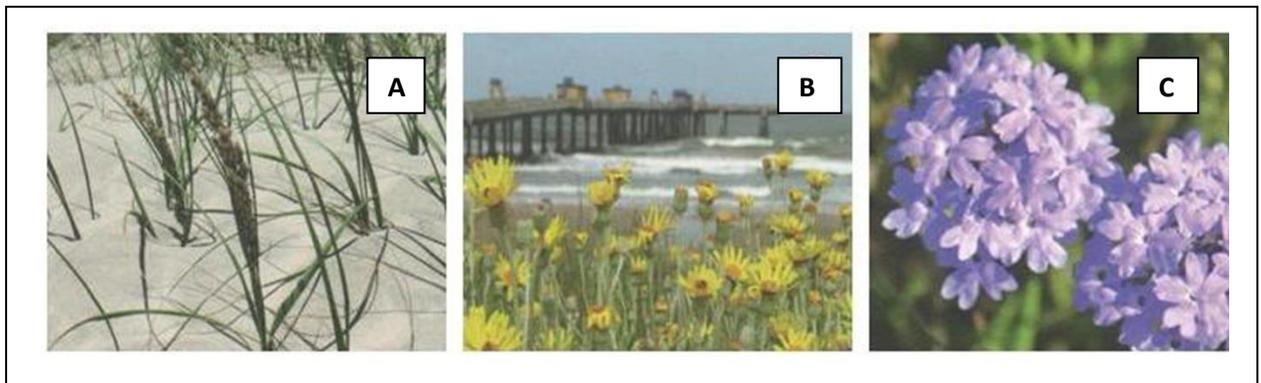


Figura 16: Principais espécies associadas à formação de dunas embrionárias na PCRGS: A) *Panicum racemosum*, B) *Senecio crassiflorus* e C) *Glandularia aristigera*. Fonte: BRUSIUS *et. al.*, 2015.

Nos vales interdunas, há maior oferta de água e de nutrientes, uma vez que podem ser desenvolvidos sangradouros que drenam a água pluvial desses vales em direção ao oceano, rompendo as porções mais baixas das dunas frontais em seu caminho. Algumas das espécies características desses subambientes são: o Algodoeiro-da-praia (*Androtrichum trigynum*), o Junco (*Juncu acutus*), o Capim-

gomoso (*Commelina difusa*), a Drósera (*Drosera brevifolia*), a Margarida-do-banhado (*Senecio bonariensis*), entre outras.

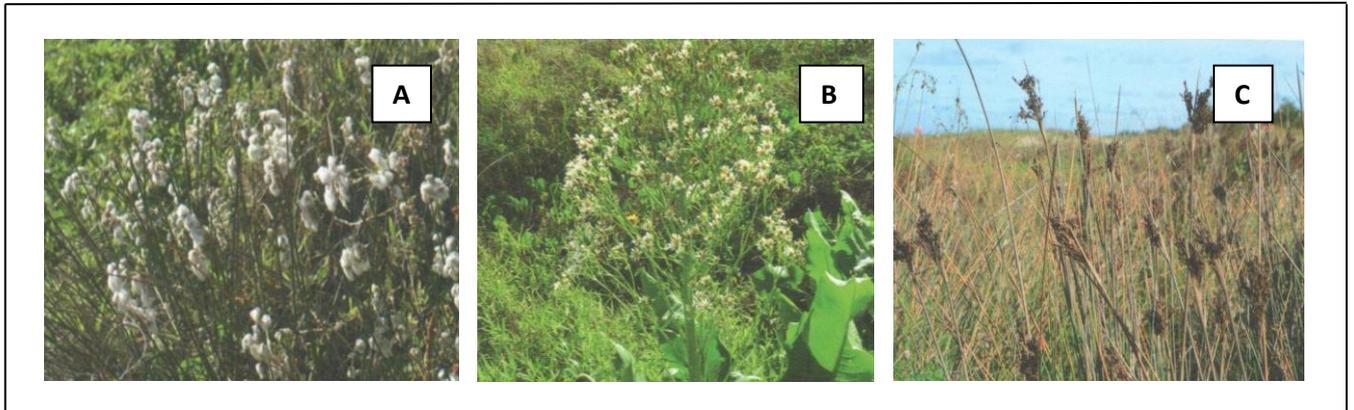


Figura 17: Algumas das espécies características dos vales interdunas da PCRGS: A) *Androtrichum trigynum*, B) *Senecio bonariensis* e C) *Juncu acutus*. Fonte: BRUSIUS *et. al.*, 2015.

Os campos de dunas transgressivos ativos não apresentam vegetação nas formas eólicas que os compõem, sendo essa a principal característica que os define como *móveis*. Entretanto, segundo Brusius *et. al.* (2015), as comunidades vegetais que, porventura, podem ser encontradas em meio a esses depósitos eólicos permeiam entre as espécies desenvolvidas nos cordões de dunas frontais e nas baixadas úmidas interdunares, variando face às ofertas edáficas e hídricas.

1.4.5 Depósitos Eólicos

A primeira vez que o conceito *duna transgressiva* foi empregado, Gardner (1955) utilizou-o para descrever os depósitos eólicos interiorizados e distintos daqueles formados pelos campos de dunas frontais, localizados ao longo do setor sul da costa de Queensland, na Austrália. A diferença entre as dunas frontais e as transgressivas, conforme foi descrito pelo autor, é justamente o fato de que essas últimas, quando *ativas* e *móveis*, são alongadas e migram na direção do vento predominante (GARDNER, 1955).

Inicialmente, o cordão de dunas frontal à faixa de praia é erodido em alguns setores, nos quais são desenvolvidas bacias de deflação que formam corredores de alimentação para as dunas interiores, que se deslocam no sentido do continente. Quando as taxas de migração dessas dunas são baixas ou quase nulas, o autor

aponta o papel da cobertura vegetal na sua estabilização, a qual irá variar temporal e espacialmente e apresentar florestas tropicais ou espécies arbustivas relativas ao tipo climático dominante (GARDNER, 1955).

O conceito de *campos de dunas transgressivos* foi descrito, também, por Hesp e Thom (1990) como sendo depósitos eólicos arenosos formados pelo deslocamento da areia a favor do vento dominante. Segundo os autores, as dunas transgressivas não apresentam cobertura vegetal quando se encontram ativas, o que as fazem “transgredir” sobre terrenos mais antigos, podendo variar de pequenos lençóis de alguns metros quadrados até extensos “mares” de areia medindo quilômetros de extensão, como é o caso do campo eólico da pesquisa e que é mostrado na figura 14 (HESP e THOM, 1990).

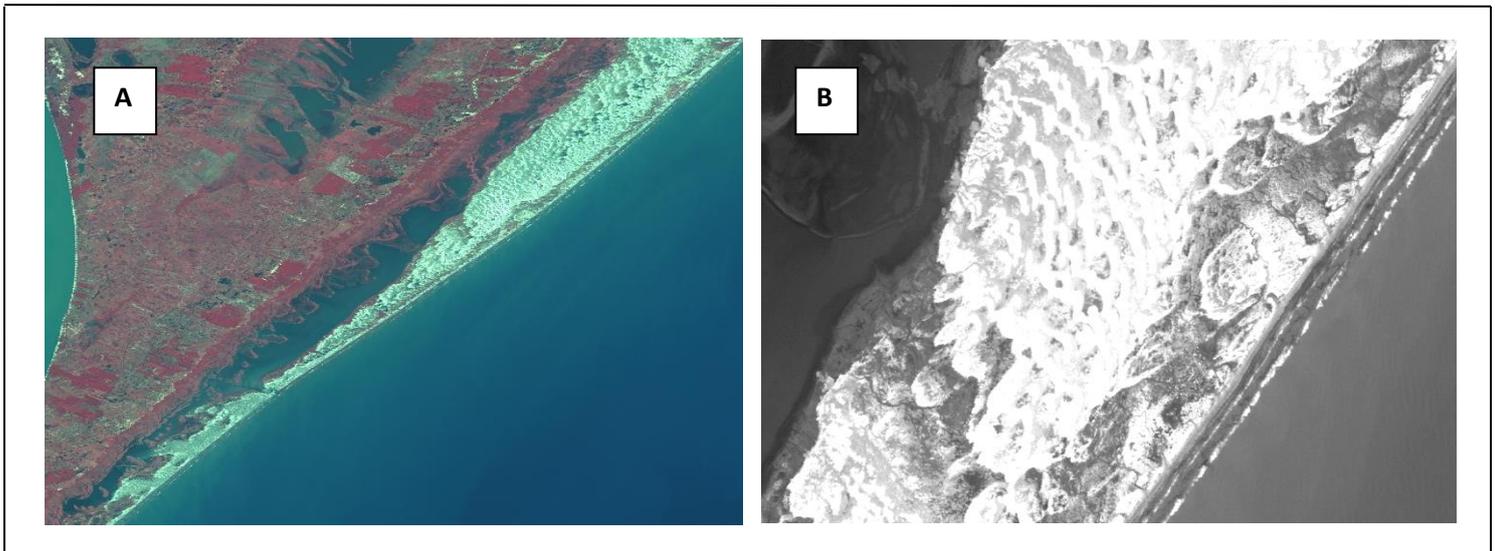


Figura 18: Campo de dunas transgressivo referente à área de estudo em imagens do sensor SPOT-5 na banda do infravermelho (A) e do visível (B). Fonte: Projeto RS Biodiversidade.

De acordo com Davies (1980), as dunas transgressivas resultam da combinação entre regimes de ventos de alta energia, que sopram da costa para o continente, e abundância no suprimento de areia oriunda da praia, sendo sua ocorrência mais comum em climas temperados e úmidos. Por sua vez, Short (1988) afirmou que não é incomum encontrar esses depósitos eólicos em regiões costeiras de clima semi-árido, enquanto que Pye (1982) documenta que os observou em costas tropicais úmidas.

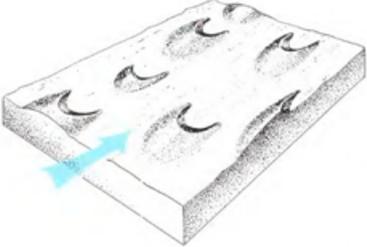
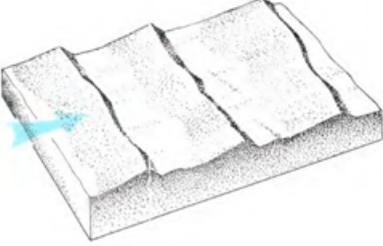
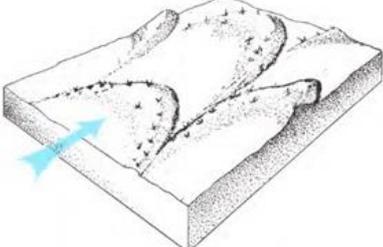
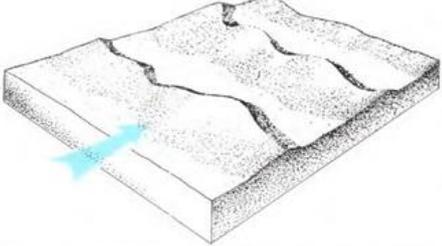
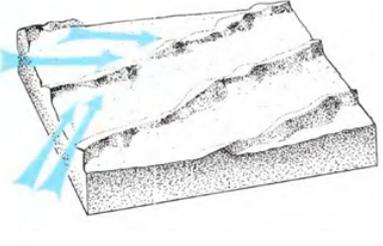
Na investigação acerca da morfologia dos depósitos eólicos transgressivos, McKee (1979) recomendou que a classificação morfológica das feições fosse feita com base em dois atributos descritivos: a forma dos corpos arenosos e a forma ou número de faces de avalanche. De acordo com esse modelo de classificação proposto, as dunas foram divididas em simples, compostas e complexas, as quais refletem os fatores ambientais dos ambientes deposicionais onde elas se formam. Conforme colocado por McKee (1979), esses fatores concernem, principalmente, ao regime de ventos (energia e direção), o suprimento de areia, a cobertura vegetal, a distância da rocha-fonte dos sedimentos e o tipo de barreira no qual se encontra o depósito (estágio evolutivo, por exemplo).

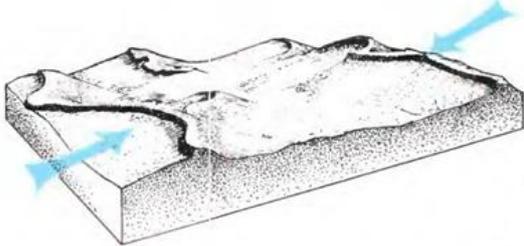
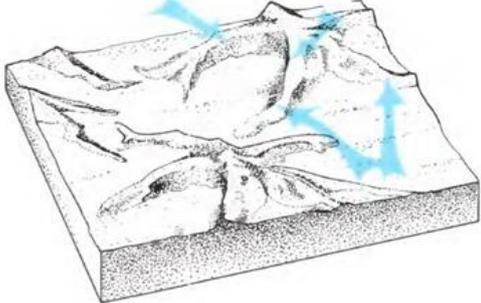
A classificação morfológica de uma duna é extremamente complexa de ser feita, visto que essas feições são dinâmicas, modificando-se rapidamente no espaço e no tempo. No entanto, McKee (1979) classificou as dunas da seguinte maneira: as *dunas simples* apresentam, apenas, uma face de avalanche, como as *barcanas* e as *transversas*; as *compostas*, por sua vez, apresentam duas ou mais dunas do mesmo tipo sobrepostas umas às outras, como *barcanas* que compõem uma *cadeia barcanoide* ou pequenas *dunas parabólicas* em meio aos braços de outra *parabólica*; e as *complexas*, por fim, são aquelas dunas de diferentes tipos que coalescem ou crescem juntas, como *barcanas* isoladas em meio a um corredor de *dunas lineares* ou em meio a uma cadeia de *dunas transversas*.

No quadro 1, são apresentadas ilustrações referentes às formas eólicas mais comumente encontradas em um campo de dunas transgressivo, de acordo com a classificação morfológica de McKee (1979) e do modelo morfológico usado por Hesp (1999). As setas nas figuras representam a direção do vento.

Quadro 1: Ilustrações referentes às formas eólicas comumente encontradas em um campo de dunas transgressivo. Setas representam a direção do vento.

Fonte: McKee (1979).

<p>Duna Barcana: apresenta uma face de avalanche e os braços na direção do vento dominante, o qual é constante e com pouca variabilidade direcional. É típica de regiões com baixo suprimento de areia.</p>	
<p>Duna Transversal: apresenta uma face de avalanche e as cristas transversais à direção do vento, o qual é, relativamente, inefetivo. É típica de regiões com abundante fornecimento de areia.</p>	
<p>Duna Parabólica: pode apresentar uma ou múltiplas faces de avalanche. A extremidade aberta é contrária ao sentido do vento, apresentando uma depressão em forma de U e braços ancorados pela vegetação.</p>	
<p>Cadeia Barcanoide: apresenta uma crista de duna ondulada e alinhada transversalmente à direção predominante do vento. Formou-se a partir de <u>barcanas</u> aglutinadas.</p>	
<p>Duna Linear: feição longa e levemente sinuosa, com uma crista alinhada paralelamente à direção do vento. Apresenta duas faces de avalanche, média de 100 metros de altura e de 100 quilômetros de comprimento. Forma-se a partir de fortes ventos que variam em uma direção.</p>	

<p>Duna Reversa: Apresenta uma face de avalanche, que se encontra ativa em momentos distintos, e uma crista assimétrica intermediária entre a duna em estrela e a duna transversal. Forma-se a partir de regimes de vento que variam entre direções opostas, sendo essa alta variabilidade direcional capaz de alterar a configuração entre as suas formas.</p>	
<p>Duna em Estrela: apresenta faces de avalanche em direções múltiplas, resultantes de ventos que mudam em todas as direções. Esta forma eólica é considerada a gigante das dunas, assemelhando-se a uma pirâmide ou a uma estrela com três ou mais braços sinuosos, estendendo-se a partir de um pico central.</p>	
<p>Blowout: bacia de deflação formada a partir da erosão eólica em um depósito arenoso pré-existente, sendo comum em meio aos campos de dunas frontais sob a forma de áreas de escape de areia em direção ao continente. Essa erosão pode ocorrer devido à redução da cobertura vegetal em função da ocorrência de períodos mais secos ou do uso indevido do solo, assim como pela ação das ondas sobre as dunas frontais. As formas que essa feição pode apresentar variam de uma depressão mais circular a mais alongada e profunda. Frequentemente evoluem para formas eólicas parabólicas.</p>	

Além da necessidade de uma classificação morfológica, a identificação de subambientes que compõem um ambiente deposicional eólico transgressivo também é necessária. Além do *campo de dunas frontal e transgressivo*, identificam-se, também, *depósitos de interdunas* preenchidos por *dunas do tipo “nebka”*, *depósitos associados à deflação eólica*, *depósitos eólicos mantiformes*, também denominados *lençóis* ou *mantos de areia*, e *depósitos extradunas*, conforme ilustra a figura 15 (TOMAZELLI, 1990).

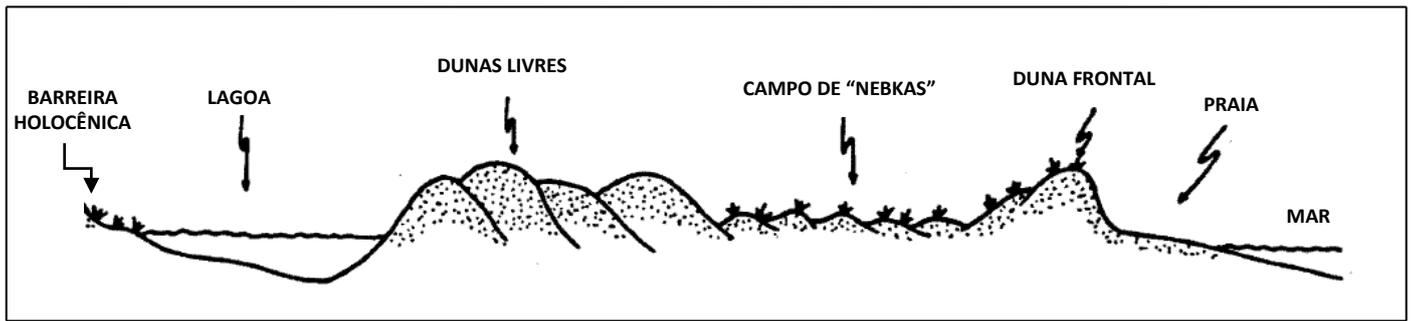


Figura 19: Perfil esquemático transversal à barreira holocênica da PCRGS, ilustrando a distribuição espacial comumente encontrada nos distintos depósitos eólicos costeiros. Fonte: Modificado de Tomazelli, 1990.

De acordo com Tomazelli (1990), os *campos de dunas frontais* ou “*foredunes*” concernem aos cordões arenosos contínuos e *vegetados* que se estendem paralelo à linha de costa, adjacente ao pós-praia e desenvolvidos a partir de pequenas *dunas embrionárias*, também *vegetadas*, que resistiram ao seu caráter efêmero. Em meio ao cordão de dunas frontal, formam-se bacias de deflação circulares ou elípticas, denominadas *blowouts* por McKee (1979) e desenvolvidas a partir da erosão eólica das dunas vegetadas. Segundo Tomazelli (1990), é a partir deles que se iniciam os *corredores de alimentação* na maioria das vezes, os quais transferem a areia da praia para o interior do campo eólico e alimentam as *dunas móveis transgressivas*.

Entretanto, entre o cordão de dunas frontal e o campo de dunas móveis, desenvolvem-se um tipo de depósito onde a topografia apresenta-se irregular, fracamente ondulada e sem orientação definida (TOMAZELLI, 1990), o qual foi denominado por Martins (1967) de *planície arenosa* e que também é conhecido por *depósito de interdunas*. Nesse setor do campo eólico, desenvolvem-se pequenas dunas vegetadas denominadas *nebka*, que também são denominadas *coppice dunes* ou *hummock dunes* e que se apresentam como pequenas dunas monticulares que se desenvolvem controladas por núcleos de vegetação de densidades e tipos distintos, segundo Tomazelli (1990).

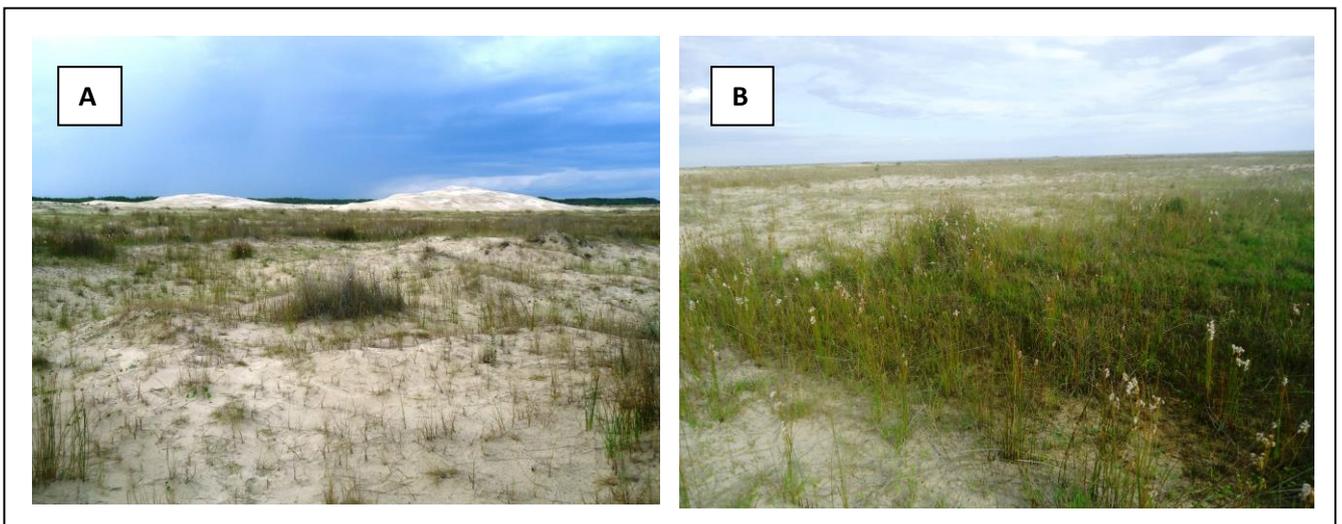
O terreno interdunar apresenta uma espessura relativamente baixa e que se aproxima, muitas vezes, do lençol freático local, além do substrato apresentar maior estabilidade e do afastamento da praia também ser maior. Essas variáveis atuando juntas ocasionam o desenvolvimento de um leque mais diversificado de espécies

vegetais (Figura 13) do que as espécies desenvolvidas nas dunas embrionárias e frontais.

Consoante ao que foi colocado por Tomazelli (1990), a distribuição irregular da cobertura vegetal no vale interdunas resulta em setores onde a vegetação é mais rala, possibilitando um significativo transporte de areia pelo vento. Nesses setores, desenvolvem-se corredores de alimentação sob a forma de bacias de deflação pontuais que permitem, então, o deslocamento de areia da praia até as dunas mais interiores localizadas mais a oeste e sudoeste.

Algumas vezes, sangradouros intermitentes desenvolvem-se no interdunas para drenar em direção ao mar as águas pluviométricas oriundas do campo de dunas móveis. Os sangradouros podem, durante seu curso para o mar, interromperem as dunas frontais de forma natural e estabelecerem as condições favoráveis para a formação dos corredores de alimentação (TOMAZELLI, 1990).

A figura 16 mostra setores interdunas onde são desenvolvidas as dunas monticulares do tipo *nebka* (Figura 16A) e onde se desenvolvem a vegetação característica desses subambientes (Figura 16B).



Figuras 20: Setores do vale interdunas da área de estudo. A) Dunas monticulares do tipo *nebka* e B) Vegetação típica desse subambiente. Fonte: Arquivo Pessoal.

Em meio a um ambiente deposicional eólico transgressivo, são desenvolvidas, também, feições onde não se verifica morfologia de dunas, como cristas ou faces de deslizamento, mas que se apresentam alinhadas na direção do

regime de vento predominante e evidenciam uma migração rumo a essa direção. Essas feições são denominadas depósitos eólicos mantiformes, configurando como lençóis ou mantos arenosos que se desenvolvem, predominantemente, na margem vegetada adjacente à praia sob a forma de corredores de alimentação, conforme foi colocado por Hesp e Thom (1990), Tomazelli (1990) e Dillenburg e Hesp (2009).



Figura 21: Lençol de areia na área de estudo. Fonte: Arquivo Pessoal.

Por distintas razões, como diminuições do suprimento de areia, uso indevido do solo e redução da vegetação, formam-se diferentes feições oriundas da erosão promovida pela ação do vento. Os *depósitos associados à deflação eólica*, conforme Tomazelli (1990), correspondem às bacias de deflação ou *blowouts* (Quadro 1), às *dunas lineares* (Quadro 1), às *dunas parabólicas* (Quadro 1) e aos *lençóis arenosos parabólicos*, os quais, preferencialmente, ocorrem na faixa inicial do campo eólico, próximo à praia e no domínio das dunas vegetadas.

As *dunas parabólicas* (Quadro 1) constituem feições geradas onde há uma relativa deficiência no suprimento de areia e onde a cobertura vegetal avança no sentido de ancorar os braços que compõem a duna, diminuindo a velocidade de sua migração em relação à migração de sua porção central (HESP, 1999). Devido ao papel da vegetação na fixação dos braços desse tipo de duna, eles permanecem voltados na direção de proveniência do vento dominante, sendo essa morfologia desenvolvida em alguns poucos setores da PCRGS e sendo associada a terrenos parcialmente vegetados (TOMAZELLI, 1990).

As *dunas lineares* correspondem a feições longitudinais ao vento dominante (Quadro 1), as quais possuem duas possíveis gêneses associadas à deflação eólica. Segundo Tomazelli (1990), a primeira possível gênese está associada à sua alimentação através de bacias de deflação geradas no cordão de dunas frontal, e a segunda refere-se à migração de dunas parabólicas, as quais deixam remanescentes de seus antigos braços sob a forma de cristas longitudinais orientadas paralelamente ao vento dominante.

A última feição deposicional relacionada à deflação eólica corresponde aos *lençóis arenosos parabólicos* (TOMAZELLI, 1990), os quais concernem a corpos arenosos transgressivos que avançam com uma orientação longitudinal ao vento dominante e que se formam em locais onde o suprimento de areia, alimentada através de bacias de deflação, for mais expressiva. De acordo com o autor supracitado, a morfologia dessas feições apresenta-se intermediária entre a dos *depósitos eólicos mantiformes* e a das *dunas parabólicas*, podendo ser um estágio transicional entre essas duas feições eólicas.

Os depósitos extradunas, por fim, correspondem aos sedimentos que se situam à margem dos campos de dunas, mas que não possuem a sua origem relacionada à ação eólica. Entretanto, esses depósitos relacionam-se, de acordo com o que foi escrito por Tomazelli (1990), “no tempo e no espaço” com o depósitos de gênese eólica, sendo os depósitos lacustres e praias alguns de seus exemplos.

REFERÊNCIAS

ALLAN, R.; HAYLOCK, M. 1993. Circulation Features Associated with Winter Rainfall Decrease in Southwestern Australia. In: **Journal of Climate**. Volume 6.

ARAÚJO, L.C. 1930. **Memória Sobre o Clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura.

BIGARELLA, J. J. 1972. Eolian Environments: their characteristics recognition and importance. In: RIGGBY, J.K.; HAMBLIN, W. K. **Recognition of Ancient Sedimentary Environments**. SEPM: Special Publication.

CARRARO, C. C. et. al. 1974. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul**. Instituto de Geociências. UFRGS.

CARTER, R. W. G. 1988. **Coastal Environments**. New York: Academic Press.

CORDAZZO, C. V; PAIVA, J. B; SEELIGER, U. 2006. **Guia Ilustrado Plantas das Dunas da Costa Sudoeste Atlântica**. Pelotas. USEB.

DAVIS, R. A. 1992. **Depositional Systems**: na introduction to sedimentology and stratigraphy. Prentice Hall.

DIAZ, A.; STUDZINSKI, C.; MECHOSO, C. 1998. Relationships Between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. In: **American Meteorological Society**. Volume 11.

DILLENBURG, S. R.; ROY, P. S.; COWELL, P. J. & TOMAZELLI, L. J. Influence of Antecedent Topography on Coastal Evolution as Tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). In: **Journal of Coastal Research**. 16: 71-81.

GRIMM, A.; FERRAZ, S.; GOMES, J.; 1998. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. In: **American Meteorological Society**. Volume 11.

GRIMM, A.; BARROS, V.; DOYLE, M. 2000. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. In: **American Meteorological Society**, Volume 13.

GROISMAN, P.; KNIGHT, R.; EASTERLING, D.; KARL, T.; HEGERL, G.; RAZUVAEV, V. 2005. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. In: **American Meteorological Society**, Volume 18.

- HAYLOCK, M. R. *et. al.* 2006. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. In: **American Meteorological Society**, Volume 19.
- HESP, P.; THOM, B. 1977. Geomorphology and evolution of transgressive dunefields. In: HUNTER, R. E. Basic Types of Stratification in Small Eolian Dunes. In: **Sedimentology**. 24: 361-387.
- HESP, P. A.; 1999. The Beach Backshore and Beyond. Chpt. 6 in: A.D. SHORT (Editor), **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**: 145-170. John Wiley.
- MANTUA, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace and R. C. Francis. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. In: **Bull. American Meteorology Society**, 78, 1069–1079.
- MANTUA, N.; HARE, S. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. In: **Journal of Oceanography**, Volume 58, p. 35-44.
- MARCOMINI, S. C.; MAIDANA, N. 2006. Response of Eolian Ecosystems to Minor Climatic Changes. In: **Journal of Coastal Research**. Special Issue 39. 204 – 208.
- MARTINS, L. R. 1967. **Aspectos Depositionais e Texturais dos Sedimentos Praiais e Eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 5:1-37.
- McKee, Edwin. 1979. An introduction to the study of global sand seas. In: **A Study of Global Sand Seas**, E. McKee, ed., pp. 1- 20. Washington, U. S. Geological Survey Paper 1052.
- MINOBE, S. 1999: Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts. In: **Geophys. Res. Lett.**, **26**, 855–858.

- MINOBE, S. 2000. Spatio-temporal structure of the pentadecadal variability over the North Pacific. In: **Prog. Oceanogr.**, 47, 381–408.
- MIOT DA SILVA, G.; MARTINHO, C. T.; HESP, P.; KEIM, B.; FERLIGOJ, Y. 2013. Changes in Dunefield Geomorphology and Vegetation Cover as a Response to Local and Regional Climate Variations. In: **Journal of Coastal Research**, SI 65.
- MIOT DA SILVA, G.; HESP, P. 2013. Increasing Rainfall, Decreasing Winds and Historical Changes in Santa Catarina Dunefields, Southern Brazil. In: **Earth Surface Processes and Landforms**.
- MORRIS, R. H. 1963. **Geologia Geral das Quadrículas de Gravataí, Taquara e Rolante, Rio Grande do Sul, Brasil**. Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 5: 1-37.
- NORDSTROM, K.; PSUTY, N.; CARTER, R. (Eds), **Coastal Dunes: Processes and Morphology**. Chichester: J Wiley & Sons, 1990, p. 253-288.
- SHORT, A. 2015. **Coastal Dunes**. Aula ministrada na disciplina Beaches: Global Processes – theory, field and practice.
- SOLIANI JR, E. 1973. Geologia da Região de Santa Vitória do Palmar, RS, e a Posição Estratigráfica dos Fósseis de Mamíferos Pleistocênicos. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado.
- TOLDO JR, E. E; NICOLODI, J. L; ALMEIDA, L. E. S. B; CORRÊA, I. C. S; ESTEVES, L. S. 2004. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. In: **Journal of Coastal Research**, (39) Proceedings of the 8th International Coastal Symposium.
- TOLDO, E. E.; ALMEIDA, L.; NICOLODI, J.; ABSALONSEN, L.; GRUBER, N. L. S. 2006. O Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da

Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. In: **Pesquisas em Geociências**, 33, 35-42.

TSOAR, H. 2005. Sand Dunes Mobility and Stability in Relation to Climate. In: **Elsevier**. 357, 50-56.

TSOAR, H.; L.; N.; PORAT, N.; MAIA, L.; HERRMANN, H.; TATUMI, S.; CLAUDINHO-SALES, V. 2009. The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in Ceará State (NE Brazil). In: **Quaternary Research**. 71, 217-226.

TOMAZELLI, L. J. 1990. **Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais Holocênicos do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul – com ênfase no sistema eólico**. Tese de Doutorado em Geociências. Porto Alegre: UFRGS.

TOMAZELLI, L. J. VILLWOCK, J. A. 1991. Geologia do Sistema Lagunar Holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. In: **Pesquisas**, 13-24.

TOMAZELLI, L. J. 1993. O Regime de Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. In: **Pesquisas**, 18-26.

VILLWOCK, J. A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. **Pesquisas**, 16:5-49.

VILLWOCK, J. A. TOMAZELLI, L. J. 2007. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: **Biodiversidade**: regiões da lagoa do Casamento e os butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Ministério do Meio Ambiente. Brasília/DF. Disponível em: www.mma.gov.br . Acesso em junho de 2015.

WILLIAMS, D. F. *et. al.* 1988. Chronology of the Pleistocene Oxygen Isotope Record: 0-1.88 my. BP.

Lista das Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção no Rio Grande do Sul.

Decreto nº 41.672, de 10 de junho de 2002./Ana Alice Biedzicki de Marques, Carla Suertegaray Fontana, Eduardo Vélez, Glayson Ariel Bencke, Mauricio Schneider, Roberto Esser dos Reis – Porto Alegre: FZB/MCTPUCRS/PANGEA, 2002, 52 p.

NÚCLEO DE EDUCAÇÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL/NEMA. **Gestão Ambiental das Dunas Costeiras.** Disponível em: <http://www.nema-rs.org.br/files/publicacoes/dunas.pdf>. Acesso em março de 2015.

2 ARTIGO SUBMETIDO

TRANSFORMAÇÕES MORFOLÓGICAS NO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVO DA MARGEM LESTE DA LAGOA DO PEIXE, LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

*Ana Rita Oliveira HAHN¹, Iran Carlos Stalliviere CORRÊA², Luana Carla PORTZ³,
Rogério Portantiolo MANZOLLI⁴ & Denílson Ribeiro VIANA⁵

*Autor para correspondência

¹Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509.900, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, ritageohahn@gmail.com.

²Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509.900, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, iran.correa@ufrgs.br.

³Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509.900, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, luanaportz@gmail.com.

⁴Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Caixa Postal 15001, CEP 91509.900, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, rogeriomanzolli@gmail.com.

⁵Centro Polar e Climático, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509.900, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, ribeiro.denilson@gmail.com.

TRANSFORMAÇÕES MORFOLÓGICAS NO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVO DA MARGEM LESTE DA LAGOA DO PEIXE, LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

RESUMO

O presente estudo concerne à compreensão da evolução morfológica entre 1948 e 2010 no campo de dunas transgressivo da margem leste da lagoa do Peixe, situado no Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP), Rio Grande do Sul, Brasil, e à análise dos agentes responsáveis pelas transformações verificadas. O PNL P possui banhados, matas de restinga, lagoas de água doce e salobra e campos eólicos transgressivos, demandando proteção. A metodologia consistiu na análise de imagens aéreas, de 1948 e de 2001, e orbitais, de 2010, sendo todas manipuladas no software ArcGis®. Utilizaram-se, também, dados de precipitação de 1948 a 2010, obtidos do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC), e de vento do período entre 1958 e 2000, da Marinha do Brasil, e de 2008 a 2014, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo gerados gráficos de anomalias de chuva e de direção, frequência e velocidade do vento. Constatou-se que o campo de dunas apresentava extensas cadeias transversais e barcanoides e baixa cobertura vegetal em 1948, evoluindo para cadeias barcanoides menores, barcanas isoladas, lençóis de areia, dunas parabólicas e bacias de deflação em 2001 e em 2010, além de áreas úmidas interdunas. Verificou-se um significativo incremento da pluviosidade anual e nos meses de novembro como resultado do aumento da frequência de eventos El Niño (ENOS), promovido pela fase quente da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) de 1977 até o início do século XXI, aumentando a cobertura vegetal e as áreas úmidas na área de estudo. Observaram-se modificações no padrão de ventos na região, o qual pode estar relacionado aos fatores climáticos, às mudanças na cobertura vegetal e ao uso do solo para a silvicultura. Os fatores responsáveis pelas mudanças morfológicas no campo eólico, portanto, correspondem ao incremento das chuvas e à presença da silvicultura, que reduziu o suprimento de areia e também afetou a morfologia local.

Palavras-Chave: Campo de Dunas, Evolução Morfológica, Dinâmica Eólica, Interpretação de Imagens, Precipitação, Climatologia.

TRANSFORMAÇÕES MORFOLÓGICAS NO CAMPO DE DUNAS TRANSGRESSIVO DA MARGEM LESTE DA LAGOA DO PEIXE, LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

ABSTRACT

This study is about understanding the morphologic transformations occurred between 1948 and 2010 in the transgressive dunes field of Peixe lagoon's east margin, situated in the Lagoa do Peixe National Park (LPNP), in Rio Grande do Sul State, Brazil, and analyzing which agents control these transformations. The LPNP has wetlands, sandbank woods, freshwater and brackishwater lagoons and transgressive dunefields that must be protected. The methodology was analyze aerial photographs of 1948 and 2001 and SPOT-5 satellite images from 2010, and georeference them on ArcGis® software. It was found that the transgressive aeolian system showed morphologic transformations in the analyzed period, because it was identified many transversal and barchanoid ridges in 1948 which suffered reduction in current images, occurring the evolution of both into smaller barchanoid ridges, isolated barchan dunes, sand sheets, parabolic dunes, blowouts and wetlands on interdunes environments in 2001 and 2010. There was also an important increase in annual rainfall and in every November, because the El Niño events (ENOS) increased during the warm phase of the Pacific Decadal Oscillation (PDO), from 1977 to beginning of the 21th. This factor increased the vegetal covering and the wetlands on the dunes field. There were changes in the local wind pattern that can be related to climatic factors, variations in the vegetal covering and land use for silviculture. Thus, the factors that changed the morphology in the dunes field were the increasing of the rainfall and the silviculture that reduced the sand and also affected the local morphology.

Key-words: Dunes Field, Morphological Evolution, Aeolian Dynamics, Image Interpretation, Rainfall, Climatology.

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes de campos de dunas constituem-se como ecossistemas fundamentais para o desenvolvimento e preservação de diferentes formas de espécies animais e vegetais. Apesar dos campos eólicos apresentarem condições que dificultam sua ocupação por muitas destas espécies, como a alta exposição ao vento e suscetibilidade dos depósitos arenosos à ação eólica, entre outras, esses ambientes configuram-se como singulares ecossistemas.

Diante dessas características, o sistema de dunas costeiras é considerado patrimônio público e Área de Proteção Permanente devido não apenas a esse valor ecossistêmico, como também em função de sua importância para a proteção contra a ação de ondas e ressacas das áreas adjacentes a ele, como banhados, campos, corpos d'água e zonas urbanas (PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO/PNGC, 1988). Os depósitos eólicos costeiros também contribuem para a manutenção da linha de costa, proteção do lençol freático contra a salinização e armazenamento de água doce, possuindo significativa importância paisagística, científica, cultural e ecológica (CHRISTOPHERSON, 2012).

Em face desta descrição, elaborou-se o presente estudo sobre um depósito eólico transgressivo do setor médio da PCRGS que possui um fator singular, potencializando a relevância desta pesquisa: a área diz respeito ao campo de dunas situado na margem leste da lagoa do Peixe, principal corpo lagunar do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP). Neste cenário, objetiva-se verificar as transformações morfológicas ocorridas neste ambiente entre 1948 e 2010, relacionando-as com a dinâmica de precipitação e de vento para possíveis inferências acerca de mudanças no regime de chuvas e de ventos atuantes na região.

Entretanto, mesmo havendo restrições de uso do solo no PNLN por ser uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, sendo permitido apenas o uso indireto dos recursos oriundos do meio natural (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Lei nº 9.985/2000), observam-se atividades que põem em risco sua preservação, como a silvicultura. O cultivo da espécie exótica *Pinus* sp. apresentou-se, durante muitos anos, como uma forma de uso do solo da área compreendida pelo

parque, e a disseminação dessa espécie sobre o campo de dunas e em grande parte da Unidade de Conservação impactou agressivamente o ambiente (PORTZ *et. al.*, 2011).

Diante deste cenário, a presente pesquisa analisa as transformações verificadas no campo de dunas da margem leste da Lagoa do Peixe, verificando se estas transformações relacionam-se a fatores de natureza climática, como alterações no padrão de ventos e no regime de precipitação local, ou à ação do agente antropogênico responsável pela silvicultura.

2 ÁREA, MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo da presente pesquisa situa-se no setor médio da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRGs), mais precisamente no PNLP, localizado entre os municípios de Tavares e Mostardas. O PNLP está situado nas coordenadas $31^{\circ} 00' 46''$ a $31^{\circ} 29' 00''$ de latitude sul e $50^{\circ} 46' 31''$ a $51^{\circ} 09' 51''$ de longitude oeste, conforme é ilustrado na figura 1.

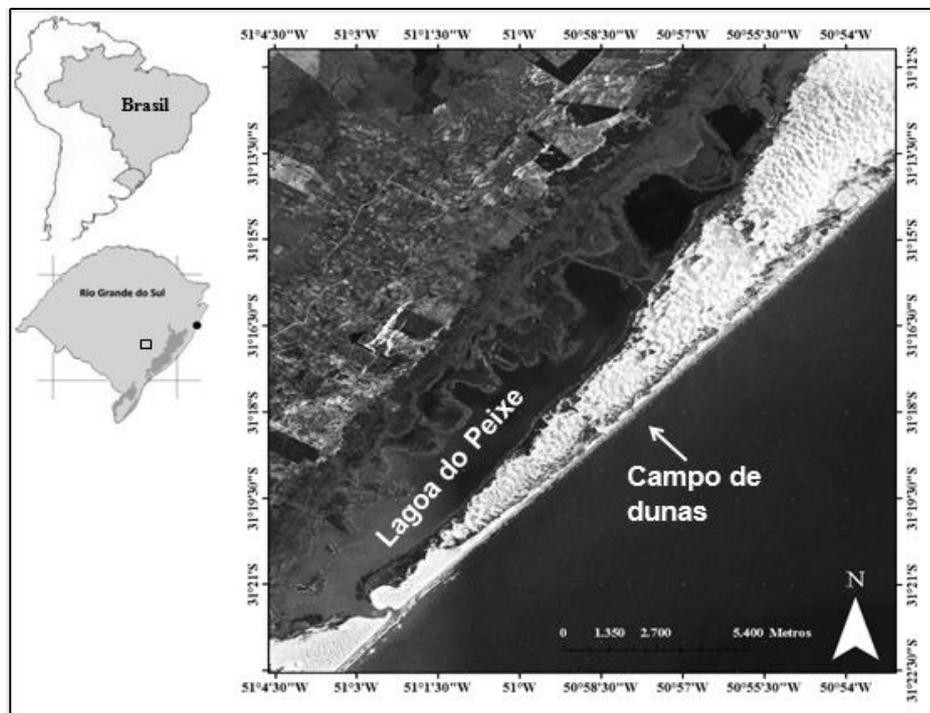


Figura 1: Localização da área de estudo. Elaborado por Luana Portz.

O setor médio da PCRGS é delimitado pelo município de Cidreira ao norte e pela desembocadura da Laguna dos Patos, em Rio Grande, ao sul. Diferentemente do Litoral Norte, o Litoral Médio do RS não recebe milhares de veranistas durante o verão, embora também os receba sazonalmente em volume considerável e sofra, também, com as alterações no ambiente local advindas dessa migração sazonal da população.

2.1 Configuração Geológica e Geomorfológica

De maneira que se discorresse melhor sobre as características evolutivas do trecho da PCRGS sobre o qual está situado o setor médio da PCRGS, Dillenburg e Hesp (2009) compartimentaram a barreira holocênica do Estado em cinco setores: de Torres à Tramandaí (1), de Tramandaí à Mostardas (2), de Mostardas à Estreito (3), de Estreito à Verga (4) e de Verga à Chuí (5). O setor médio abrange os trechos de Mostardas à Estreito, o qual está situado numa porção convexa do alinhamento costeiro do RS, onde a linha de costa projeta-se em direção ao oceano.

O setor que vai de Mostardas à Estreito apresenta extensos campos de dunas transgressivos em sua superfície, os quais atingem os corpos lagunares ao norte e os terrenos pleistocênicos ao sul (DILLENBURG e HESP, 2009). Conforme o estudo, esse setor é o trecho mais longo do RS onde uma área com balanço negativo de sedimentos, como é o caso do Litoral Médio, apresenta campos de dunas transgressivos de grande extensão.

Nos estudos de Absalonsen e Toldo Jr. (2007), discorreu-se acerca do comportamento deposicional anômalo encontrado no setor norte da praia de Mostardas, onde se encontra o sistema eólico transgressivo que é objeto da presente pesquisa. Conforme os autores, este comportamento anômalo observado é influenciado pela inflexão de, aproximadamente, 11° existente na orientação da linha de praia nesse setor do Litoral Médio, a qual ocasiona um engarrafamento da deriva litorânea de sedimentos ao sul da inflexão e conseqüente deposição sedimentar e alargamento da antepraia ao norte dela.

Com este engarrafamento da deriva litorânea e deposição de sedimentos na antepraia ao sul da inflexão, forma-se um grande estoque subaquoso de material sedimentar, o qual é transportado por

inércia para fora da zona de arrebenção e depositados neste setor mais profundo durante a passagem de frentes frias (ABSALONSEN e TOLDO JR., 2007). Esta corrente costeira observada em algumas imagens de satélite, a qual conduz uma ampla pluma de sedimentos em suspensão através de um giro rotacional horário, foi denominada por Toldo *et. al.* (2004) de Jato Costeiro e transporta os sedimentos anteriormente depositados ao sul da inflexão para norte.

Este padrão local de circulação costeira, somado à menor energia com que o *swell* atinge a porção ao norte da inflexão, que se mantém abrigada da ondulação de sul, ocasiona o predomínio de áreas estáveis e um aumento das zonas de progradação da linha de praia (ABSALONSEN e TOLDO JR., 2007). No trecho da praia de Mostardas situado ao sul da inflexão, entretanto, observam-se extensas zonas de erosão, visto que o *swell* incide com maior energia neste setor da linha de praia.

Logo, esta variação do fluxo de energia dentro da zona de rebentação, o qual ocorre devido a essa variação no alinhamento da costa, resulta no engarrafamento da deriva litorânea e na redução do transporte líquido de sedimentos de sul para norte em 20% na praia de Mostardas e em 35% na praia de Dunas Altas (TOLDO JR *et. al.*, 2006), localizada ao norte de Mostardas. O aumento volumétrico da antepraia nessas duas praias passa de seus valores médios de 1 km para mais de 3 km, sendo observado um amplo incremento volumétrico nos campos de dunas nos setores onde há esse alargamento da antepraia, pois esse estoque subaquoso também alimenta as dunas.

2.2 Configuração Climática

O setor médio da PCRGS apresenta médias pluviométricas anuais de 1.300 mm, sendo os maiores volumes de chuva registrados nos meses de inverno (NIMER, 1977). Concernente à precipitação na região, o estudo mais detalhado foi feito por Plá (2004), o qual verificou as normais climatológicas de temperatura e precipitação da região do PNLP e comprovou o que a bibliografia infere sobre as massas de ar que atuam na PCRGS, que são as massas de ar Polar e Tropical (mP e mT).

A região do PNLP apresenta características sazonais do regime de precipitação diferentes em relação aos demais setores do litoral do Rio Grande do Sul (RS), no qual ocorre um incremento

sazonal das chuvas no verão. (PLÁ, 2004). O verão apresenta-se como a estação com o menor volume de precipitação, sendo o inverno a estação mais chuvosa em função da passagem do sistema atmosférico correspondente à Frente Polar Atlântica (FPA).

O regime de ventos do Litoral Médio do RS foi detalhadamente analisado por Tomazelli (1993), o qual combinou resultados da análise de registros de estações meteorológicas (Torres, Imbé e Rio Grande), de estudos aerofotográficos e de medidas diretas no terreno para conhecer essa variável e, portanto, estabelecer as taxas e direções de migração do campo eólico costeiro do RS. Conforme este autor, o regime de ventos atuante na PCRGS é considerado de alta energia, sendo o vento dominante proveniente de NE ao longo do ano e mais ativo na primavera e no verão.

Nos meses de inverno, os ventos provenientes e mais ativos são os de W, SW e Sul, sendo os ventos de Sul advindos do cinturão de tempestades do Hemisfério Sul e responsáveis pelo empilhamento de massa d'água com uma elevação acima do previsto, o qual é denominado maré meteorológica (PUGH, 1987). Logo, em resposta à ação destes ventos, as dunas da PCRGS migram no sentido NE-SW.

A maior amplitude direcional do regime de ventos ocorre na região mais próxima do Litoral Médio do que as outras estações consultadas: na estação de Rio Grande, em função de sua posição mais meridional, ou seja, em território plano e distante dos efeitos topográficos das escarpas da Serra Geral. Esses efeitos topográficos são responsáveis por interferir no padrão de circulação dos ventos no Litoral Norte do RS (TOMAZELLI, 1993).

2.3 *Silvicultura*

O estudo realizado por Portz *et. al.* (2011) acerca do avanço da silvicultura sobre a área de estudo e no seu entorno constatou que o problema principal da dispersão natural de *Pinus* sp. era encontrado na margem da lagoa do Peixe, ocupada por banhados ao oeste e pelo campo de dunas em questão a leste. Conforme a autora, a área ocupada por silvicultura no PNL, que avançou, também, para o campo de dunas, cresceu de 61 hectares em 1986 para 252 hectares em 2009, sendo esse aumento superior a quatro vezes o valor referente a 1986.

2. 4 Procedimentos Metodológicos e Operacionais

No presente estudo, três etapas metodológicas e operacionais foram utilizadas: processamento e interpretação de imagens aéreas e orbitais, análise climatológica e verificação em campo das inferências realizadas em laboratório.

2. 4. 1 Processamento e Interpretação de Imagens Aéreas e Orbitais

Para a realização desta etapa, utilizaram-se fotografias aéreas da área datadas de 1948, obtidas do exército dos Estados Unidos, e de 2001, cedidas pela equipe administrativa do PNLP. Utilizaram-se, também, um conjunto de imagens de agosto de 2010 do sensor HRG (*High Resolution Geometric*), a bordo do satélite SPOT-5, no canal espectral correspondente ao visível, cedidas pelo projeto RS Biodiversidade. O uso de imagens do Google Earth® de 2011 também auxiliou no estudo.

A escolha das fotografias aéreas de 1948 e de 2001 deu-se pela alta resolução espacial apresentada por ambas, sendo a escala e demais dados dos vôos desconhecidos e despriorizados face à análise qualitativa do estudo. O uso das imagens SPOT-5 deu-se, também, pela alta qualidade da resolução espacial do sensor HRG, a qual é de 2,5 metros.

O processamento, georreferenciamento e análise das fotografias aéreas e das imagens orbitais foram realizados no software ArcGis®. Realizaram-se classificações manuais para mapear a variação das feições morfológicas e a variação espaço-temporal da cobertura vegetal referente ao *Pinus* sp. sobre a área de estudo.

2. 4. 2 Análise Climatológica

Para explicar as transformações verificadas no campo de dunas estudado, foram analisados dados climatológicos de precipitação pluvial e de vento da região de Mostardas e Tavares. Para a criação de gráficos, os softwares *Statistica* e *Grapher* foram utilizados.

Os dados de precipitação utilizados são oriundos do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) e abrangem o período de 1948 a 2010, sendo calculados os valores de anomalia correspondentes a esta série. Calculou-se o nível de significância p para verificar se a tendência apresentada pelos dados é climatologicamente significativa, possuindo significância se apresentar um valor menor que 0,05 e não sendo se esse valor for superior.

Os dados de direção e de velocidade do vento para o período entre 1965 e 2000 foram cedidos pela Marinha do Brasil, e os dados de 2008 a 2014 pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A lacuna no espaço temporal abrangido pelos dados de vento deve-se à inexistência de dados entre 2000 e 2008 da região de Mostardas e de Tavares.

2. 4. 3 Verificação em Campo

De modo a verificar as feições identificadas nas fotografias aéreas e nas imagens orbitais, realizaram-se trabalhos de campo na área de estudo. Estas atividades foram feitas em dezembro de 2014, março de 2015 e agosto de 2015, nos quais foram reconhecidas distintas feições erosivas e deposicionais no campo de dunas.

3 RESULTADOS

3. 1 Análise por Sensoriamento Remoto

Verificou-se que o sistema de dunas transgressivo passou por consideráveis mudanças morfológicas durante o período analisado, sendo constatada a redução em 35% da área ocupada pela silvicultura entre 2001 e 2011 primeiramente. A vetorização da cobertura de *Pinus* sp. e o cálculo da área ocupada pelo cultivo nos anos distintos possibilitou verificar a sua variação espaço-temporal durante este período, reduzindo de 221 hectares em 2001 para 143 hectares em 2011.

No que concerne à vegetação e à morfologia eólica, observou-se um visível aumento da cobertura vegetal geral e uma diminuição do número de feições características de áreas com alto

suprimento sedimentar arenoso, como cadeias transversais, barcanoides e dunas barcanas isoladas, desenvolvendo-se feições comuns de ambientes com redução desse suprimento, como bacias de deflação e dunas parabólicas. Em 1948, observa-se um extenso campo de dunas com muitas cadeias transversais e barcanoides ao norte da desembocadura e imensas barcanas isoladas ao norte e ao sul dela, assim como lençóis de areia nas margens do canal e feições barcanoides menores ao sul.

Nas fotografias de 2001, observa-se que a maior parte das cadeias transversais e barcanoides reduziram-se a barcanas isoladas no setor ao norte do canal, havendo lençóis de areia nas margens do canal, no seu entorno e ao sul. No setor ao sul da barra, também se verificou grandes barcanas isoladas e feições pequenas barcanoides e disformes, assim como lençóis de areia.

As transformações do campo de dunas entre 1948 e 2001 podem ser observadas na figura 2, assim como a mesma área em 2001 e 2010.

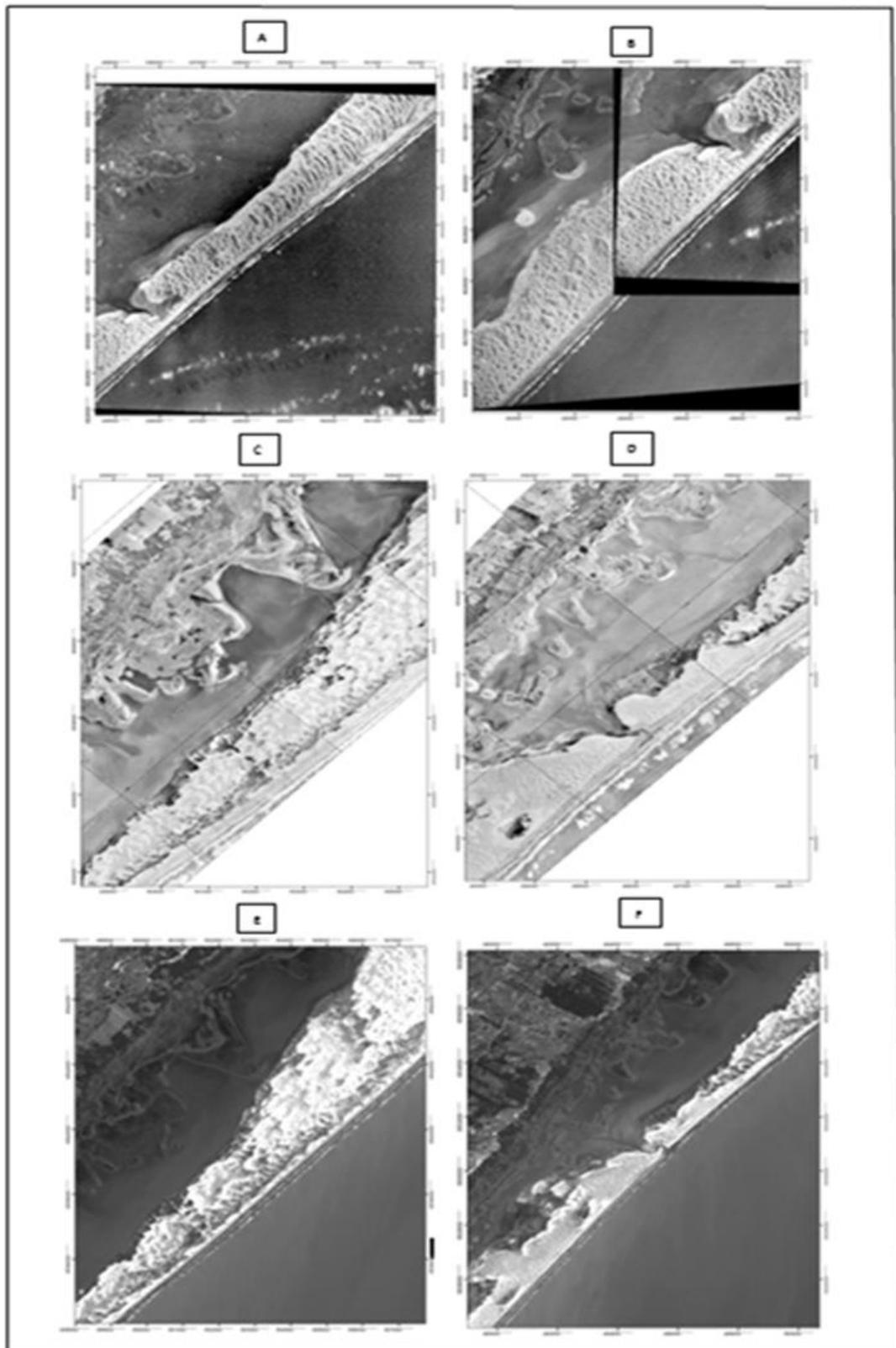


Figura 2: Área de estudo: A) e B) 1948; C) e D) 2001; E) e F) 2010. Elaborado pela autora.

Constatou-se nas fotografias de 2001 um número elevado de canais de drenagem no setor do campo de dunas ao norte da desembocadura (Figura 2C e 2D), os quais não foram observados nas fotografias de 1948 (Figura 2A e 2B). Áreas úmidas nos subambientes de interdunas, ao norte e ao sul do canal, também foram identificados.

Nas imagens de 2010 (Figuras 2E e 2F), identificaram-se cadeias barcanoides menores e em menor número comparado às fotografias de 1948 e 2001, assim barcanas isoladas ao norte da desembocadura. Identificaram-se, também, um número elevado de canais de drenagem tanto em direção ao mar, quanto em direção à lagoa do Peixe, além de um número maior de áreas úmidas em meio ao campo de dunas e próximos ao cordão frontal de dunas.

Em diferentes setores do campo de dunas, foram identificadas diversas feições parabólicas nas imagens de 2010. Essas feições parabólicas aparecem, majoritariamente, no setor ao norte do canal e próximas a áreas mais úmidas em meio às dunas, nas adjacências da lagoa do Peixe e próximas ao cordão de dunas frontal.

3. 2 *Análise Climatológica*

3. 2. 1 Precipitação Pluvial

As anomalias de precipitação geradas a partir dos dados coletados do GPCC indicam que, durante o período de 1948 a 2010, o *acumulado anual de chuva* na região em torno de Mostardas e Tavares apresentou uma tendência positiva, ou seja, com um incremento da pluviosidade local, como pode ser verificado na figura 3. O nível de significância calculado foi de 0,002, indicando que essa tendência de aumento da precipitação no acumulado anual foi significativa.

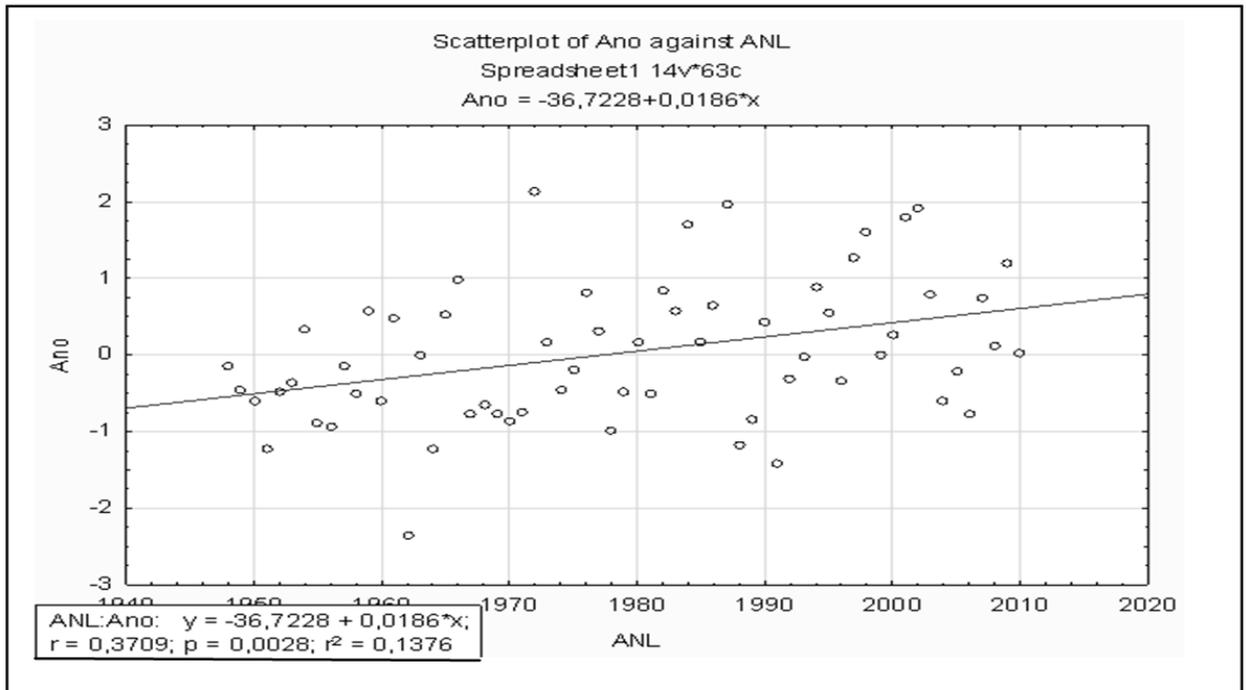


Figura 3: *Acumulado anual de chuva* referente ao período entre 1948 e 2010 da região de Mostardas e de Tavares, indicando uma tendência significativa ($p = 0,0028$) de incremento da pluviosidade local.

Elaborado por Denílson Ribeiro Viana.

Essa tendência de aumento do volume de precipitação durante o período analisado também é mostrada no gráfico gerado referente à *tendência mensal acumulada*, a qual pode ser observada na figura 4. Essa tendência é calculada sequencialmente a partir das anomalias de chuva que compreendem todo o período analisado, e também indicam um incremento significativo da pluviosidade da área de estudo.

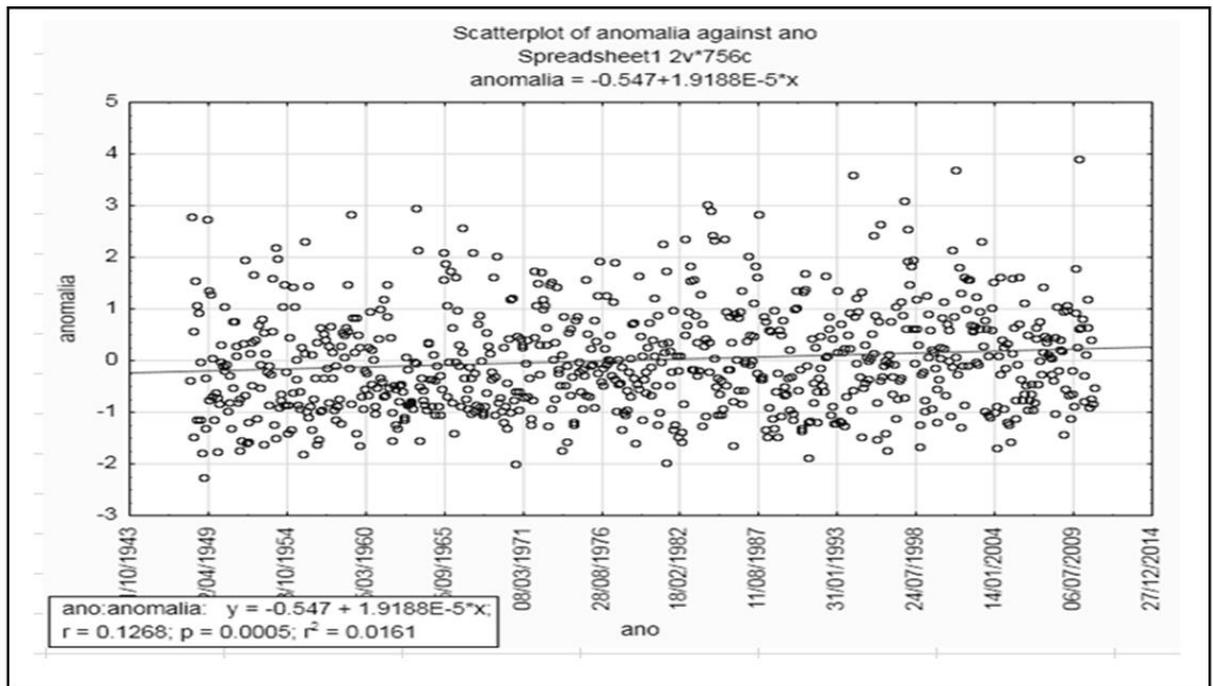


Figura 4: *Tendência mensal acumulada* referente ao período entre 1948 e 2010 da região de Mostardas e de Tavares. Elaborado por Denílson Ribeiro Viana.

A tendência significativa observada no *acumulado anual de chuva* e na *tendência mensal acumulada*, entretanto, não é verificada na maior parte dos acumulados mensais entre 1948 e 2000. Apesar da maioria dos meses refletirem uma tendência média de incremento da precipitação, apenas os acumulados referentes a maio e a novembro apresentaram uma tendência de aumento significativa, como pode ser verificado na figura 5.

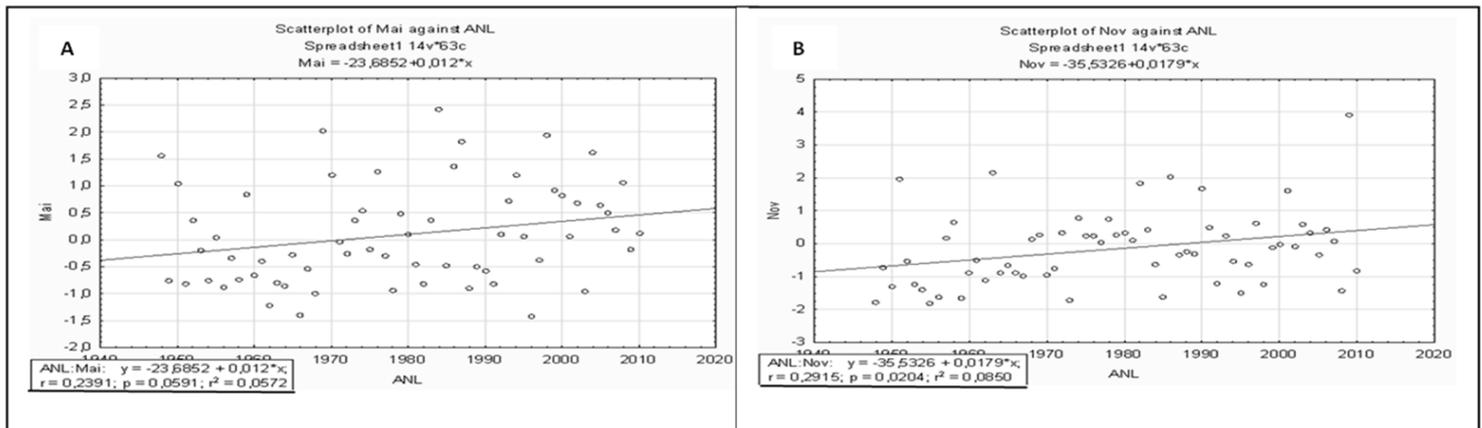


Figura 5: Tendência dos acumulados mensais referentes a maio (A), com valor de $p = 0,0591$, e a novembro (B), com valor de $p = 0,0204$. Elaborado por Denílson Ribeiro Viana.

Os dados de precipitação refletiram uma tendência de aumento do volume de chuva durante o período de 1948 a 2010 e essa tendência mostrou-se significativa no *acumulado anual de chuva*, na *tendência mensal acumulada* e nas médias mensais referentes aos meses de maio e de novembro. Esse incremento no volume de chuva reflete-se nas transformações morfológicas verificadas no campo de dunas do presente estudo, onde áreas úmidas nos espaços interdunas e feições oriundas de processos erosivos, como dunas parabólicas e bacias de deflação, foram identificadas.

3. 2. 2 Vento

Os gráficos correspondentes às rosas-de-vento permitem verificar, primeiramente, a predominância anual do vento Nordeste na maioria dos anos abrangidos pelo período analisado, apesar dos ventos Sul e Sudeste atuarem com velocidades superiores mesmo sendo menos frequentes. Logo, a entrada de suprimento sedimentar para o sistema eólico é favorecida, mesmo que a erosão advinda da atuação dos ventos Sul e Sudeste contribua para o oposto.

Na metade da década de 1960, a partir dos registros de 1965 até 1969, verifica-se a predominância clara do vento Nordeste, mas com forte atuação de ventos dos quadrantes Sul e Sudeste, não havendo o registro de altas velocidades durante esse período. Durante a década de 1970, a dinâmica observada foi distinta: predominância do vento Nordeste, mas com forte atuação do vento

Sudeste e ventos dos outros quadrantes com valores altos de velocidade, apresentando uma característica multidirecional.

A década de 1980 também apresentou características multidirecionais, havendo a predominância do vento Nordeste durante a década e importante atuação do vento Sul, o qual foi o mais frequente em alguns anos e com a maior velocidade. Por fim, a predominância média do vento Nordeste se fez presente na década de 1990, ocorrendo frequente atuação e alta velocidade do vento Sul em diversos anos.

As rosas-de-vento correspondentes às décadas de 1960, 1970, 1980 e 1990 da região de Mostardas estão representadas na figura 6, com o valor de velocidade do vento em m/s.

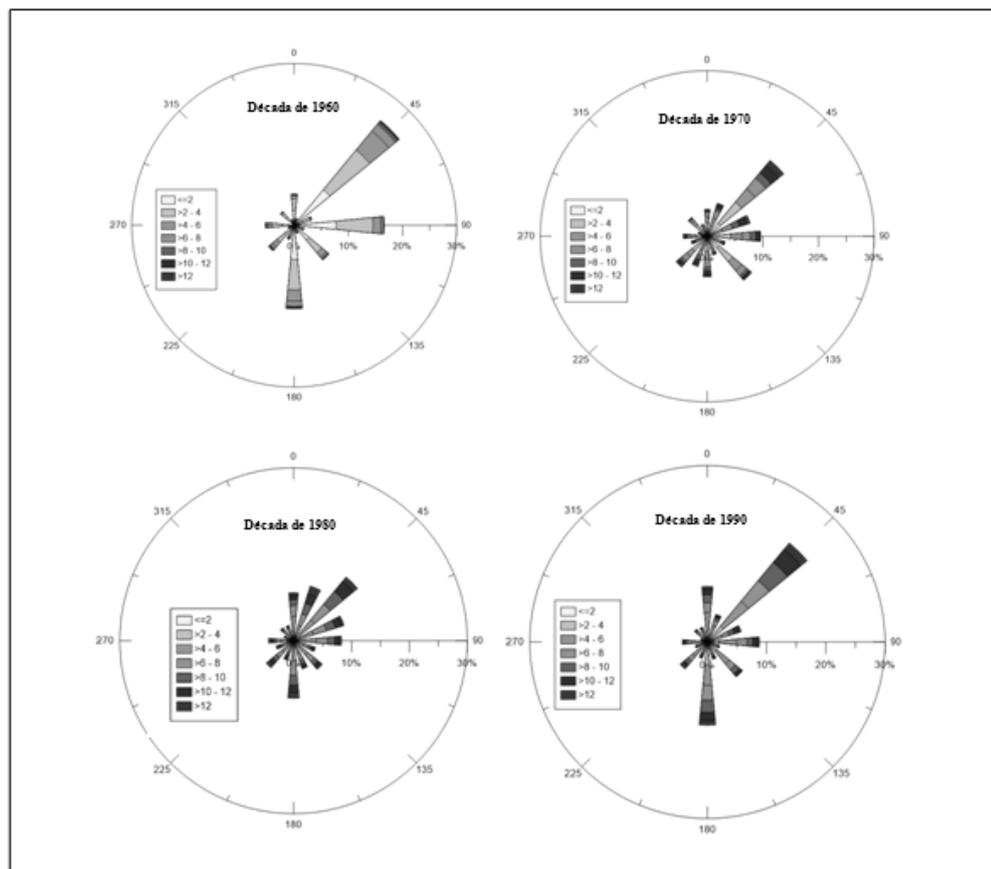


Figura 6: Rosas-de-vento correspondentes às décadas de 1960, 1970, 1980 e 1990 da região de Mostardas, ilustrando a direção e a velocidade, em m/s, predominantes dos ventos. Elaborado pela Autora.

Durante o espaço temporal compreendido entre 1965 e 2000, identificou-se a predominância do vento NE e a importante atuação do vento Sul, o qual apresentou os maiores valores de velocidade.

Os quadrantes Norte, Leste, Sudeste, Sudoeste e Oeste também apresentaram ventos com alta velocidade, caracterizando o presente período com um elevado gradiente de pressão.

O período entre 2008 e 2014 é ilustrado com uma rosa-dos-ventos na qual o vento Nordeste também é anualmente predominante, mas que possui uma relevante atuação de ventos dos quadrantes Leste, Sudeste e Sul. Assim como a velocidade dos ventos foi, em média, baixa durante a década de 1960, o período entre 2008 e 2014 também apresentou esta característica, como é mostrado na figura 7 comparando-o com o padrão de ventos registrado entre 1965 e 2000.

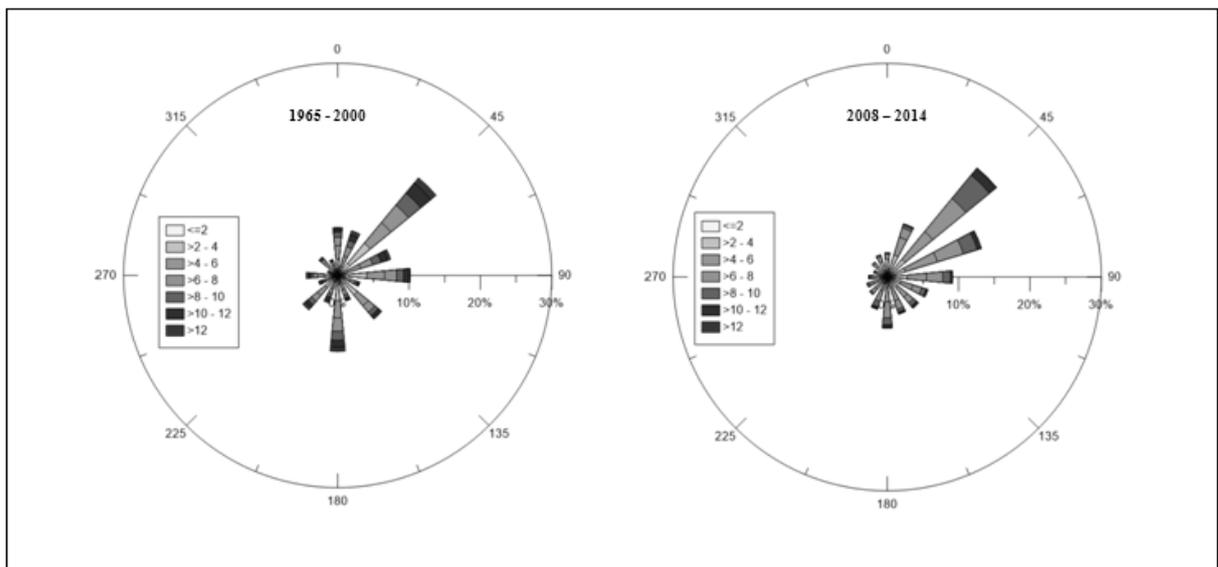


Figura 7: Rosas-de-vento correspondentes aos períodos entre 1965 e 2000 e entre 2008 e 2014, ilustrando a direção e a velocidade, em m/s, predominantes dos ventos. Elaborado pela autora.

4 Discussão

As feições identificadas nas fotografias aéreas e nas imagens de satélite mais recentes, como bacias de deflação e dunas parabólicas, são interpretadas como resultantes da diminuição do suprimento sedimentar arenoso e do aumento dos processos erosivos. Conforme Mckee (1979) e Hesp (2002), as bacias de deflação formam-se a partir da erosão eólica das dunas vegetadas, enquanto que

as dunas e demais feições parabólicas são geradas onde há uma relativa deficiência no suprimento de areia (HESP, 1999), confirmando a origem das feições verificadas em 2001 e em 2010.

De acordo com os gráficos apresentados, o acumulado anual de chuva entre 1948 e 2010 apresentou tendência significativa de aumento na região de Mostardas. Esse incremento verificado nas médias pluviométricas anuais reflete-se claramente nas fotografias aéreas de 2001 e nas imagens de satélite de 2010, visto que ambas apresentam aumento da cobertura vegetal, das áreas úmidas nos subambientes de interdunas, dos canais de drenagem que deságuam tanto na lagoa, quanto no mar e das feições parabólicas e de deflação eólica.

No Brasil, a relação entre a dinâmica climática e as variações morfológicas em um ambiente eólico costeiro foi registrada em alguns trabalhos, entre eles Marcomini e Maidana (2006) sobre as dunas ao norte de Buenos Aires e Tsoar (2009), que discorreu sobre as dunas do litoral do Ceará, ambos relacionando-as à precipitação. No sul do Brasil, os estudos de Tomazelli *et. al.* (2008), Martinho *et. al.* (2008), Martinho *et. al.* (2010), Miot da Silva e Hesp (2013), Miot da Silva *et. al.* (2013) e Mendes e Giannini (2015) verificaram, também, transformações na morfologia de dunas em campos eólicos do litoral de Santa Catarina (SC) e do Rio Grande do Sul (RS) e sua possível relação com o regime de chuvas.

No campo de dunas transgressivo da margem leste da lagoa do Peixe, as mudanças morfológicas correspondentes ao aumento da cobertura vegetal, das bacias de deflação, das feições parabólicas e das áreas úmidas interdunas entre 1948, 2001 e 2010 são evidentes. Em Tomazelli *et. al.* (2008), os potenciais de preservação das dunas transgressivas de Cidreira e de Itapeva, no RS, são inferidos face às mudanças geomorfológicas verificadas na área, enquanto que em Martinho *et. al.* (2008) e em Martinho *et. al.* (2010) a evolução dos campos de dunas dos setores norte e médio do litoral do RS para ambientes mais úmidos correlacionam-se com aumento das médias pluviométricas.

O aumento da cobertura vegetal sobre campos eólicos transgressivos nas últimas décadas foi constatado, também, por Martinho *et. al.* (2010), além de Miot da Silva e Hesp (2013) e de Miot da Silva *et. al.* (2013), os quais verificaram, respectivamente, o avanço da vegetação em dunas costeiras de Florianópolis e da barreira holocênica do RS, além do desenvolvimento de bacias de deflação e de feições parabólicas sobre o campo de dunas. O estudo de Mendes e Giannini (2015) também constatou

o crescimento de áreas vegetadas referentes a bacias de deflação e que a cobertura vegetal desenvolveu-se sobre campos de dunas em praias do setor central da costa de SC entre 1938 e 2009.

O estudo de Miot da Silva e Hesp (2013) constatou que as mudanças morfológicas e o aumento da cobertura vegetal verificados nas dunas transgressivas da praia de Moçambique, em Florianópolis, estão relacionados com o incremento da pluviosidade na região nas últimas décadas. Nas constatações de Miot da Silva *et. al.* (2013), a partir da década de 1970, o aumento das áreas úmidas interdunas, das feições erosivas e da cobertura vegetal sobre os campos eólicos da barreira holocênica do Sul do Brasil acompanhou o aumento da precipitação, assim como a redução do transporte eólico.

A tendência de incremento da precipitação na região de estudo, portanto, corrobora com os estudos semelhantes feitos no sul da América do Sul (MARCOMINI e MAIDANA, 2006), no Nordeste brasileiro (TSOAR, 2009) e no Sul do Brasil (TOMAZELLI *et. al.*, 2008; MARTINHO *et. al.*, 2008; MARTINHO *et. al.*, 2010; MIOT DA SILVA e HESP, 2013; MIOT DA SILVA *et. al.*, 2013; MENDES e GIANNINI, 2015). Esse cenário de tendência de aumento da pluviosidade na Região Sul do Brasil configura como um consenso entre a comunidade científica climatológica, tendo sido registrada, também, por Barros *et. al.* (2000), Liebmann (2004), Groisman *et. al.* (2005) e Haylock *et. al.* (2006), entre outros.

Em Liebmann *et. al.* (2004), constatou-se que, entre 1976 e 1999, a maior tendência positiva do período compreendido entre janeiro e março ao sul de 20°S foi verificada no sul do Brasil, enquanto que Groisman *et. al.* (2005) apontou o aumento da precipitação sobre a porção subtropical do Brasil desde a década de 1940. No estudo de Haylock *et. al.* (2006), afirmou-se que o sul brasileiro é uma das regiões da América do Sul onde o incremento da pluviosidade é observado nas últimas décadas, associando esse incremento das condições úmidas à variabilidade interanual correspondente à ENOS (El Niño Oscilação Sul).

A Região Sul do Brasil, em relação a outras regiões do mundo, apresenta um dos reflexos mais consistentes associados ao ENOS no seu regime de precipitação, ocorrendo anomalias positivas durante os períodos quentes da Oscilação Sul (El Niño) e anomalias negativas durante os seus períodos frios (La Niña) (Grimm *et. al.* 1998). Nesse mesmo estudo, assim como em Grimm *et. al.*

(2000), constatou-se que as anomalias de precipitação mais pronunciadas ocorrem durante a primavera austral tanto nos períodos quentes da Oscilação Sul, quanto nos seus períodos frios.

O mês de novembro do ano em que ocorre o período quente da Oscilação Sul apresenta, predominantemente, os maiores valores de anomalias de chuva, enquanto que esse mesmo mês apresenta os valores de precipitação mais baixos em anos correspondentes ao período frio da oscilação (GRIMM *et. al.*, 1998; GRIMM *et. al.*, 2000). A presente pesquisa, portanto, corrobora com a literatura, verificando que a tendência positiva de precipitação mensal mais significativa encontrada corresponde ao mês de novembro, constatando uma tendência de aumento das chuvas na área de estudo durante este mês entre 1948 e 2010, assim como no *acumulado anual de chuva* e na *tendência mensal acumulada*.

Contudo, a variabilidade climática responsável por essa variação no padrão de chuvas da região de Mostardas não atua de forma exclusiva para a configuração deste padrão, visto que se apresenta encaixado em outra variabilidade denominada Oscilação Decenal do Pacífico (ODP). Conforme Mantua *et. al.* (1997) e Mantua e Hare (2002), a ODP é um padrão climático de escala de tempo interdecadal e espacialmente extensa, a qual advém do Oceano Pacífico e afeta, de maneira cíclica, a temperatura da superfície do mar nessa bacia oceânica e o clima das costas e continentes.

Diversos estudos apontam a influência da ODP nos regimes de precipitação de diversos locais, entre eles o do sul do Brasil (MANTUA e HARE, 2002) e o de Porto Alegre (PRESTES *et. al.*, 2011). O estudo de Miot da Silva *et. al.* (2013) encontrou evidências de que o aumento da precipitação responsável pelo crescimento da vegetação sobre as dunas do Sul do Brasil está relacionado ao aumento da frequência de eventos El Niño, estando essa alta frequência relacionada ao início do período quente da ODP.

De acordo com Mantua *et. al.* (1997), os denominadas períodos quentes da ODP promovem o aumento da ocorrência de eventos El Niño e, conseqüentemente, o incremento das chuvas no sul do Brasil, enquanto que os períodos frios da ODP resultam no aumento da frequência de eventos La Niña e na conseqüente redução das chuvas nessa região do país. Ainda conforme esses autores e segundo Minobe (1997), a ciclicidade da ODP apresentou o seguinte padrão no século XX: a ocorrência de um período quente de 1925 a 1946, de um período frio entre 1947 e 1976 e de mais um período quente

iniciado em 1977, o qual teve fim no início do século XXI para dar lugar a mais um possível período frio, como pode ser verificado na figura 8.

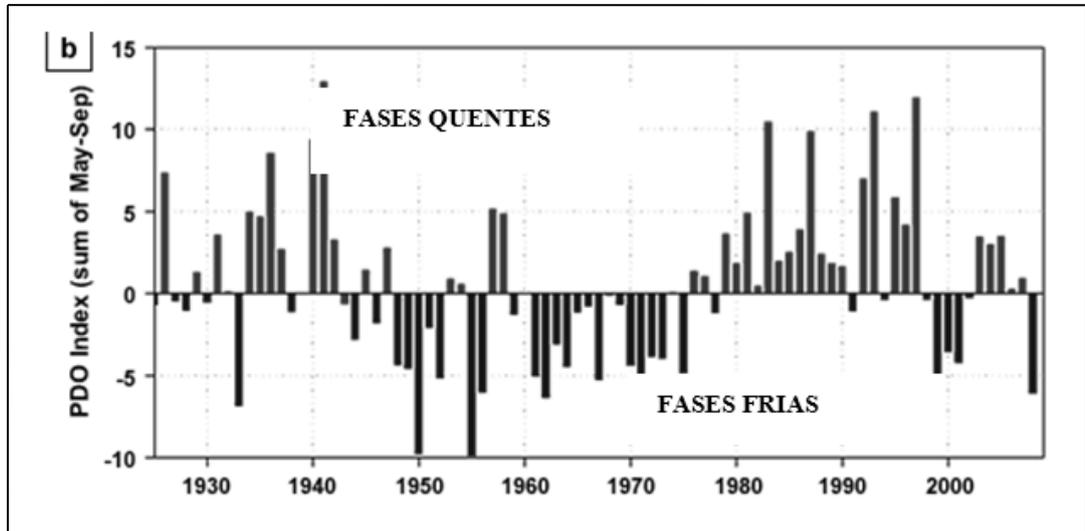


Figura 8: Índice da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), ilustrando as fases quentes e as fases frias. Modificado de www.goes-r.gov. Acesso em janeiro de 2016.

Logo, constata-se que a série entre 1948 e 2010, utilizada para analisar a precipitação em Mostardas, compreende um ciclo completo da ODP, abrangendo um período frio e um período quente. Devido ao possível começo de mais um período frio corresponder ao início do século XXI, não é possível perceber nos ecossistemas de dunas costeiras a sua recente atuação, predominando os reflexos típicos do clima úmido proporcionado pelo período quente anterior.

O padrão climatológico dos ventos observados na região de Mostardas refletiu que, além da predominância evidente do vento Nordeste e da marcante atuação do vento Sul, que possui as maiores velocidades, ocorreram períodos em que os ventos apresentaram velocidades mais baixas e períodos em que essa velocidade foi maior. Nas décadas de 1960 e entre 2008 e 2014, os gráficos indicaram menores valores médios de velocidade dos ventos (Figura 6 e 7), enquanto que as médias de velocidade das décadas de 1970, 1980 e 1990 foram maiores, além dessas últimas apresentarem maior variabilidade direcional.

De acordo com Barry e Chorley (2009) o gradiente de pressão é maior à medida que a velocidade dos ventos aumenta, sendo esse aumento dos valores médios de velocidade do vento

observados nas décadas de 1970, 1980 e 1990. Essa variação reflete uma possível modificação no padrão de ventos da área, a qual pode ter sido influenciada pelos fatores climáticos atuantes ou por variações na superfície do campo de dunas, como as mudanças na cobertura vegetal tanto nativa, quanto referente ao cultivo do *Pinus* sp.

A partir da elaboração do Plano de Manejo do PNLP em 1999, a silvicultura do *Pinus* sp. foi reconhecidamente concebida como prejudicial à conservação do parque, sendo proibida a introdução e o cultivo de espécies exóticas no seu entorno (KNAK *et. al.*, 1999). Assim, torna-se possível que o uso do solo para a silvicultura possa ter influenciado no padrão de ventos local da área.

Logo, apesar do setor da PCRGS na qual está situado o campo de dunas apresentar um aumento volumétrico da antepraia e, conseqüentemente, produzir um estoque sedimentar subaquoso que alimenta o campo de dunas frontal e transgressivo da área (ABSALONSEN & TOLDO, 2007), o incremento da pluviosidade e, possivelmente, a interferência da silvicultura provocaram a redução do suprimento arenoso na região. A atuação conjunta desses fatores resultou, portanto, na evolução do campo eólico para o cenário atual.

5 Conclusão

O campo de dunas transgressivo situado na margem leste da lagoa do Peixe, no PNLP, apresentou transformações na sua morfologia durante o período entre 1948 e 2010. A morfologia eólica do campo em 1948 apresentava inúmeras e extensas cadeias barcanoides e pouca cobertura vegetal, evoluindo para poucas e pequenas cadeias barcanoides, barcanas isoladas, lençóis de areia, bacias de deflação e dunas parabólicas em 2001 e em 2010, aumentando sua cobertura vegetal e as áreas úmidas nos subambientes de interdunas.

No que concerne aos fatores que contribuíram para essa evolução morfológica, constatou-se que:

- Entre 1948 e 2010, houve um incremento da pluviosidade na região de Mostardas, refletindo-se significativamente no *acumulado anual de chuva*, ou seja, no total de precipitação durante o

período de um ano, e na *tendência mensal acumulada*, que representa o cálculo total das anomalias de chuva mensais do período estudado;

- Durante o espaço temporal analisado, a tendência de aumento da precipitação pluvial refletiu-se, também, no mês de novembro de maneira significativa. O mês de novembro é reconhecidamente o mês em que os reflexos do fenômeno climático El Niño Oscilação Sul (ENOS) são mais evidentes, havendo incremento das chuvas nos anos de El Niño e diminuição da pluviosidade nos anos de La Niña;
- A tendência de aumento das chuvas anualmente e durante o mês de novembro entre 1948 e 2010 acompanhou a ciclicidade da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), a qual compreendeu uma fase fria entre 1947 e 1976, na qual predominaram eventos La Niña no sul do Brasil, e uma fase quente entre 1977 e o início do século XXI, em que predominaram eventos El Niño na Região Sul brasileira;
- Além do aumento das chuvas, o padrão de ventos da área de estudo apresentou aumento da velocidade média durante as décadas de 1970, 1980 e 1990, diminuindo esses valores entre 2008 e 2014. O padrão direcional dos ventos, por sua vez, apresentou maior variabilidade durante esse período, reduzindo-a entre 2008 e 2014;
- As variações aerodinâmicas constatadas na área de estudo podem, talvez, ter relação com as mudanças verificadas na cobertura vegetal do solo, tanto da vegetação nativa, quanto do desenvolvimento do cultivo de *Pinus* sp. no local. A influência direta da vegetação no padrão de ventos, contudo, pode ser melhor verificada futuramente através do uso de modelos que considerem estas variáveis.

Portanto, a evolução morfológica constatada no campo de dunas entre 1948 e 2010 ocorreu devido à atuação conjunta entre os fatores climáticos e os fatores antropogênicos, ou seja, de uso do solo no campo de dunas. O incremento nas médias pluviométricas foi fundamental para o aumento das áreas úmidas interdunas e para o crescimento da cobertura vegetal sobre a área, facilitando o desenvolvimento da vegetação nativa e a dispersão do *Pinus* sp. sobre o campo eólico, possibilitando mudanças no suprimento arenoso local.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto de Geociências, ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela estrutura oferecida para a pesquisa, ao Parque Nacional da Lagoa do Peixe por permitir a realização deste trabalho e por disponibilizar suas fotografias aéreas, ao projeto RS Biodiversidade por disponibilizar as imagens orbitais do Litoral Médio do RS, à Marinha do Brasil e ao Instituto Nacional de Meteorologia pela disponibilização dos dados de vento.

REFERÊNCIAS

- ABSALONSEN, L. & TOLDO JR., E. E. 2005. Variação da linha de costa para a praia de Mostradas. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO 10. 2005, Guarapari, Anais... , ABEQUA, 1CD-ROM
- ALLAN, R.; HAYLOCK, M. 1993. Circulation Features Associated with Winter Rainfall Decrease in Southwestern Australia. In: **Journal of Climate**. Volume 6.
- ARAÚJO, L.C. 1930. **Memória Sobre o Clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura.
- BARRY, R.; CHORLEY, R. 2012. **Atmosfera, Tempo e Clima**. Editora Bookman.
- BIGARELLA, J. J. 1972. Eolian Environments: their characteristics recognition and importance. In: RIGGBY, J.K.; HAMBLIN, W. K. **Recognition of Ancient Sedimentary Environments**. SEPM: Special Publication.

CARRARO, C. C. et. al. 1974. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul**. Instituto de Geociências. UFRGS.

CARTER, R. W. G. 1988. **Coastal Environments**. New York: Academic Press.

CORDAZZO, C. V; PAIVA, J. B; SEELIGER, U. 2006. **Guia Ilustrado Plantas das Dunas da Costa Sudoeste Atlântica**. Pelotas. USEB.

DAVIS, R. A. 1992. **Depositional Systems**: na introduction to sedimentology and stratigraphy. Prentice Hall.

DIAZ, A.; STUDZINSKI, C.; MECHOSO, C. 1998. Relationships Between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. In: **American Meteorological Society**. Volume 11.

DILLENBURG, S. R.; ROY, P. S.; COWELL, P. J. & TOMAZELLI, L. J. Influence of Atecedent Topography on Coastal Evolution as Tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). In: **Journal of Coastal Research**. 16: 71-81.

GRIMM, A.; FERRAZ, S.; GOMES, J.; 1998. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. In: **American Meteorological Society**. Volume 11.

GRIMM, A.; BARROS, V.; DOYLE, M. 2000. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. In: **American Meteorological Society**, Volume 13.

GROISMAN, P.; KNIGHT, R.; EASTERLING, D.; KARL, T.; HEGERL, G.; RAZUVAEV, V. 2005. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. In: **American Meteorological Society**, Volume 18.

- HAYLOCK, M. R. *et. al.* 2006. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. In: **American Meteorological Society**, Volume 19.
- HESP, P.; THOM, B. 1977. Geomorphology and evolution of transgressive dunefields. In: HUNTER, R. E. Basic Types of Stratification in Small Eolian Dunes. In: **Sedimentology**. 24: 361-387.
- HESP, P. A.; 1999. The Beach Backshore and Beyond. Chpt. 6 in: A.D. SHORT (Editor), **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**: 145-170. John Wiley.
- MANTUA, N. J., S. R. HARE, Y. ZHANG, J. M. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. In: **Bull. American Meteorology Society**, 78, 1069–1079.
- MANTUA, N.; HARE, S. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. In: **Journal of Oceanography**, Volume 58, p. 35-44.
- MARCOMINI, S. C.; MAIDANA, N. 2006. Response of Eolian Ecosystems to Minor Climatic Changes. In: **Journal of Coastal Research**. Special Issue 39. 204 – 208.
- MARTINS, L. R. 1967. **Aspectos Depositionais e Texturais dos Sedimentos Praiais e Eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 5:1-37.
- MCKEE, Edwin. 1979. An introduction to the study of global sand seas. In: **A Study of Global Sand Seas**, E. McKee, ed., pp. 1- 20. Washington, U. S. Geological Survey Paper 1052.
- MINOBE, S. 1999: Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts. In: **Geophys. Res. Lett.**, **26**, 855–858.

MINOBE, S. 2000. Spatio-temporal structure of the pentadecadal variability over the North Pacific.

In: *Prog. Oceanogr.*, 47, 381–408.

MIOT DA SILVA, G.; MARTINHO, C. T.; HESP, P.; KEIM, B.; FERLIGOJ, Y. 2013. Changes in Dunefield Geomorphology and Vegetation Cover as a Response to Local and Regional Climate Variations. In: **Journal of Coastal Research**, SI 65.

MIOT DA SILVA, G.; HESP, P. 2013. Increasing Rainfall, Decreasing Winds and Historical Changes in Santa Catarina Dunefields, Southern Brazil. In: **Earth Surface Processes and Landforms**.

MORRIS, R. H. 1963. **Geologia Geral das Quadrículas de Gravataí, Taquara e Rolante, Rio Grande do Sul, Brasil**. Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 5: 1-37.

NORDSTROM, K.; PSUTY, N.; CARTER, R. (Eds), **Coastal Dunes: Processes and Morphology**. Chichester: J Wiley & Sons, 1990, p. 253-288.

SHORT, A. 2015. **Coastal Dunes**. Aula ministrada na disciplina Beaches: Global Processes – theory, field and practice.

SOLIANI JR, E. 1973. **Geologia da Região de Santa Vitória do Palmar, RS, e a Posição Estratigráfica dos Fósseis de Mamíferos Pleistocênicos**. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Dissertação de Mestrado.

TSOAR, H. 2005. Sand Dunes Mobility and Stability in Relation to Climate. In: **Elsevier**. 357, 50-56.

TSOAR, H.; L.; N.; PORAT, N.; MAIA, L.; HERRMANN, H.; TATUMI, S.; CLAUDINHO-SALES, V. 2009. The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in Ceará State (NE Brazil). In: **Quaternary Research**. 71, 217-226.

TOLDO JR, E. E; NICOLODI, J. L; ALMEIDA, L. E. S. B; CORRÊA, I. C. S; ESTEVES, L. S. 2004. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. In: **Journal of Coastal Research**, (39) Proceedings of the 8th International Coastal Symposium.

TOMAZELLI, L. J. 1990. **Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais Holocênicos do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul – com ênfase no sistema eólico**. Tese de Doutorado em Geociências. Porto Alegre: UFRGS.

TOMAZELLI, L. J. VILLWOCK, J. A. 1991. Geologia do Sistema Lagunar Holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. In: *Pesquisas*, 13-24.

TOMAZELLI, L. J. 1993. O Regime de Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. In: *Pesquisas*, 18-26.

VILLWOCK, J. A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. *Pesquisas*, 16:5-49.

VILLWOCK, J. A. TOMAZELLI, L. J. 2007. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: **Biodiversidade**: regiões da lagoa do Casamento e os butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Ministério do Meio Ambiente. Brasília/DF. Disponível em: www.mma.gov.br . Acesso em junho de 2015.

WILLIAMS, D. F. *et. al.* 1988. Chronology of the Pleistocene Oxygen Isotope Record: 0-1.88 my. BP.

Lista das Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção no Rio Grande do Sul. Decreto nº 41.672, de 10 de junho de 2002./Ana Alice Biedzicki de Marques, Carla Suertegaray Fontana, Eduardo Vélez, Glayson Ariel Bencke, Mauricio Schneider, Roberto Esser dos Reis – Porto Alegre: FZB/MCTPUCRS/PANGEA, 2002, 52 p.

NÚCLEO DE EDUCAÇÃO E MONITORAMENTO AMBIENTAL/NEMA. **Gestão Ambiental das Dunas Costeiras.** Disponível em: <http://www.nema-rs.org.br/files/publicacoes/dunas.pdf>. Acesso em março de 2015.

ANEXO 1 – Carta de Submissão do Artigo



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 15 de janeiro de 2016.

À
Ana Rita Oliveira Hahn

Venho comunicar o **recebimento** do manuscrito abaixo listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição. O manuscrito será analisado quanto ao escopo, conteúdo e enquadramento nas normas de preparação da revista, para que então seja iniciado o processo de análise por pares.

Título: *Transformações morfológicas no campo de dunas transgressivo da margem leste da Lagoa do Peixe, litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil.*

Autores: **Ana Rita Oliveira Hahn, Iran Carlos Stalliviere Corrêa, Luana Carla Portz, Rogério Portantiolo Manzolli & Denilson Ribeiro Vianna.**

Atenciosamente,

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza
Editor Chefe

Pesquisas em Geociências
Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia
Av. Bento Gonçalves, n° 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127
CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.
Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br

ANEXO 2 – Resumo Apresentado no Congresso Brasileiro de Oceanografia 2014

Manejo do Meio Natural e Gestão da Silvicultura na Margem Leste da Lagoa do Peixe, Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil

PALAVRAS-CHAVE: Campo de Dunas, Silvicultura, Lagoa do Peixe, Parque Nacional

O Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP) foi criado através do Decreto N° 93.546/86, tendo como objetivo proteger os ecossistemas litorâneos da região da lagoa do Peixe. Essa região apresenta uma grande variedade de ecossistemas frágeis, inseridos na Planície Costeira do Rio Grande do Sul - Brasil, como: banhados, campos de dunas, matas de restinga e lagoas de água doce e salobra. A presente pesquisa consiste a uma contribuição ao manejo do meio natural no PNL, onde formas de uso do solo, como a silvicultura, ameaçam a preservação do ambiente. Neste sentido, objetivou-se analisar a área de ocupação por silvicultura na margem leste da lagoa principal do parque, lagoa do Peixe, entre os anos de 2001 e 2011. A metodologia utilizada no trabalho baseou-se na análise de ortofotos com data de 2001 e imagens de satélite referentes a 2011 no canal espectral correspondente ao visível, obtidas através dos sensores HRG e HRS do satélite SPOT-5, as quais foram extraídas do Google Earth, visando identificar as principais alterações morfológicas no campo de dunas e a extensão da vegetação exótica inserida na margem leste da lagoa do Peixe. A pesquisa compreendeu as seguintes etapas: georreferenciamento das imagens das diferentes datas, classificação manual por meio da vetorização e verificação de campo. O georreferenciamento e a vetorização foram realizadas no software ArcGis®, sendo as áreas ocupadas pelo *Pinus* sp. delimitadas e as áreas correspondentes a cada ano calculadas. Essas ferramentas possibilitam uma visualização da área de trabalho em uma escala que auxilia na interpretação das unidades morfoestratigráficas, no qual, associadas a outras técnicas, revelam detalhes imperceptíveis no próprio ambiente e auxiliam na avaliação da evolução das mudanças geomorfológicas na escala histórica. Para a verificação do padrão direcional de migração das dunas presentes na área de estudo, foram utilizados dados históricos de vento dos anos de 1970 a 1982, os quais foram levantados a partir de pesquisa bibliográfica acerca do regime de ventos da região. Verificou-se que a área ocupada pelo *Pinus* sp. na porção localizada na margem leste da lagoa do Peixe reduziu 35% entre os anos de 2001 e 2011, sendo delimitados 221 hectares de cultivo em 2001 e 143 hectares de silvicultura em 2011. Para uma análise mais abrangente, esses dados foram comparados ao estudo realizado por Portz (2011), que analisou a dispersão do *Pinus* sp. entre os anos de 1986 e 2009 e constatou um avanço da área ocupada pela espécie exótica em questão durante esse período, tendo a área de silvicultura avançado de 61 hectares em 1986 para 252 hectares em 2009 em função de seu plantio e de sua dispersão natural. Essa dispersão é favorecida em função das espécies exóticas possuírem vantagens competitivas em relação às espécies nativas, como ausência de predadores e interferência em processos ecológicos locais, que são essenciais nas cadeias tróficas e na ciclagem de nutrientes do ambiente local no qual estão inseridas. Quando comparado, então, ao estudo de Portz (2011), o presente trabalho apresentou uma redução de 35% entre o período de 2001 e 2011. Essa redução pode ser atribuída ao desenvolvimento, nos últimos anos, de uma gestão e manejo mais eficientes da área abrangida pelo PNL. Face à categoria de Parque Nacional, classificada como uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, o que demanda o uso apenas indireto de seus recursos naturais, as políticas públicas que gerem o parque necessitam de formas de manejo da silvicultura que impactem menos o seu ambiente natural, sendo visível que essas formas de manejo foram aplicadas nos últimos anos. Observou-se, também, que devido ao vento NE ser considerado como de alta energia e ser o mais frequente não

apenas no setor médio do Litoral do Rio Grande do Sul, como também em toda a Planície Costeira do Estado (TOMAZELLI, 1993), o padrão direcional de migração das dunas é NE-SW, sendo sua migração em direção à lagoa inerente, uma vez que o corpo lagunar está situado na rota de migração do depósito eólico em questão. Contudo, a lagoa do Peixe está posicionada longitudinalmente às plantações de *Pinus* sp., as quais efetuam uma ação de barreira às dunas e atenuam os riscos de colmatagem da lagoa devido ao seu assoreamento. Logo, apesar da política de corte e de controle da silvicultura no PNLN ter sido eficientemente aplicada e gerida nos últimos anos, deve-se considerar o anteparo feito pelo *Pinus* sp. ao avanço das dunas sobre o corpo lagunar. Mesmo que a interferência nesse padrão de migração do campo de dunas pareça negativo em função de interferir no equilíbrio natural do meio, a gestão do cultivo de *Pinus* sp. auxiliará tanto no controle de sua dispersão natural, quanto na preservação e conservação da lagoa do Peixe, visto que o equilíbrio dinâmico natural da área de estudo foi interrompido desde que as primeiras extensões de silvicultura foram plantadas. Por conseguinte, diante da situação atual na qual se encontra o campo de dunas da margem leste da lagoa do Peixe, a possibilidade de gerir a silvicultura nessa área do parque de forma que se evite a mobilização das dunas em direção ao corpo lagunar e, conseqüentemente, o seu assoreamento, deve ser considerada. Dessa maneira, almeja-se uma gestão da silvicultura que impacte menos o ambiente natural, visando à preservação e conservação da lagoa. As alterações resultantes da busca pela retomada do ambiente natural, através da retirada da vegetação exótica, deve ser acompanhada de estudos e monitoramento das possíveis alterações que podem ocorrer. (Fonte Financiadora: CNPq)

REFERÊNCIAS

- PORTZ, L.; MANZOLLI, R. P.; SALDANHA, D. L.; CORRÊA, I. C. S. Dispersão de Espécie Exótica no Parque Nacional da Lagoa do Peixe e seu Entorno. In: **Revista Brasileira de Geografia Física**. Porto Alegre, 2011.
- TOMAZELLI, L. J. O Regime de Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. In: **Pesquisas**. Porto Alegre: UFRGS, 1993.

ANEXO 3 – Resumo apresentado na I Semana Acadêmica dos Pós-Graduandos do Instituto de Geociências da UFRGS

EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO CAMPO EÓLICO TRANSGRESSIVO DA MARGEM LESTE DA LAGOA DO PEIXE, LITORAL MÉDIO DO RS, BRASIL, ENTRE 1948 E 2010

Ana Rita Oliveira Hahn¹, Iran Carlos Stalliviere Corrêa², Luana Carla Portz³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ritageohahn@gmail.com; ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Iran.correa@ufrgs.br; ³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, luanaportz@gmail.com.

Com o crescente avanço da urbanização e das atividades agrícolas na zona costeira do Rio Grande do Sul, os campos de dunas eólicas apresentam, cada vez mais, uma considerável suscetibilidade à degradação. Face a esse cenário, esse ecossistema demanda importante proteção, sendo essa condição ainda mais complexa quando ele se encontra situado em uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, como é o caso da área de estudo da presente pesquisa. Este trabalho concerne ao estudo da evolução morfológica, entre os anos 1948 e 2010, do campo de dunas transgressivo da margem leste da lagoa do Peixe, principal corpo lagunar do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP). O PNL, localizado no setor médio da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), apresenta ecossistemas costeiros extremamente frágeis, como matas de restinga, banhados, lagoas de água doce e salobra e campos de dunas frontais e transgressivos, configurando como uma área onde é permitido o uso apenas indireto de seus recursos naturais. Diante disso, esta pesquisa propõe-se a verificar as variações morfológicas ocorridas nesse sistema eólico transgressivo durante o período supracitado e identificar os agentes responsáveis pelo controle dessas transformações. A metodologia consistiu na aquisição, processamento e interpretação de imagens do satélite SPOT-5 referente a 2010 e de fotografias aéreas de 1948 e de 2001, tendo sido todas georreferenciadas no software ArcGis, além de levantamento bibliográfico referente ao tema. Verificou-se que o sistema de dunas transgressivo passou por mudanças em sua morfologia durante o período analisado, identificando-se inúmeras cadeias barcanoides e extensas dunas lineares em 1948 e sua considerável redução nas imagens atuais, ocorrendo a evolução de ambas as feições para barcanas isoladas e lençóis de areia em 2001. Nas imagens de 2010, identificaram-se barcanas isoladas, lençóis de areia, feições parabólicas e áreas úmidas nos ambientes de interdunas. Constata-se que estas transformações são, provavelmente, o resultado de alterações no suprimento sedimentar da área de estudo, visto que foram identificadas feições típicas de ambientes de dunas onde se observam variações dessa variável, como as feições parabólicas. Verifica-se, inclusive, erosão em alguns trechos da praia oceânica adjacente ao campo de dunas, onde ocorre afloramento de turfas holocênicas e de lamas lagunares. Infere-se, portanto, sobre prováveis modificações na dinâmica climatológica atuante na área de estudo durante o espaço temporal analisado, como variações na pluviosidade local, devido ao aumento verificado de áreas úmidas interdunares, e no padrão de ventos da região, o qual configura como o principal agente de transporte sedimentar nos ambientes eólicos. A ação antrópica também configura como uma possível causa dessas transformações morfológicas ocorridas no campo de dunas, pois o cultivo de *Pinus* sp. na margem da lagoa do Peixe e em meio às dunas modifica a dinâmica natural do ambiente local. Portanto, a presente pesquisa permeia as complexas variáveis que envolvem os estudos ambientais, sendo considerados tanto os aspectos geológicos e climáticos, quanto a ação antrópica.

Palavras-chave: Dunas Transgressivas; Evolução Morfológica; Feições Eólicas.

ANEXO 4 – Resumo apresentado no XV Congresso Brasileiro da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário

GEOTECNOLOGIAS NO ESTUDO DA MIGRAÇÃO DE DUNAS: O CASO DO CAMPO EÓLICO TRANSGRESSIVO DA MARGEM LESTE DA LAGOA DO PEIXE, LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Ana Rita Oliveira Hahn¹ Iran Carlos Stalliviere Corrêa² Luana Carla Portz³ Rogério Portantiollo Manzolli⁴ Javier Alcantara Carrió⁵

¹Programa de Pós-Graduação em Geociências - Laboratório de Gerenciamento Costeiro - Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ²Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ³Pesquisadora Convidada – Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ⁴Programa de Pós-Graduação em Geociências - Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul ⁵Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo

A morfodinâmica dos ambientes sedimentares eólicos é controlada por inúmeros fatores, tanto naturais, quanto antrópicos. Entre os processos naturais que atuam no controle morfodinâmico dessas áreas, estão aqueles controlados pelos fatores do clima, como temperatura, umidade e pressão, e entre os antrópicos estão as formas de uso do solo. Para haver uma melhor compreensão dessa morfodinâmica, o uso de geotecnologias é muito relevante. O objetivo do presente trabalho é verificar a taxa de migração de duas dunas transgressivas, entre os anos 2010 e 2015, do depósito eólico situado na margem leste da lagoa do Peixe, principal corpo lagunar do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP). O PNL P está localizado no setor médio da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), numa região ambientalmente frágil situada entre a laguna dos Patos e o oceano Atlântico. A unidade de conservação em questão foi criada através do decreto nº 93.546/86, o qual reconheceu que essa região configura como rota de migração de aves que encontram em sua região condições propícias para sua alimentação e repouso. A criação do PNL P visou, também, à preservação e à conservação dos ecossistemas litorâneos correspondentes às matas de restinga, banhados e campos de dunas frontais e transgressivos, sendo esses últimos definidos por Gardner (1955) como sendo feições eólicas que migram para o interior do continente movidas pela ação do vento predominante. A metodologia consistiu no levantamento topográfico de duas dunas barcanas através do uso de DGPS (*Differential Global Positioning System*), por meio do método *Stop and Go*. Esse levantamento topográfico foi realizado em anos distintos (2010 e 2015), de maneira que fosse possível efetuar a análise temporal da dinâmica de migração das dunas. O processamento dos dados e o cálculo de deslocamento das dunas foram feitos no software Arcgis, sendo gerados Modelos Digitais de Elevação através do método de interpolação *Kriging*. Para a realização do cálculo de deslocamento das dunas, foram delimitadas linhas onde ocorria inversão de declividade das feições, sendo determinado o deslocamento médio das cristas. Para um melhor reconhecimento espacial da área de estudo, também foram usadas imagens de 2010 do sensor HRG (*High Resolution Geometric*), do satélite SPOT-5. Para a determinação do padrão de migração das dunas, foram utilizados dados de direção e de velocidade do vento, oriundos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e que correspondem aos anos escolhidos para o estudo. Verificou-se, primeiramente, que a crista 1 migrou 97,5 metros entre 2010 e 2015, enquanto que a crista 2 migrou 69 metros entre esse mesmo período, sendo ambas as cristas representadas por linhas na figura 1. O sentido de migração da crista 1 foi para Oeste, enquanto que o sentido de

migração da crista 2 foi para Sudoeste. No que concerne à direção predominante do vento que atuou no ambiente durante o período analisado, os gráficos de vento gerados mostraram que foi predominantemente de Nordeste, podendo essa atuação ser vista no sentido de migração apresentado na crista 2. Conclui-se, portanto, a eficácia do uso de geotecnologias no estudo da dinâmica de ambientes sedimentares eólicos, visto que as ferramentas utilizadas no presente trabalho possibilitaram a representação digital do comportamento das feições eólicas da área de estudo ao longo de cinco anos. Logo, a importância dessas tecnologias deve ser evidenciada e divulgada no âmbito das geociências.

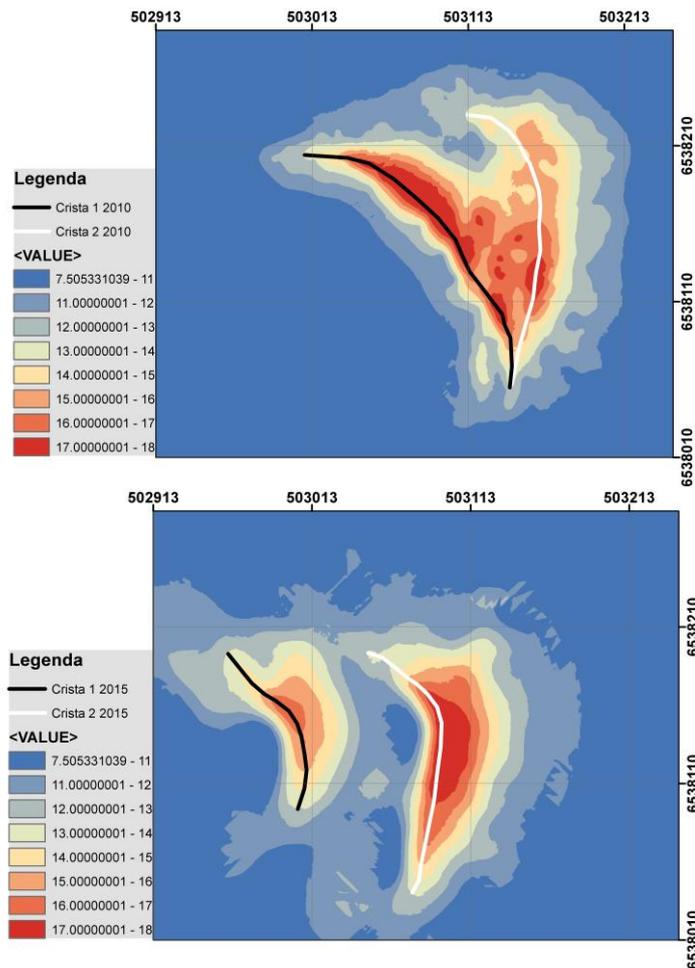


Figura 1. Modelos Digitais de Elevação de 2010 (acima) e de 2015 (abaixo), ilustrando as linhas de deslocamento das cristas das dunas. A crista 1 corresponde à linha de cor preta, enquanto que a crista 2 corresponde à linha de cor branca. Elaboração: Carrió e Manzolli, 2015 (Projeção UTM – MC = 51).

Referências

- GARDNER, D. E. 1955. **Beach Sand Heavy Mineral Deposits of Eastern Australia**. Canberra: Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. Department of National Development.
- KNAK, R.B. (org.). 1999. **Plano de Manejo do Parque Nacional da Lagoa do Peixe**. Fase II. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.