

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IGEO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – PPGGEO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GEOLOGIA MARINHA

**CAMPO DE DUNAS DE ITAPEVA (TORRES-RS):
GEOMORFOLOGIA, EVOLUÇÃO E GESTÃO COSTEIRA**

GABRIELA CAMBOIM ROCKETT

Porto Alegre - 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IGEO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - PPGGEO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GEOLOGIA MARINHA

**CAMPO DE DUNAS DE ITAPEVA (TORRES-RS):
GEOMORFOLOGIA, EVOLUÇÃO E GESTÃO COSTEIRA**

GABRIELA CAMBOIM ROCKETT

ORIENTADOR: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

CO-ORIENTADORES: Prof. Dr. Patrick A. Hesp

Prof. Dr. Nelson L. S. Gruber

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Caroline Thaís Martinho – Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

Prof^a. Dr^a. Flavia Cristiane Farina – Departamento de Geodésia, Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Prof^a. Dr^a. Marinez Eymael Garcia Scherer – Departamento de Geociências,
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Tese de Doutorado apresentada como requisito
parcial para a obtenção do título Doutor em
Ciências – Geologia Marinha.

Porto Alegre - 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitora: Jane Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Rockett, Gabriela Camboim

Campo de dunas de Itapeva (Torres-RS): geomorfologia, evolução e gestão costeira. / Gabriela Camboim Rockett. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.
[192 f.] il.

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

Orientador(es): Eduardo Guimarães Barboza
Coorientador(es): Patrick A. Hesp; Nelson L.S. Gruber

1. Geologia costeira 2. Geotecnologias 3. Clima 4. Unidade de conservação I. Título.

CDU 56

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila F. T. Binotto

CRB 10/1743

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas e instituições que colaboraram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional das mais diversas formas, as quais foram fundamentais na elaboração e concretização desta Tese, em especial:

Aos professores Dr. Luiz Emílio Sá Brito de Almeida (*in memorian*) e Dr. Ricardo N. Ayup Zouain (*in memorian*), por terem sido os meus primeiros contatos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e por terem me aceitado como aluna especial nas suas disciplinas, um ano antes de eu realizar a prova para ingresso no Programa de Pós-Graduação em Geociências.

Ao Prof. Dr. Eduardo G. Barboza, por me orientar, acreditar e confiar no meu trabalho. Obrigada pela oportunidade e por estar sempre à disposição.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Nelson Luiz S. Gruber e Prof. Dr. Patrick Hesp, pelos ensinamentos na área de gestão costeira e geomorfologia de dunas, pelas discussões nos trabalhos de campo, pelo incentivo, pela confiança no meu trabalho e pelo rock'n'roll!!!

Ao Programa de Pós-Graduação de Geociências (PPGGEO) e aos seus professores da área de Geologia Marinha, pela grande contribuição a minha formação acadêmica. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA) e aos seus professores, pelas disciplinas que tive a oportunidade de cursar de forma opcional, e que complementaram e contribuíram muito na minha formação.

Ao Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos (CECO/UFRGS), pela disponibilização de ambiente e equipamentos adequados ao trabalho dos pós-graduandos. Ao Laboratório de Gerenciamento Costeiro (LABGERCO/UFRGS), pela oportunidade de participação em projetos aplicados de gerenciamento costeiro e nos diversos trabalhos de campo, os quais foram essenciais e enriquecedores.

Ao Departamento de Geodésia, pela disponibilização de equipamentos de Posicionamento de Precisão GNSS, e ao técnico Robson Aquino por todo o auxílio. Ao Laboratório de Sismoestratigrafia, pela disponibilização dos equipamentos de Georradar.

Ao Prof. Dr. Jorge Alberto Villwock (*in memorian*), por suas relevantes contribuições ao conhecimento geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul e por ser um exemplo de caráter, carisma e competência. Professor que tive a oportunidade de conhecer e trabalhar durante minha graduação e mestrado, e que, de alguma forma, me inspirou e incentivou a seguir seu caminho desvendando a Planície Costeira do RS.

Aos professores Dr. Luiz José Tomazelli e Dra. Maria Luiza C. C. Rosa, pelos seus trabalhos inspiradores e pelas contribuições dadas ao longo do desenvolvimento desta Tese.

Aos professores Dr. Ricardo Ayup Zouain (*in memoriam*) e Dra. Dejanira Saldanha, pelos ensinamentos e confiança durante minha trajetória como professora substituta do Departamento de Geodésia/UFRGS. Aos demais professores do Departamento, por todo o apoio e disponibilidade para discussões e troca de conhecimentos durante este período também. Aos meus alunos, pelas experiências trocadas na construção do conhecimento e consequente contribuição para o meu desenvolvimento profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de doutorado.

Ao Parque Estadual de Itapeva/SEMA, especialmente ao gestor Paulo Carlos Grubler, biólogos Danúbia do Nascimento e Rômulo Valim, guarda-parque “seu” Ari e demais funcionários, por sempre estarem disponíveis e serem sempre cordiais, pelo apoio logístico e acompanhamento durante os trabalhos de campo e pela disponibilização de dados e documentos para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo da Prefeitura Municipal de Torres, especialmente ao biólogo Rivaldo da Silva, por sempre estar disponível para contribuir com esta pesquisa, e pela disponibilização de fotografias aéreas e demais documentos que auxiliaram na elaboração desta Tese.

Ao historiador Leonardo Gedeon e ao biólogo Jonas Brocca, profissionais e cidadãos engajados na causa ambiental e na luta por melhorias na cidade, pelas discussões e disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados meteorológicos. Ao Sr. Melo, do Aeroporto de Torres, pelas orientações acerca dos dados meteorológicos disponíveis. Ao Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem-RS (DAER-RS) pela disponibilização de fotografias aéreas.

Agradeço a querida bolsista do curso de Eng. Ambiental que trabalhou comigo nesta pesquisa, Marina R. Fagundes, por todo o apoio. Aos bolsistas do curso de Geologia Lucas Bofill e Laura Menezes, pela ajuda na compilação de dados meteorológicos e Débora S. Watanabe (sushi), pela elaboração das figuras da minha monografia de qualificação.

Agradeço aos meus colegas do PPGGEO pela amizade, parceria em trabalhos de campo e congressos, discussões, viagens e momentos de descontração, especialmente Carla Andrade, Ana Fátima da Silva, Eduardo Martins, Inaiê Miranda, Samanta Cristiano, Luana Portz,

Rogério Manzolli, Rafael Mastracusa, Ricardo Franchini, Suelen Silva, Fernando Scottá, Anderson Biancini, Frederico Scarelli, Júlio F. Oliveira, Cristiane Bahi, Maria Luiza Rosa, Michel Ivanoff, e Volney Bittencourt. Às colegas e geógrafas do POSGEA, que tive a oportunidade de conhecer fazendo disciplinas opcionais, pela troca de conhecimentos e amizade, especialmente Andrea Lemos, Carina Petsch, Amanda Bahi de Souza e Aline Kunst. Fiz grandes amigos!

Agradeço aos colegas, bolsistas e amigos que foram pra campo comigo, para a coleta de dados desta Tese: Rafa, Ina, Sami, Lucas Crippa, Ferdi, Marina Fagundes, Aline Kunst, Edu Martins e Priscila Telles. Muito obrigada pela parceria!!! Aos amigos e profissionais que trabalharam comigo na análise de alguns dados desta tese: Eng. Amb. Carlos E. Simão, Eng. de Energia Priscila Telles, Oceanól. Luana Portz e Biól. Samanta Cristiano.

Aos meus amigos da vida, pelo incentivo, apoio, conversas, risadas e por estarem sempre presentes de alguma forma. Agradecimento especial aos amigos que foram fundamentais para despertar um carinho e interesse pela área de estudo desta Tese: Lina, pela amizade que ultrapassa a distância física e por ter me propiciado vivenciar verões e feriados na Praia da Cal e Guarita, e ao Artur, por me mostrar o caminho das ciências naturais e da geologia, pelo apoio sempre e por me apresentar com entusiasmo as belezas e a magia do seu lugar no mundo.

Agradeço a minha mãe, Maria Teresa, por todo o apoio e amor incondicional. Ao meu pai, Paulo Roberto, e as minhas irmãs, Fernanda e Marina, por existirem e estarem presentes na minha vida.

A todas as demais pessoas que fazem ou fizeram parte da minha vida, que contribuíram e me incentivaram de alguma forma para a conclusão desta etapa.

Por fim, agradeço ao cosmos por estar aqui. Somos poeira de estrelas.

RESUMO

A intensa ocupação das zonas costeiras vem acarretando na destruição de ecossistemas e de ambientes de importância ecológica, geológica e paisagística. O setor mais setentrional da planície costeira do Rio Grande do Sul possui feições geomorfológicas singulares na zona costeira do Estado e distintas de outros setores da costa, como afloramentos do embasamento e dunas reversas. Por outro lado, poucos estudos do meio físico e socioambiental foram realizados nesta área. Esta Tese investiga a geomorfologia e a evolução do setor costeiro de Itapeva, Torres-RS, com ênfase no sistema deposicional eólico, bem como as ações de gestão existentes na região, como meio de subsidiar a melhor gestão e conservação deste setor da costa, o qual possui uma Unidade de Conservação – o Parque Estadual de Itapeva. A análise de imagens de sensoriamento remoto mostram a retração nas regiões leste e norte do campo de dunas de Itapeva desde a década de 50, e a partir desta observação, somada às análises de dados meteorológicos (dados históricos de ventos e chuva), da cobertura do solo, geomorfologia, dados de georradar (GPR) e de sistemas de posicionamento, observações de campo, entrevistas, documentos/legislação e integração dos mesmos em um sistema de informações geográficas, confirmou-se a hipótese desta Tese de que tanto os processos naturais quanto os processos antrópicos modelam este ambiente e influenciam na sua conservação/preservação. As análises espaço-temporais e climática da área desde 1953, evidenciaram o grande avanço da ocupação antrópica sobre o ambiente de dunas, o aumento da cobertura vegetal e dos canais de drenagem (sangradouros) existentes na área nos últimos 60 anos, mostrando um importante papel dos fatores climáticos nestas mudanças morfológicas identificadas (aumento das chuvas e cobertura vegetal, e diminuição da velocidade média dos ventos), em conjunto com a ação antrópica (remoção de sedimento do sistema), estando atualmente o campo de dunas de Itapeva em processo de estabilização. A análise geomorfológica evidenciou as principais formas eólicas existentes na área. Com a análise estratigráfica, constatou-se a progradação da barreira holocênica neste setor da costa e a pouca espessura sedimentar da mesma (confinada entre afloramentos do embasamento), além dos registros referentes à reversibilidade das dunas presentes na área. O diagnóstico dos impactos ambientais existentes, caracterização da comunidade local e sua relação com o ambiente em que vivem, e o levantamento das ações de gestão existentes no município, propiciaram a proposição de ações para a melhor gestão costeira.

Palavras-chave: geologia costeira, geotecnologias, clima, unidade de conservação, gestão integrada.

ABSTRACT

The intense occupation of coastal areas has led to the destruction of ecosystems and environments of ecological, geological and landscape importance. The northern sector of Rio Grande do Sul (RS) coastal plain has unique geomorphological features in the RS coastal zone and distinct from other coastal sectors, such as basement outcrops and reverse dunes. In the other hand, few physical and socioenvironmental studies were carried out in this area. This Thesis investigates the geomorphology and evolution of the Itapeva coastal sector, Torres-RS, with emphasis on the aeolian depositional system, as well as existent management actions in the region, as a means to subsidize a better management and conservation of this sector of the coast, in which there is a Conservation Unit – the Itapeva State Park. The analysis of remote sensing images showed a retraction in the eastern and northern regions of the Itapeva dunefiel since the 1950s, and from this observation, added to the analyzes of meteorological data (wind and rainfall historic data), land cover, geomorphology, GPR and positioning systems data, field observations, interviews, documents / legislation and their integration into a geographic information system (GIS), the hypothesis of this thesis was confirmed, that both natural processes and anthropic processes shape this environment and influence in its conservation/preservation. The spatiotemporal and climatic analysis of the region since 1953, showed the great advance of the anthropic occupation over the dunefield, the increase of vegetation cover and drainage channels over the last 60 years, showing a very significant role of climatic factors in the identified morphological changes (increase of rainfall and vegetation cover, and decrease of the average wind speed), together with the anthropic action (removal of sediment from the system), being the Itapeva dunefield currently under stabilization process. The geomorphological analysis evidenced the main aeolian forms present in the area. With the stratigraphic analysis, it was found the progradation of Holocene barrier in this coastal sector and the low sedimentary thickness of it (confined between outcrops of the basement), also the records of the reversibility of the dunes present in the area. The environmental impacts diagnosis, the characterization of the local community and its relation with the environment in which they live and the survey of the existing management actions in the municipality subsidized the proposition of actions for the better coastal management.

Keywords: coastal geology, geotechnologies, climate, conservation unit, integrated management

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULOS 1 E 2. INTRODUÇÃO E MATERIAIS E MÉTODOS

- Figura 1 - Localização da área de estudo: campo de dunas de Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Imagem do sistema sensor IKONOS II (ano 2006)..... 20
- Figura 2 - Centro urbano do município de Torres e o limite Norte do campo de dunas de Itapeva: ocupação urbana sobre o campo de dunas (1965-2010)..... 20
- Figura 3 – Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS): (A) Sistemas Depositionais e (B) Perfil geológico correspondente aos sistemas barreira-laguna no Litoral Norte do RS (modificado de Tomazelli & Villwock, 1996 e Tomazeli & Villwock, 2000 *apud* Rosa, 2012)..... 25
- Figura 4 - Coleta de dados com Georradar (antena de contato) e Receptor GNSS acoplado... 34
- Figura 5 - Localização dos perfis geofísicos coletados com antena de 150 MHz. 35

CAPÍTULO 3. CLIMATOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Subcapítulo 3.1 - Análise Espaço-Temporal dos Ventos no Extremo Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil

- Figura 1. Contextualização espacial da área de estudo e localização das quatro estações meteorológicas analisadas (triângulos pretos), no extremo norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. A) escala continental; B) escala regional e C) escala local. Imagem do satélite SPOT, banda pancromática, 2005. 42
- Figura 2. Rosa dos ventos mostrando a direção, velocidade e frequência dos ventos para a estação meteorológica de Torres (2002-2015), utilizando o software WRPLOT.46
- Figura 3. Rosa dos ventos mostrando a direção, frequência e velocidade dos ventos para a estação meteorológica SBTR/Aeroporto (2004-2014), utilizando o software WRPLOT. 48
- Figura 4. Rosa dos ventos mostrando a direção, frequência e velocidade dos ventos para a estação meteorológica Lagoa Itapeva Central (de dezembro de 1998 a setembro de 1999). Adaptado de Martinho (2008), baseado em dados de Cardoso (2001) e Cardoso *et al.* (2003)..... 49

Figura 5. Variação da velocidade média mensal do vento para as estações meteorológicas de Torres e SBTR/Aeroporto (2002-2015).	51
Figura 6. Rosa dos ventos mostrando a variação na direção e na frequência dos ventos nas quatro estações do ano na estação meteorológica de Torres (2002-2015). A) verão; B) outono; C) inverno e D) primavera.	52
Figura 7. Rosa dos ventos mostrando a variação na direção e na frequência dos ventos nas quatro estações do ano na estação meteorológica de Torres, para o ano de 1999. A) verão; B) outono; C) inverno e D) primavera.	55
Figura 8. Rosa dos ventos mostrando a variação na direção e na frequência dos ventos no decorrer das estações do ano na estação meteorológica da Lagoa Itapeva Norte, para o ano de 1999. A) verão; B) outono; C) inverno e D) primavera. Adaptado de Lopardo (2002).	57
Figura 9. Frequência direcional dos ventos predominantes com velocidades acima de 5 m/s na estação meteorológica de Torres (2002-2015).	59

Subcapítulo 3.2 - Evolution of the Itapeva Dunefield over the Last Decades (Torres-RS, Brazil)

Figure 1 – Location of the study area: Itapeva dunefield, Rio Grande do Sul, Brazil. (SPOT satellite image, panchromatic band, 2005).	71
Figure 2 – Location of meteorological stations analyzed in this study.....	74
Figure 3 – Basement outcrops close to Itapeva dunefield.	77
Figure 4 – Spatial-temporal changes in Itapeva dunefield: (A) Aerial photo from 1953, (B) aerial photo from 1974 and (C) IKONOS satellite image from 2006.	79
Figure 5 – Detail of the U-shaped/parabolic dunes in the landward margin of Itapeva dunefield in 1953.....	81
Figure 6 – Oblique photograph from the 30’s decade. An aerial view from north to south direction. The red line surround the higher topography and urbanized terrain in Torres, around “Morro do Farol” hill (Source: “Historiadores de Torres” community at Facebook)	82
Figure 7 – Spatial-temporal changes in Itapeva dunefield from 1953 to 2013: mobile dunes, vegetated area and urban area.....	85

Figure 8 – A) Yearly average precipitation for Torres meteorological station. The trend line shows an increase in the precipitation from 1961 to 2014. B) Monthly average precipitation for Torres station for the period from 1961 to 2014. 86

Figure 9 – Average and maximum wind velocities for Torres meteorological station (monthly average wind data - 1961-2015). Data source: INMET- BDMEP. 87

Figure 10 – Sand roses of Torres and SBTR/Airport stations, showing the DP for each direction. The arrow represents the RDP and the RDD. 89

Figure 11 – Seasonal sand roses for Torres meteorological station (2002-2015). 90

Subcapítulo 3.3 - The Itapeva Dunefield Geomorphology

Figure 1 – Location of the study area: Itapeva dunefield, Rio Grande do Sul, Brazil..... 105

Figure 2 – Bush pockets and associated features: (A) Erosional feature (blowout) close to a bush pocket; (B) Large bush pocket; (C) Bush pockets (left) close to a reverse dune (right); and (D) Shadow dune (yellow arrow). 109

Figure 3 - Nebkhas (A) agglomeration and (B) isolated (June, 2014)..... 110

Figure 4 – (A) S-N view: vegetated foredunes with approximately 60 meters width, and the deflation plain in a lower terrain with more dense vegetation (in the left side). (B) Sparse vegetated foredune; (C) incipient foredune. (D and E) E-W view: interdune areas in the north sector of Itapeva Dunefield in two different periods (D) with water bodies and a little bit more dense vegetation (winter) and (E) with no water bodies and sparse vegetation (summer)..... 111

Figure 5 – (A) Deflation plain between foredunes and the Itapeva transgressive dunefield: W-E view of the Itapeva and (B) vegetated deflation plain detail (E-W view); (C) Deflation plain within the Itapeva dunefield, north sector; (D) main drainage flat area with scarps shaped by water in the left (or north) side (E-W view) and (E) main drainage channel (W-E view)..... 113

Figure 6 - Distinct morphologies in the northern and central regions of Itapeva dunefield: (A) precipitation ridges: dune advance over native grassland and sandy forest covering dune precipitations; (B) vegetated foredune and foredune ridge, and blowout type erosional feature; (C) low terrain of main drainage in the central region of the dunefield, with a thin water course, mobile dunes area behind and the Serra Geral scarps (E-W view); (D) vegetated foredunes just after beach line; (E) W-E view of the vegetated deflation plain and the sea behind and (F) mobile dunes area- in detail, a reverse dune crest. 114

Figure 7 – Geomorphological map of the Itapeva Dunefield.	116
Figure 8 – Monitored dunes in Itapeva Dunefield (Satellite image from CNES/Astrium - GoogleEarth, 2013).	117
Figure 9 – Mobile dunes’ one-year monitoring of active slipfaces: blues lines show the slipfaces in Jun/2014; purple lines in Nov/2014; green lines in Feb/2015 and orange lines in Jun/2015.....	120
Figure 10 – Climatic analysis from March, 2014 to March 2015 (Torres met. station): (A) Wind velocity and monthly precipitation (B) Winds with intensity above 5.6 m/s: direction and number of registers.	121
Figure 11 – North sector dunes in Jun/2014: Examples of different directions in slipfaces (A) Inactive slipface – Dune 1; (B) Active slipface to N/NE direction – Dune 3. As observed in other fieldworks, active slipfaces in different directions at the same time are common in reversing dunes at Itapeva dunefield.	122
Figure 12 – Monitored dunes cross-sections in June 2015: (A) North sector; (B) central sector and (C) south sector.....	123

CAPÍTULO 4. ESTRATIGRAFIA

Subcapítulo 4.1 - Caracterização da Barreira Holocênica do Extremo Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul Através de Georradar

Figura 1 – Localização da área e das seções de georradar analisadas neste estudo (em roxo).....	130
Figura 2 – Segmento de uma seção de georradar de 200 MHz, onde é possível a visualização de quatro das cinco radarfácies identificadas e a interpretação dos ambientes. As linhas amarelas representam os limites entre as radarfácies.....	131

Subcapítulo 4.2 - Ground Penetrating Radar applied to the characterization of the Itapeva Dunefield, Torres, Brazil.

Figure 1. Location of study area: Itapeva Dunefield, Torres, Rio Grande do Sul state, Brazil.....	136
Figure 2. Spatial location of the GPR sections analyzed in this study. (Background satellite image: IKONOS RGB composition, 2006).	136

- Figure 3. 150 MHz GPR sections in different orientations showing subsurface record of 2nd order surface (red dashed line) and satellite image showing the dunes superposition (detail of GPR profiles position in surface in the yellow box).....138
- Figure 4. Detail of GPR profile 009 (150 MHz): different reflector angles (yellow arrows) and 2nd order surface (dashed red line).138

CAPÍTULO 5. GESTÃO COSTEIRA

Subcapítulo 5.1 - Gestão Integrada de Unidade de Conservação na Zona Costeira - Parque Estadual de Itapeva, Torres-RS, Brasil

- Figura 1 - Contexto locacional da região estudada: (a) localização no do sul do Brasil; (B) localização do município de Torres; (c) identificação das Unidades de Conservação e áreas urbanizadas de Torres. Fontes: Limites territoriais - IBGE (2015); Unidades de Conservação - MMA (2015); Áreas Urbanizadas - baseado em IBGE (2005; 2011) e mapeadas em imagens CBERS-2B em escala de 1:100.000..... 145
- Figura 2 - Espacialização dos impactos ambientais no limite norte do PEVA e adjacências (imagem CNES/Astrium do *GoogleEarth*, 2013)..... 147
- Figura 3 - Impactos ambientais no limite norte do PEVA: (a) lençol freático aflorante e disposição de resíduos; (b) carroças dispendo inadequadamente de resíduos sólidos dentro do PEVA; (c) avanço de sedimentos na Rua Santa Bárbara; (d) animais circulando livremente pelo PEVA, em meio aos resíduos e (e) tráfego e estacionamento de veículos na faixa de praia e dunas adjacentes ao PEVA..... 148
- Figura 4 – Dados obtidos com as entrevistas, relativos ao perfil dos moradores do limite norte do PEVA: (a) dados referentes a escolaridade; (b) dados referentes a renda.... 150
- Figura 5 – Dados obtidos com as entrevistas, relativos as atitudes dos moradores do limite norte do PEVA: (a) dados referentes a suas insatisfações; (b) dados referentes a relação com a praia..... 152
- Figura 6 - Dunas frontais na praia adjacente ao PEVA: (a) placa informativa instalada pela Prefeitura Municipal no verão 2015/2016 com a indicação de “Proibido o acesso de pessoas e veículos sobre as dunas”; (b) outra placa informativa indicando “Preserve o meio ambiente”; (c) crianças brincando nas dunas frontais próximo as placas informativas. 154
- Figura 7 - Número de empreendimentos imobiliários que solicitaram anuência ao PEVA no município de Torres entre 2009 e 2015, por categoria. Fonte de dados: PEVA.155

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
SUMÁRIO	14
ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DA TESE	17
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	18
1.1 ÁREA DE ESTUDO E QUALIFICAÇÃO DO PROBLEMA	18
1.2 PREMISSAS E HÍPOTESES	21
1.3 OBJETIVO DA TESE	22
1.3.1 Objetivos Específicos	22
1.4 JUSTIFICATIVAS	22
1.5 ESTADO DA ARTE	23
1.5.1 Contexto Geológico: Planície Costeira do Rio Grande do Sul.....	23
1.5.2 Depósitos Eólicos da Barreira Holocênica do RS	27
CAPÍTULO 2. MATERIAIS E MÉTODOS	30
2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS PRÉ-EXISTENTES	30
2.2 ANÁLISE DE VENTOS E CHUVAS	30
2.2.1 Análise dos ventos	30
2.2.2 Potencial de deriva de areia	31
2.2.3 Análise pluviométrica.....	32
2.3 ANÁLISE DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	32
2.4 MONITORAMENTO DA FACE ATIVA DAS DUNAS REVERSAS	33
2.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS DE GEOFÍSICA RASA (GEORRADAR)	33
2.6 DIAGNÓSTICO DE IMPACTOS AMBIENTAIS E RELAÇÃO DA COMUNIDADE COM O AMBIENTE	36

2.7 DIAGNÓSTICO DAS AÇÕES DE GESTÃO EXISTENTES NA REGIÃO	36
2.8 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	36
<i>CAPÍTULO 3. CLIMATOLOGIA E GEOMORFOLOGIA</i>	<i>37</i>
3.1 ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS VENTOS NO EXTREMO NORTE DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL	37
3.2 EVOLUTION OF THE ITAPEVA DUNEFIELD OVER THE LAST DECADES (TORRES-RS, BRAZIL)	69
3.3 THE ITAPEVA DUNEFIELD GEOMORPHOLOGY	102
<i>CAPÍTULO 4. ESTRATIGRAFIA</i>	<i>129</i>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BARREIRA HOLOCÊNICA DO EXTREMO NORTE DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS DE DADOS DE GEORRADAR	129
4.2 GROUND PENETRATING RADAR APPLIED TO THE CHARACTERIZATION OF THE ITAPEVA DUNEFIELD, TORRES, BRAZIL	134
<i>CAPÍTULO 5. GESTÃO COSTEIRA.....</i>	<i>140</i>
5.1 GESTÃO INTEGRADA DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NA ZONA COSTEIRA - PARQUE ESTADUAL DE ITAPEVA, TORRES-RS, BRASIL	140
<i>CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>	<i>173</i>
6.1 ANÁLISE INTEGRADORA	173
6.2 CONCLUSÕES.....	176
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i>	<i>178</i>
<i>APÊNDICES</i>	<i>184</i>
APÊNDICE A – FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO	185
APÊNDICE B – RADARFÁCIES IDENTIFICADAS COM ANTENA DE 200 MHZ.	188

APÊNDICE C – REGISTRO DE IMPACTO AMBIENTAL POR PREDACÃO DE ANIMAL NATIVO – PARQUE DA GUARITA	191
APÊNDICE D – LISTA DE RESUMOS PUBLICADOS EM CONGRESSOS	192

ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DA TESE

Esta Tese foi estruturada no formato de artigos e está organizada da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Apresenta a introdução ao tema abordado na Tese, a descrição da área de estudo, a qualificação do problema, as premissas e as hipóteses, o objetivo, as justificativas da Tese, bem como o estado da arte.

Capítulo 2 – Apresenta os materiais e os métodos de investigação utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

Capítulo 3 – Apresenta três artigos envolvendo as análises realizadas em superfície na área de estudo.

Capítulo 4 – Apresenta publicações referentes às análises em subsuperfície na área de estudo.

Capítulo 5 – Apresenta o artigo que analisa a área de estudo no âmbito da gestão costeira.

Capítulo 6 – Contempla as considerações finais da Tese: a análise integradora e as conclusões, contendo os principais resultados e interpretações dela derivadas.

Nas Referências Bibliográficas constam listados os trabalhos citados nos Capítulos 1, 2 e 6 da Tese. As referências utilizadas nos artigos (Capítulos 3, 4 e 5) encontram-se no final dos respectivos artigos.

No Apêndice A constam fotografias da área de estudo, as quais não puderam ser incluídas nos artigos (por motivos de normas das revistas científicas). No Apêndice B estão os perfis de Georradar e as radarfácies interpretadas. No Apêndice C consta registro fotográfico de predação de animal nativo por animais domésticos. No Apêndice D consta a lista de referências de todos os resumos publicados em congressos.

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

A zona costeira corresponde à zona de transição entre os ambientes oceânico e continental, onde ocorre uma intensa dinâmica de fatores físicos, bióticos e antrópicos. Neste contexto, os ambientes costeiros são muito frágeis, e necessitam de gestão específica, a fim de que tanto a sua ocupação quanto a sua conservação sejam levadas em conta visando o menor impacto possível.

A intensa ocupação desta região vem acarretando na destruição de ecossistemas e de ambientes de importância ecológica, geológica e paisagística. No litoral do Rio Grande do Sul (RS) não é diferente, sendo o setor correspondente ao Litoral Norte o mais intensamente ocupado e afetado por problemas decorrentes desta ocupação (Strohaecker, 2007; Tomazelli *et al.*, 2008). A fim de conservar ambientes frágeis e que necessitam ser protegidos, em termos de diversidade biológica dos ecossistemas, o Estado protege áreas naturais por meio de Unidades de Conservação (UCs), as quais são criadas por ato do poder público (federal, estadual ou municipal). Existem duas categorias principais de áreas protegidas no Brasil: UCs de Uso Sustentável e de Proteção Integral. No Estado do Rio Grande do Sul existem 40 Unidades de Conservação (10 Federais, 22 Estaduais e 8 Municipais), sendo que destas, 15 abrangem total ou parcialmente a área da Planície Costeira.

Estudos de caráter geológico-geomorfológico na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) têm sido desenvolvidos ao longo das últimas décadas, porém, pouca ênfase tem-se dado aos ambientes costeiros protegidos por UCs neste sentido, sendo muito mais abundantes estudos de caráter biológico. Considerando-se que a biodiversidade se desenvolve a partir de um meio físico (geodiverso), torna-se evidente a importância do conhecimento acerca dos ambientes presentes e suas fragilidades visando uma melhor compreensão dos sistemas para dar subsídios às ações de gestão destes locais.

1.1 ÁREA DE ESTUDO E QUALIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O setor mais setentrional da PCRS, no município de Torres, possui feições singulares na zona costeira do Estado (afloramentos do embasamento, campos de dunas, lagoas, foz de rio e praias), e poucos estudos de caráter físico, referentes à geomorfologia, à dinâmica e evolução foram realizados nesta área. Dentro de um contexto de estudos realizados um pouco

mais ao sul desta área, no balneário Curumim, município de Capão da Canoa, Dillenburg *et al.* (2006) destacam as características deste setor da costa como em regressão.

O Município de Torres, dentro de seus limites político-administrativos, possui quatro Unidades de Conservação, estando uma delas localizada na porção costeira central do Município: o Parque Estadual de Itapeva (PEVA), localizado aproximadamente entre 49°44” e 49°46”W e 29°20” e 29°23”S. Esta Unidade de Conservação, criada por meio do Decreto Estadual nº 42.009 no ano de 2002 (Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2002), possui dentro de seus limites um campo de dunas transgressivo de aproximadamente 4 km de extensão paralelo à linha de costa (Figura 1), com largura variando entre 300 (ao sul) e 1.000 m (ao norte). O campo de dunas de Itapeva insere-se no sistema deposicional IV (holocênico) da PCRS.

Verificou-se, através de uma análise multitemporal de fotografias aéreas e imagens orbitais, que a área de dunas livres deste campo de dunas vem diminuindo ao longo das últimas décadas (Figura 2). Mais especificamente, verifica-se uma retração do campo de dunas livres no setor leste e no setor norte do campo de dunas de Itapeva. No seu limite Norte, o campo de dunas sofre pressão de ocupação antrópica do centro urbano do município de Torres (já observado por Tomazelli *et al.*, 2003; 2008), e na porção leste há retração da área livre de dunas pelo aumento da área vegetada.

Com relação à dinâmica sedimentar eólica, a baixa taxa de migração deste campo de dunas foi salientada por Tomazelli *et al.* (2008), pela comparação de fotografias aéreas com intervalo de 15 anos, porém não foi realizado até o momento nenhum estudo detalhado com relação à estas morfologias e dinâmica, nem com relação aos ventos atuantes na região. Martinho (2008) já havia ressaltado que o clima na porção norte da PCRS é diferente das demais regiões devido à proximidade das escarpas da Serra Geral.

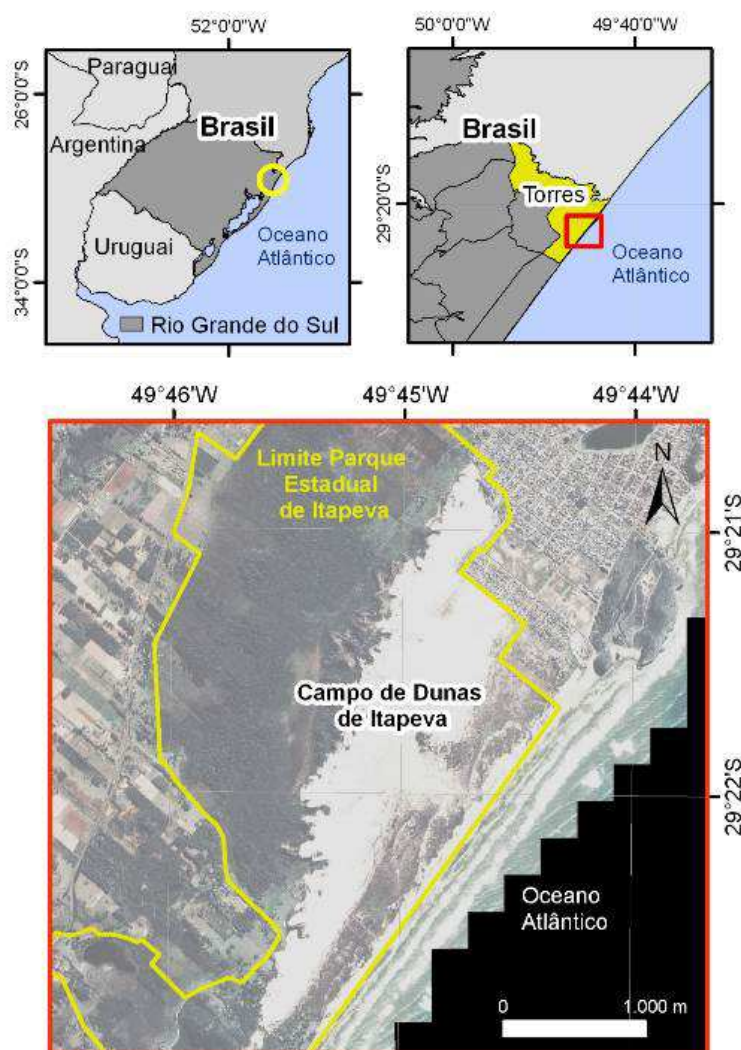


Figura 1 - Localização da área de estudo: campo de dunas de Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Imagem do sistema sensor IKONOS II (ano 2006).



Figura 2 - Centro urbano do município de Torres e o limite Norte do campo de dunas de Itapeva: ocupação urbana sobre o campo de dunas (1965-2010).

Com relação à dinâmica espacial da cidade de Torres e ocupação irregular no setor norte do PEVA, existem alguns estudos e levantamentos realizados, que enfatizam as questões urbanas e socioespaciais desde a década de 70 (Falcão, 2000; Graciano, 2004), bem como as questões ambientais relacionadas à criação do PEVA em 2002 (Pereira, 2004). Um diagnóstico socioeconômico e ambiental da UC foi realizado em 2005 (Heidrich *et al.*, 2005), porém, nenhuma ênfase foi dada em relação à preservação do sistema eólico abrangido pela UC.

Há mais de uma década, Tomazelli (2001) e Tomazelli *et al.* (2003; 2008) já ressaltavam a importância da preservação deste remanescente da paisagem original da região, pela sua importância ecológica, cultural e paisagística. O estudo de Tomazelli (2001) embasou a criação do PEVA, que ocorreu em 2002. Para a correta manutenção, conservação e preservação deste ambiente deve-se levar em consideração estudos relativos ao ambiente físico e não só biológico, para que ações possam ser planejadas e colocadas em prática.

1.2 PREMISSAS E HÍPOTESSES

A premissa básica na qual se baseia esta Tese é de que estudos de caráter **geológico-geomorfológico e socioambiental** são condicionantes fundamentais para que o planejamento de ações de **preservação, conservação, ocupação e ordenamento dos ambientes costeiros** possam ser traçados. Ainda, tem-se como premissa que as Unidades de Conservação têm por finalidade conservar ambientes frágeis e que necessitam ser protegidos.

A hipótese principal desta Tese versa sobre a ideia de que, no campo de dunas de Itapeva, tanto os processos naturais (escala de dezenas a milhares de anos) quanto os processos antrópicos (escala de dezenas de anos) modelam este ambiente e influenciam na sua conservação/preservação. Dentro desta ideia geral, outras hipóteses secundárias (e não-excludentes) surgem: (i) a diminuição da área de dunas livres do campo de dunas de Itapeva está relacionada ao processo de estabilização natural devido às mudanças climáticas (ventos e chuvas) nas últimas décadas e (ii) a diminuição da área de dunas livres do campo de dunas de Itapeva está relacionada à diminuição do aporte sedimentar devido ao posicionamento da urbanização à nordeste do mesmo e **também** pelo aumento da área vegetada à leste do mesmo, impedindo o transporte de areia da face praial para o campo de dunas.

1.3 OBJETIVO DA TESE

O objetivo geral desta Tese é contribuir para o conhecimento evolutivo do campo de dunas de Itapeva/RS, **tanto no âmbito geológico-geomorfológico quanto no âmbito socioambiental**, no intuito de entender os processos que ali ocorrem, como meio de subsidiar a gestão deste setor da costa.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar a evolução do meio físico da região de Itapeva ao longo das últimas décadas e os fatores atuantes na área;
- Caracterizar as formas eólicas atualmente presentes no campo de dunas da Itapeva;
- Caracterizar as geometrias deposicionais (Estratigrafia) do setor costeiro de Itapeva e das dunas reversas do campo de dunas (escala de tempo de centenas a milhares de anos);
- Analisar a evolução da ocupação humana no limite norte do campo de dunas e seu entorno imediato, sua relação com o ambiente e os impactos ambientais visuais presentes na paisagem;
- Propor ações de gestão para a região;
- Elaborar um banco de dados georreferenciados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) das alterações do uso da terra e demais temas analisados.

1.4 JUSTIFICATIVAS

As dunas fazem parte de um sistema deposicional muito dinâmico, no qual ocorre constante transporte de sedimentos pela ação dos ventos, sendo, portanto, elementos arquiteturais frágeis. A conservação de campos de dunas é de importância estratégica para a manutenção de um perfil de equilíbrio na região costeira, pois os mesmos constituem estoque de areias litorâneas, servindo de anteparo para a erosão durante tempestades e recarga de água para o aquífero costeiro. Além disso, as dunas constituem importantes redutos ecológicos e possuem valor paisagístico.

A compreensão da dinâmica e evolução de campos de dunas é importante e necessária tendo em vista a sua conservação, o planejamento da ocupação costeira e as obras de engenharia, dentro de um contexto de gerenciamento costeiro. Ainda, especificamente quanto à área de estudo, esta pesquisa justifica-se pelas razões abaixo relacionadas:

- Estudos evolutivos de dunas no setor norte da PCRS são escassos (ex.: Tomazelli, 1990; Martinho, 2008);

- As dunas de Itapeva constam na lista de prioridade de preservação no RS (2º lugar), segundo Tomazelli *et al.* (2003; 2008).
- Esta região possui particular importância devido ao seu caráter de área de recarga do lençol freático da região, e por apresentar feições geomorfológicas singulares na PCRS;
- Há um grande interesse por parte da Administração do Parque no estudo de caráter geológico-geomorfológico do campo de dunas, para subsidiar a gestão desta feição e obter informações técnicas confiáveis acerca de sua importância.

1.5 ESTADO DA ARTE

1.5.1 Contexto Geológico: Planície Costeira do Rio Grande do Sul

Com mais de 620 km de linha de costa, a PCRS é uma feição correspondente à porção emersa da Bacia de Pelotas, e é composta por dois tipos de sistemas deposicionais: de um sistema de Leques Aluviais – que se desenvolveu no contato com as terras altas –, e de quatro sistemas do tipo Laguna-Barreira – que se desenvolveram para Leste (Villwock & Tomazelli, 1995). Ainda de acordo com Villwock & Tomazelli (1995), cada sistema laguna-barreira registra um pico de uma transgressão da linha de costa, seguida de um evento regressivo, controlados por eventos glacio-eustáticos (Figura 3).

Cada sistema é composto por três subsistemas geneticamente relacionados, o lagunar, o de barreira e o de canal de ligação (*inlet*). O subsistema lagunar se desenvolve no espaço de retrobarreira, região topograficamente baixa, situada entre a barreira e os terrenos interiorizados mais antigos. O subsistema barreira envolve as praias arenosas e o campo de dunas eólicas adjacentes e o de canal, a unidade que faz o contato do subsistema lagunar com o mar (Villwock & Tomazelli, 1995). Três barreiras de idades pleistocênicas e uma holocênica são encontradas na PCRS. As idades dos sistemas foram inferidas por meio de correlações com estágios isotópicos de oxigênio, tendo o sistema mais antigo (Sistema I) começado a se desenvolver há aproximadamente 400 ka e o mais recente (Sistema IV, ainda ativo) há 7 ka.

Recentemente, novas datações realizadas em fósseis de mamíferos encontrados no Sistema Laguna-Barreira II (Lopes *et al.*, 2010) indicaram que os depósitos deste sistema teriam se formado em resposta a transgressão marinha de menor intensidade registrada pelo estágio isotópico marinho (MIS - *Marine Isotopic Stage*) 7 (Figura 3B), a qual foi

anteriormente desconsiderada devido a sua menor intensidade com relação aos demais isótopos registrados. Assim, as novas datações sugerem que o Sistema II possui idade de aproximadamente 200 ka, e o Sistema I possivelmente se formou há 325 ka (estágio isotópico marinho 9).

Na última década, os estudos na PCRS obtiveram um avanço no que se refere aos métodos de aquisição, processamento e análise de dados, impulsionado pela utilização de geotecnologias: Sistemas de Posicionamento Global (GNSS), imagens orbitais de sensores remotos e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), além da Sísmica e do Georradar, iniciando uma nova fase nos estudos da planície costeira (Rosa, 2012). Além de um melhor detalhamento do registro em subsuperfície (Georradar) e em superfície (Sistemas de Posicionamento, imagens de alta resolução espacial, espectral, temporal e radiométrica), as novas tecnologias contribuíram para uma melhor precisão dos dados gerados e uma maior/melhor integração dos mesmos (SIG).

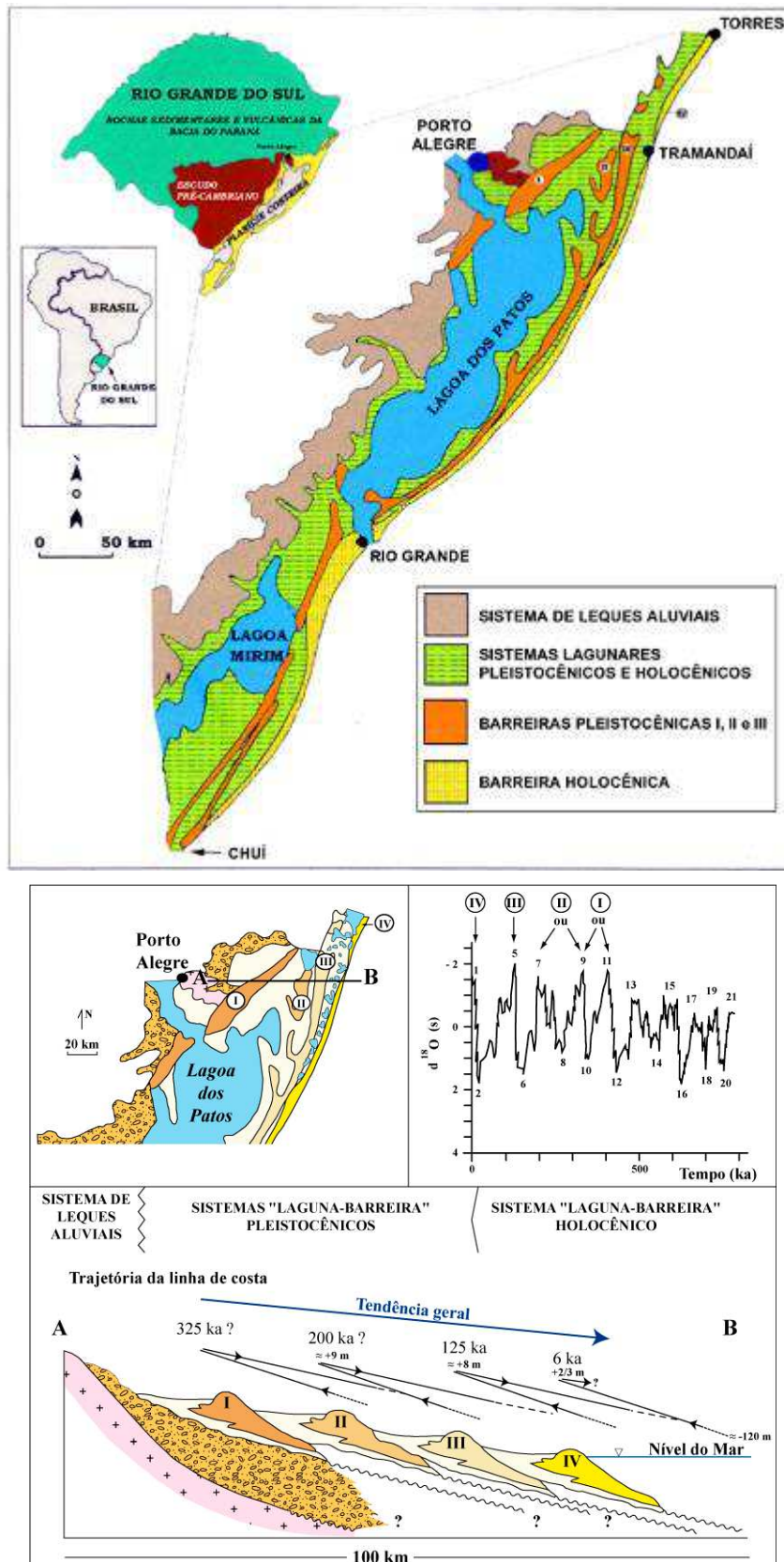


Figura 3 – Mapa geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS): (A) Sistemas Depositionais e (B) Perfil geológico correspondente aos sistemas barreira-laguna no Litoral Norte do RS (modificado de Tomazelli & Villwock, 1996 e Tomazelli & Villwock, 2000 *apud* Rosa, 2012).

Estudos sobre a evolução de barreiras costeiras holocênicas na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) têm sido desenvolvidos desde a década de 90 – como Tomazelli (1990), Dillenburg (1994), Villwock & Tomazelli (1995) Dillenburg *et al.* (2000; 2005; 2006; 2009; 2013), Clerot (2004), Travessas (2003), Travessas *et al.* (2005), Arejano (2006), Lima (2008; 2012), Martinho (2008), Martinho *et al.* (2009), Barboza *et al.* (2009; 2011a; 2011b; 2013) e Rosa (2012). Muitos destes estudos demonstram que a barreira holocênica apresenta setores costeiros com diferentes comportamentos (transgressivo, nas projeções, e regressivo, nos embaiamentos da costa – Dillenburg *et al.*, 2000; 2005; 2009 e Barboza *et al.*, 2008) ao longo da costa do Rio Grande do Sul, os quais são controlados por diferentes interações entre o espaço de acomodação (condicionado pelo Nível Relativo do Mar - NRM) e o aporte sedimentar.

Diferentes feições geomorfológicas se desenvolveram durante a evolução da barreira holocênica do Rio Grande do Sul, sendo os cordões litorâneos (*beach ridges e foredune ridges*) e os lençóis de areias transgressivos (*transgressive dunefields* ou *transgressive sand sheets*) os mais comuns (Villwock, 1984; Villwock e Tomazelli, 1995, Hesp *et al.*, 2005; 2007). A presença de campos de dunas transgressivos é verificada ao longo de toda a costa, dispostos nos seus diversos setores (progradantes, agradantes e retrogradantes). Segundo Tomazelli *et al.* (2003; 2008), a conjunção de fatores favoráveis (alta disponibilidade de areia na praia, regime de ventos apropriado, topografia de terras baixas) propiciou o desenvolvimento de amplos campos de dunas transgressivos como um elemento fundamental na paisagem costeira do Rio Grande do Sul.

Apesar de extensos e presentes em toda a extensão da PCRS, estudos para a compreensão evolutiva e morfodinâmica destes campos de dunas ainda são escassos (Tomazelli, 1990; Martinho, 2008). Além disso, as dunas constituem importantes redutos ecológicos, contribuem para a recarga do aquífero costeiro e possuem valor paisagístico. Neste contexto, a compreensão da dinâmica e da evolução dos campos de dunas constitui-se num estudo de interesse aplicado, tendo em vista que o diagnóstico gerado a partir de então pode servir de subsídio para o planejamento ambiental e de uso sustentável destas áreas.

Conforme exposto por Gruber *et al.* (2011), estudos de caráter físico (geológico-geomorfológico-morfodinâmico) já realizados na PCRS constituem importantes fontes de informação quanto ao comportamento dos diferentes setores de costa, e assim, podem subsidiar o planejamento e a gestão da zona costeira do Estado.

1.5.2 Depósitos Eólicos da Barreira Holocênica do RS

Conforme apresentado no item anterior, o sistema laguna-barreira holocênico está relacionado com uma sequência deposicional de alta frequência mais jovem (Rosa *et al.*, 2011), e sua evolução deu em resposta ao último ciclo glacial durante o período Quaternário. O desenvolvimento e o crescimento do sistema holocênico, relacionado ao elevado aporte de sedimentos arenosos provenientes da plataforma continental adjacente, propiciou o desenvolvimento de um amplo campo de dunas eólicas costeiras no Rio Grande do Sul (Tomazelli, 1990).

Estudos sobre a morfologia e evolução de campos de dunas holocênicos da PCRS foram realizados por Martins (1967), Tomazelli (1990; 1993; 1994), Ugri (2004), Guimarães (2005), Hesp *et al.* (2005; 2007), Tomazelli *et al.* (2008), Martinho (2008) e Martinho *et al.* (2008; 2009; 2010).

Tomazelli (1990) realizou um estudo na região nordeste da PCRS, entre os municípios Pinhal e Arroio do Sal. Utilizando produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas verticais e imagens de satélite), observações de campo, análises sedimentológicas, e análises climáticas (vento), Tomazelli (1990) caracterizou o regime de ventos, o potencial de deriva, a morfologia e taxa de migração das dunas presentes na área e aspectos texturais e sedimentológicos das mesmas. Em geral, as areias da PCRS se caracterizam por possuírem composição predominantemente quartzosa, de granulometria areia fina/muito fina, bem arredondadas e bem selecionadas, sendo caracterizadas pela alta maturidade mineralógica (Martins, 1967; Tomazelli, 1990). Os principais tipos de dunas vegetadas encontradas na PCRS foram dunas embrionárias, dunas frontais e dunas do tipo “*nebkha*”; já os principais tipos de dunas livres encontrados são dunas barcanas, cadeias barcanóides e dunas transversais, as quais atingem (as maiores) entre 50 e 120 m de largura e entre 5 e 30 m de altura (Tomazelli, 1990). Lençóis de areia também são encontrados na área, além de *blowouts*, dunas parabólicas e dunas lineares (que correspondem a feições associadas à deflação eólica, segundo a classificação utilizada por Tomazelli, 1990). A taxa de migração das dunas é da ordem de 10-38 m/ano em direção SW, devido ao predomínio dos ventos de NE na região. Durante os meses de primavera-verão os campos de dunas encontram-se mais ativos, enquanto que a taxa de migração diminui nos meses de outono e inverno, devido à ação dos ventos secundários provenientes de W-SW (Tomazelli, 1993).

Análises realizadas por Hesp *et al.* (2005; 2007) na barreira arenosa entre os municípios de Tramandaí e Torres, constataram que feições anteriormente identificadas como

“*beach ridges*” (Villwock, 1984; Villwock & Tomazelli, 1995) tratam-se, na verdade, de múltiplas fases de campos de dunas transgressivos. Atualmente, os pesquisadores da área de Geologia Costeira do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO/UFRGS, estão caracterizando como lençóis de areias transgressivos, os quais são delimitados por pequenas cristas de precipitação (Dillenburg *et al.*, *submetido*).

Em uma *análise espacial* ao longo da costa do RS, Tomazelli (1994) descreve dunas transversais evoluindo para cadeias barcanóides, e depois para dunas barcanas isoladas. Tomazelli (1994) observou que os tipos de dunas mudam ao longo da PCRS devido a um decréscimo no suprimento de areia à medida que a distância a partir da praia (fonte de areia) aumenta. Um comportamento muito semelhante a este foi observado por Martinho (2008), em uma *análise espaço-temporal* sobre os campos de dunas do litoral norte e médio do RS.

Nove campos de dunas costeiras da porção norte da PCRS, entre os municípios de Rondinha e Mostardas, foram estudados em termos de variação morfológica, dimensão e distribuição ao longo da costa e ao longo do tempo (Martinho, 2008; Martinho *et al.*, 2010), fatores climáticos que influenciam na morfodinâmica das dunas ao longo da área de estudo e a estratigrafia dos mesmos (Martinho, 2008; Martinho *et al.*, 2008). Em geral, os campos de dunas tendem a ser mais largos e extensos na porção central da PCRS, e menores no setor mais ao norte, devido a diferenças na precipitação, potencial de deriva do vento (DP) e a oferta de areia nestes dois setores da costa. Na análise temporal realizada com dados meteorológicos e imagens de sensoriamento remoto, um processo de estabilização dos campos de dunas transgressivos foi verificado ao longo do tempo (desde 1948) na área estudada, com aumentos das áreas de deflação, da cobertura vegetal e das áreas úmidas (Martinho *et al.*, 2010). Observou-se que nos campos de dunas da porção mais ao norte estas mudanças ocorreram com maior rapidez por serem menos ativos, possuírem menores dimensões e menor volume de areia. Não só a morfologia dos campos de dunas sofreu alterações, como também as morfologias das dunas dentro dos campos. Segundo Martinho *et al.* (2010), com o aumento da umidade e diminuição da deriva potencial do vento (DP, *Drift Potential*) ao longo do tempo, a disponibilidade de areia diminuiu, modificando as formas eólicas de altas cadeias de dunas barcanóides para dunas barcanas individuais com retrocordões (*gegenwalle ridges*) ao longo das margens do barlavento da duna e, posteriormente, para dunas parabólicas ou lençóis de areia com formas parabólicas.

Tomazelli (2001) e Tomazelli *et al.* (2008) identificaram dois sistemas eólicos significativos que poderiam ser preservados mantendo características muito próximas ao

sistema natural original, são eles os campos de dunas de Cidreira (Cidreira-RS) e de Itapeva (Torres-RS). Embora o vento de NE seja o mais frequente, em geral, na PCRS (Tomazelli, 1993), os dados de 13 anos analisados das estações meteorológicas próximas a estes dois campos de dunas – estações de Imbé e Torres – mostram diferenças significativas nos padrões de circulação dos ventos, sendo estas atribuídas às suas posições com relação às escarpas da Serra Geral (Tomazelli, 1993). A localização geográfica distinta destes dois campos confere aos mesmos a presença de formas eólicas diferentes: enquanto no campo de dunas de Cidreira há predominância de cadeias barcanóides, no campo de dunas de Itapeva as dunas reversas predominam.

CAPÍTULO 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta Tese, foram utilizados diversos tipos de dados e métodos de análise. Os dados utilizados e coletados para o desenvolvimento desta Tese estão descritos a seguir, de acordo com o tipo de análise realizada.

2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS PRÉ-EXISTENTES

Foram levantados dados bibliográficos sobre a área de estudo (artigos, livros, relatórios e documentos diversos), incluindo a legislação e os instrumentos legais que incidem sobre a mesma, bem como foi realizado o levantamento de informações cartográficas, dados meteorológicos, fotografias aéreas e imagens de satélite disponíveis para a região.

2.2 ANÁLISE DE VENTOS E CHUVAS

Dados de quatro estações meteorológicas próximas à área de estudo foram utilizados para caracterização dos padrões de vento na região e verificação de mudanças na precipitação ao longo das últimas décadas: (1) estação convencional de Torres, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); (2) estação Permissionária de Telecomunicação e Tráfego Aéreo de Torres (SBTR), pertencente ao Aeroporto de Torres; e (3) estações da Lagoa Itapeva (Norte e Central), pertencentes ao grupo de pesquisa do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. As estações de Torres, Aeroporto e Lagoa Itapeva Norte estão localizadas no município de Torres, e a estação Lagoa Itapeva Central localiza-se no município de Arroio do Sal.

2.2.1 Análise dos ventos

A análise espaço-temporal dos ventos da área de estudo se deu a partir dos dados históricos de duas estações meteorológicas, e dados anuais de outras duas estações. A série de dados de velocidade e direção do vento da estação meteorológica de Torres compreende um período de 14 anos, de maio de 2002 a abril de 2015, e foram obtidos através de três medições diárias. Os dados de velocidade e direção do vento da estação SBTR (Aeroporto) abrangem um período de 11 anos, de janeiro de 2004 a maio de 2014. Os dados coletados nesta estação são obtidos através de medições diárias, porém intermitentes devido ao registro não-automático dos dados obtidos pelo equipamento (necessitando a ativação do modo gravação

dos dados, que ocorre somente quando o aeroporto está aberto e a equipe aciona a gravação dos dados). Para as estações meteorológica instaladas nas margens leste e norte da Lagoa Itapeva, não se obteve a disponibilização dos dados brutos. Desta forma, foram utilizados os dados já tratados do Projeto “*Comportamento hidrodinâmico da Lagoa Itapeva (Litoral Norte do RS) e seu efeito potencial sobre comunidades planctônicas*”, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, disponíveis nas publicações de Cardoso (2001), Lopardo (2002), Cardoso *et al.* (2003) e Martinho (2008). Os dados de velocidade e direção do vento foram coletados em campanhas sazonais no período de um ano, entre dezembro de 1998 e dezembro de 1999.

Para a estação meteorológica convencional de Torres, apesar de estarem disponíveis dados desde a década de 60, dentre os dados disponíveis optou-se por trabalhar com a série de dados de 14 anos (2002 a 2015), por quatro motivos: (i) ser a série de dados mais extensa; (ii) ser a segunda série de dados com o melhor conjunto de dados contínuos, sem ausência de registros; (iii) o período coincide com os dados disponíveis da Estação meteorológica SBTR/Aeroporto, possibilitando análises comparativa entre as duas estações, e (iv) segundo informações do INMET, esta estação foi reinstalada em local distinto do anterior: no Parque da Guarita (atual) no ano de 2002. Assim, para não haver mistura de dados de localizações geográficas diferentes, e pela consistência dos dados históricos deste período, o mesmo foi selecionado.

Foram confeccionadas rosas de frequências dos ventos (rosas-dos-ventos) para as séries históricas para cada estação meteorológica, mostrando direção, frequência e velocidade dos ventos em cada uma delas. O *software* utilizado para o tratamento dos dados foi o *WRPLOT*. Ainda, a análise sazonal foi realizada para os dados da estação de Torres, para caracterizar os ventos nas diferentes estações do ano.

2.2.2 Potencial de deriva de areia

Com base nos dados de vento, o potencial de deriva de areia foi calculado para as estações mais próximas ao campo de dunas de Itapeva (Torres e SBTR), através da sistematização de uma tabela de frequências do vento, conforme metodologia de Fryberger & Dean (1979). Diagramas de rosas de areia foram confeccionados, mostrando o potencial de deriva para cada estação.

2.2.3 Análise pluviométrica

Dados pluviométricos estavam disponíveis apenas para a estação convencional de Torres (INMET). Os dados de precipitação pluviométrica mensal (em mm) para o município de Torres no período de 1961 a 2014 foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para alguns anos dentro deste período (1969, 1984, 1986, 1987, 1990 e 2001) a ausência de dados mensais de precipitação impossibilitou a sua utilização (dados mensais indisponíveis em mais de 4 registros), então, estes foram excluídos da análise. Os dados foram tratados estatisticamente em planilhas eletrônicas, e analisou-se a precipitação total mensal e a média anual de precipitação nas últimas décadas.

Ainda, com dados diários de precipitação e ventos da estação automática de Torres (INMET), foi possível realizar uma análise mensal de 2014 a 2015, durante o período de monitoramento do comportamento das faces ativas das dunas de Itapeva.

2.3 ANÁLISE DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A análise espaço-temporal das modificações da área de estudo ao longo das últimas décadas foi realizada através de produtos de sensoriamento remoto. As fotografias aéreas verticais disponíveis para a área de estudo são dos anos de 1953, 1965, 1974, 1989 e 1996. As fotografias do ano de 1996 estão em escala 1:8.000 e foram obtidas na Prefeitura Municipal de Torres-RS/Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo. As fotografias de 1974 e 1989 foram obtidas no Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem-RS (DAER/RS) e as dos anos de 1953 e 1965 na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), em escalas que variam de 1:20.000 a 1:60.000. As fotos de 1989 e 1996 não recobrem toda a área de estudo (apenas parte do campo de dunas de Itapeva), e, nestes casos, apenas a porção norte da mesma foi analisada nestes anos. Imagens de satélite de alta resolução espacial foram utilizadas para as análises dos anos de 2006 (imagem ortorretificada IKONOS, banda pancromática - Rovedder, 2007) e 2013 (do *Google Earth*).

As fotos aéreas foram digitalizadas e georreferenciadas a partir da imagem de satélite IKONOS e pontos de referência coletados com GNSS, utilizando o programa ArcGIS™. Utilizou-se de técnicas de fotointerpretação para a análise dos produtos. A partir da interpretação de fotos aéreas e imagens de satélites foram elaborados diversos mapas, procurando-se destacar as principais feições espaciais da área de estudo.

2.4 MONITORAMENTO DA FACE ATIVA DAS DUNAS REVERSAS

Foram realizados quatro coletas de dados em campo (Quadro 1), onde foi posicionada a borda (*brink*) da face ativa das dunas reversas localizadas em três diferentes regiões dentro do campo de dunas (sul, centro e norte) em diferentes épocas do ano, visando a comparação e a verificação do deslocamento das mesmas. A coleta dos dados foi realizada através de um par de equipamentos de Posicionamento de Precisão GNSS, da marca Topcon, cedido pelo Departamento de Geodésia da UFRGS.

Quadro 1 – Trabalhos de campo para monitoramento da face ativa das dunas reversas

Trabalhos de Campo	Data
Monitoramento 1	20-21/06/2014
Monitoramento 2	15/11/2014
Monitoramento 3	28/02/2015
Monitoramento 4	13/06/2015

A técnica de posicionamento utilizada foi a semi-cinemática (*stop-and-go*), na qual um receptor é mantido fixo (denominado “base”) e o outro é móvel. O sistema de referência geodésico adotado para referência tanto das efemérides transmitidas quanto das precisas foi o *World Geodetic System* de 1984 (WGS-84).

Um receptor GNSS foi fixado na região do antigo hotel (ruínas) e o outro receptor foi utilizado para a coleta nas dunas. O tempo de ocupação nas estações móveis foi de 10 segundos. O apoio da equipe do Parque foi essencial para o deslocamento da equipe de campo e dos equipamentos até os locais planejados para coleta, que são distantes entre si. O mapa com a localização das dunas monitoradas consta no Capítulo 3.3.

2.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS DE GEOFÍSICA RASA (GEORRADAR)

A análise da geometria deposicional da região de Itapeva e do campo de dunas foi realizada através de dados de subsuperfície (geofísica rasa), obtidos com equipamento Georradar (GPR, do inglês *Ground Penetrating Radar*). No método geofísico de Georradar detecta-se descontinuidades nas propriedades elétricas dos materiais presentes em subsuperfície.

Os dados utilizados foram coletados em dois trabalhos de campo, um em 2010 e outro em 2014 (Figura 4). Os dados foram coletados com três antenas, de modelos distintos: duas antenas de contato, com frequências centrais de 200 e 400 MHz e outra antena aérea, com

frequência central de 150 MHz. As antenas de contato são da *Geophysical Survey Systems, Inc.* (GSSI™), a antena aérea SE-150 da *Radarteam Sweden AB* e o coletor utilizado foi o modelo SIR3000 GSSI™ - equipamentos cedidos pelo Laboratório de Sismoestratigrafia da UFRGS.

O método de coleta de dados utilizado foi o “*Common Offset*” (perfil de reflexões), no qual as antenas (transmissora e receptora) estão posicionadas a uma distância fixa constante e são deslocadas simultaneamente no mesmo sentido. Os sinais recebidos são empilhados verticalmente, de acordo com o tempo decorrido entre a emissão e a recepção do sinal, e lateralmente, de acordo com o deslocamento das antenas, gerando um radargrama (Baker *et al.*, 2007). Simultaneamente à coleta dos dados geofísicos, um receptor GNSS da marca Trimble foi utilizado para coleta de dados de posicionamento em superfície, para a localização espacial das seções geofísicas (Figura 5). Neste levantamento, o método de posicionamento diferencial (DGPS) foi utilizado. O sistema geodésico adotado para referência foi o *World Geodetic System* de 1984 (WGS-84).



Figura 4 - Coleta de dados com Georradar (antena de contato) e Receptor GNSS acoplado.

No total, foram coletadas 29 seções de georradar, e as suas respectivas coordenadas de localização, para auxiliar na localização dos dados e sua interpretação. Em 2014, foram coletadas 5 seções com a antena de 400 MHz, na região central do campo de dunas, e 24 seções com a antena de 150 MHz, nas regiões central, centro-norte e sul do campo de dunas (Figura 2). A distribuição dos perfis coletados se deu pela facilidade de acesso e transporte

dos equipamentos, visando obter-se dados bem distribuídos para caracterizar a área como um todo. Neste estudo são apresentadas as seções representativas do objeto de pesquisa.

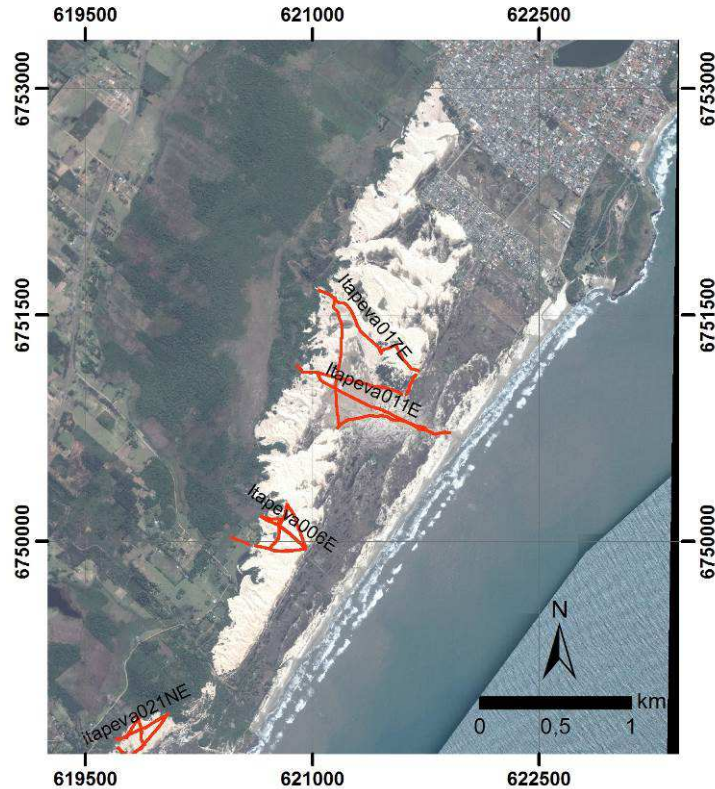


Figura 5 - Localização dos perfis geofísicos coletados com antena de 150 MHz. Imagem CNES/Astrium (GoogleEarth, 2013).

O processamento dos dados de Georradar foi realizado nos softwares RADAN™ e PRISM® 2.5. Para os dados coletados em cima das dunas, foi necessário realizar a correção topográfica das seções de Georradar, a fim de possibilitar a correta análise dos dados. Nestes casos, os dados de posicionamento coletados com GNSS foram processados por triangulação com outras estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

A interpretação dos dados seguiu os princípios da Sismoestratigrafia com ponderações devido à alta resolução (Neal, 2004). Os critérios utilizados na interpretação foram: a terminação, a amplitude, a continuidade e a geometria dos refletores.

Os dados coletados deram subsídios à caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície, auxiliando na interpretação evolutiva deste setor da planície costeira do RS, e do campo de dunas de Itapeva. As seções mais representativas estão apresentadas nesta Tese.

2.6 DIAGNÓSTICO DE IMPACTOS AMBIENTAIS E RELAÇÃO DA COMUNIDADE COM O AMBIENTE

Foi realizada a identificação dos impactos ambientais existentes no limite norte do Parque Estadual de Itapeva e seu entorno imediato, através de observações de campo, realizados durante os anos de 2014 e 2015.

Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com moradores no limite norte do Parque de Itapeva, com objetivo de caracterizar o perfil da população residente, bem como obter informações acerca da relação destes moradores com o ambiente em que vivem.

2.7 DIAGNÓSTICO DAS AÇÕES DE GESTÃO EXISTENTES NA REGIÃO

Ações de gestão existentes nos níveis federal, estadual e municipal para a região foram investigadas, através de entrevistas com a população local, com o gestor do PEVA, funcionários da Prefeitura Municipal e representantes de ONGs. Documentos e informações foram obtidos nestes órgãos e na internet.

2.8 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O projeto em Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o banco de dados foram elaborados na forma de Planos de Informações (PIs) com propriedades cartográficas padronizadas, conforme os dados descritos anteriormente foram sendo adquiridos e/ou gerados. Todos os dados georreferenciados inseridos no SIG foram compatibilizados ao final desta Tese para o *datum* SIRGAS2000. O SIG propiciou a organização espacial dos dados coletados, a análise conjunta dos dados da área de estudo e a confecção de mapas temáticos.

Além das imagens orbitais e fotografias aéreas da área de estudo (formato raster), o banco de dados contém as seguintes informações georreferenciadas no formato vetorial:

- a) a distribuição espacial das formas eólicas existentes no campo de dunas de Itapeva/RS ao longo do tempo (escala de tempo sazonal/mensal e também decadal);
- b) a evolução da urbanização de Torres, no entorno ao norte do campo de dunas;
- c) a evolução da área vegetada;
- d) a evolução da área de dunas livres;
- e) outras morfologias costeiras presentes na área de estudo (sangradouros, afloramentos);
- f) dunas monitoradas, com altimetria;
- g) os impactos ambientais visuais diagnosticados na área norte do campo de dunas e seu entorno.

CAPÍTULO 3. CLIMATOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Este capítulo é composto por três artigos envolvendo as análises realizadas em superfície.

3.1 ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS VENTOS NO EXTREMO NORTE DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Artigo submetido à revista *Pesquisas em Geociências*



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

Porto Alegre, 02 de junho de 2016.

À
Gabriela Camboim Rockett

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 já está em fase de análise por pares e revisão da Comissão Editorial.

Título: Análise espaço-temporal dos ventos no extremo Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil.

Autores: Gabriela Camboim ROCKETT, Priscila TELLES, Eduardo Guimarães BARBOZA, Nelson Luiz Sambaqui GRUBER & Carlos Eduardo SIMÃO.

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

Análise espaço-temporal dos ventos no extremo Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil

Spatial-temporal analysis of the winds in the extreme North of Rio Grande do Sul Coastal Plain, Brazil

Gabriela Camboim ROCKETT¹, Priscila TELLES², Eduardo Guimarães BARBOZA³, Nelson Luiz Sambaqui GRUBER³ & Carlos Eduardo SIMÃO⁴

- (¹) Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: gabriela.rockett@ufrgs.br.
- (²) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Osvaldo Aranha, 103, CEP 90035-190, Porto Alegre, Brasil. E-mail: prisciatelles3@gmail.com.
- (³) Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, Brasil. E-mails: eduardo.barboza@ufrgs.br; nelson.gruber@ufrgs.br.
- (⁴) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Av. Itália km 8, CEP 96203-900, Rio Grande, Brasil. E-mail: cadusimao@gmail.com.

Resumo. O transporte de partículas entre diferentes regiões é fortemente influenciado pela atividade dos ventos, o qual pode exercer grande influência na formação das paisagens litorâneas. Com o objetivo de caracterizar a dinâmica dos ventos no extremo norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, foram analisados dados históricos e anuais dos ventos (velocidade e direção) de quatro estações meteorológicas localizadas na região. Os resultados demonstram que na estação de Torres os ventos provenientes das direções NE e S são mais frequentes, e que os ventos das direções W e N são raros. Na estação SBTR/Aeroporto, os ventos do quadrante N-E são os mais frequentes (32%), seguidos dos ventos provenientes das direções SW, SSW e S. Na estação da Lagoa Itapeva Central o padrão dos ventos se altera um pouco, prevalecendo as direções NE e SW, com ventos de maior intensidade provenientes da direção SW. Também, verificou-se uma variabilidade considerável na direção e frequência dos ventos no decorrer das estações do ano, apresentando maiores valores de intensidade durante o inverno. Com base nos dados obtidos para cada estação meteorológica, constatou-se que no extremo norte da planície costeira do RS os ventos de maiores intensidades (quadrante S-SW) são registrados na estação localizada mais ao sul (município de Arroio do Sal), mais próxima à base do planalto Serra Geral, numa localidade em que as ocorrências coincidem com as direções livres de obstáculos orográficos. Apesar disso, as análises espaço-temporais evidenciaram que as diferentes localidades não possuem diferenças significativas nos padrões direcionais do vento considerando a unidade direcional como sendo o quadrante.

Palavras-chave. clima, estações meteorológicas, padrão de vento

Abstract. The sediment transport between different regions is strongly influenced by wind activity, which can have great influence on the formation of coastal landscapes. Aiming to characterize the wind dynamic in the extreme north of Rio Grande do Sul coastal plain, historic and annual wind data (speed and direction) of four meteorological stations located in

the region were analyzed in this study. Results show that in Torres station the winds that occur more often are from NE and S, and winds from W and N are rare. In the SBTR/Airport station, winds from the N-NE quadrant are the most frequent (32%), followed by the winds from SW, SSW and S. In the Central Itapeva Lake station the wind pattern changes slightly, and the most frequent wind directions are NE and SW, with more intense winds coming from SW. It was verified also a variability in the winds directions and frequency during different seasons, with more intense winds during winter. Based on the wind data from each meteorological station, it was found that in the extreme north of RS coastal plain the greatest winds intensity (S-SW quadrant) occur at the station which is located further south (Arroio do Sal municipality), which is closer to the Serra Geral plateau base, where the wind direction coincides with the direction free of orographic obstacles. Nevertheless, the spatial-temporal analysis showed that the different localities do not have significant differences in wind directional patterns considering the directional unit as the quadrant.

Keywords. climate, meteorological stations, wind pattern

1 Introdução

O deslocamento do ar atmosférico se deve a diferenças de gradientes de pressão atmosférica entre duas regiões distintas, influenciadas por efeitos locais. Os movimentos das massas de ar são responsáveis pela geração de ventos em superfície, os quais se deslocam sempre de zonas de maior pressão para as de menor pressão, e por sua vez são responsáveis pelo transporte de partículas de areia e poeira de uma região para outra. Os ventos sofrem influências também do movimento de rotação da Terra, da força centrífuga ao seu movimento, bem como da topografia e consequente atrito com a superfície terrestre (Tubelis & Nascimento, 1984). A velocidade do vento é influenciada pela distância da massa de ar da superfície, bem como da presença ou não de obstáculos (por exemplo: florestas, relevo acidentado e edificações). Quanto mais próximo da superfície, maior é o atrito da massa de ar com os obstáculos presentes e, portanto, a velocidade do vento é menor. Ao se afastar da superfície, em maior altitude, a velocidade do vento é maior.

O conhecimento da direção predominante do vento, velocidade média e possíveis fenômenos cíclicos que ocorrem num local, fornecem informações importantes para fins científicos e de planejamento de atividades que dependam das condições do vento como, por exemplo, agricultura, obras de engenharia, energia, navegação, esportes náuticos e planejamento ambiental (ex.: Camargo & Silva, 2002; Da Silva, 2007; Munhoz & Garcia, 2008; Brito-Costa, 2009; Alves & Silva, 2011; Costa & Lyra, 2012; Morais *et al.*, 2014).

A região nordeste da Planície Costeira do Rio Grande do Sul enquadra-se na zona temperada e, segundo Nimer (1977), seu clima pode ser definido como mesotérmico brando,

superúmido, sem estação seca. A temperatura média nesta região é entre 22 e 24°C, com precipitação acumulada anual entre 1250 e 1450 mm (INMET, 2015).

O clima do Rio Grande do Sul caracteriza-se por ser sazonal, e os ventos que afetam a região nordeste do Estado são basicamente o resultado da ação de dois sistemas de alta pressão que atuam na região: o Anticiclone do Atlântico Sul (AAS) e o Anticiclone Móvel Polar (AMP), segundo Nimer (1977). O Anticiclone do Atlântico Sul, originado em latitudes tropicais, gera uma massa tropical marítima, quente e úmida, enquanto que o Anticiclone Polar, originado na região Antártica, gera uma massa polar. Esta massa polar é responsável pela periódica entrada de frentes frias em direção ao norte, que ocorrem com maior frequência durante o inverno do que durante o verão (Homsí, 1978).

Grimm *et al.* (1998) afirmam que no litoral norte do RS as maiores altitudes do relevo são responsáveis pela estação mais chuvosa durante os meses de verão (gerando chuvas orográficas a partir das massas quentes atuantes neste período na região), enquanto que no litoral médio e sul do RS o pico de chuvas se dá nos meses de inverno (gerado pela maior ocorrência de sistemas frontais neste período). A região sul do Brasil é periodicamente afetada pelo fenômeno El Niño, responsável por distúrbios de repercussão global no sistema oceano/atmosfera. No Sul do Brasil, os eventos El Niño/Oscilação Sul causam a manutenção de sistemas frontais persistentes na região, gerando anomalias no regime pluviométrico – frequentemente associados a uma maior pluviosidade (Kousky & Cavalcanti, 1984; Kim, 1998).

Segundo Reis & Berlato (1972), para todas as regiões climáticas do Estado do Rio Grande do Sul, as direções predominantes dos ventos são NE, E e SE, e as velocidades médias mais elevadas ocorrem nos meses de primavera e as menores no outono. Estudos para caracterização dos ventos em regiões específicas do Rio Grande do Sul (principalmente nas regiões central e costeira) já foram realizados (Silva *et al.*, 1997; Braga & Krusche, 1998; Tomazelli, 1993; Camargo & Silva, 2002; Martinho *et al.*, 2010; Favera *et al.*, 2012; Fuentes *et al.*, 2013), e mostram peculiaridades nas diferentes regiões.

No contexto da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), o vento é um agente modelador da paisagem com grande relevância, responsável por significativos processos geomorfológicos que atuam na mesma (Tomazelli, 1990; 1993). A grande extensão dos campos de dunas presentes na PCRS mostra que a atuação dos ventos na região é significativa, atrelado à disponibilidade de sedimentos trazidos pela ação de ondas e correntes oceânicas. Um estudo para determinar os padrões de ventos na PCRS foi realizado por

Tomazelli (1993), utilizando-se séries históricas de dados de três estações meteorológicas distribuídas ao longo da costa do Rio Grande do Sul – municípios de Torres, Imbé e Rio Grande –, indicando que o vento mais frequente ao longo da costa do Rio Grande do Sul é o vento proveniente de NE. Porém, diferenças significativas entre as estações podem ser observadas, não só pela distância entre as mesmas (de algumas centenas de quilômetros), mas também pelas diferenças topográficas entre as três diferentes regiões. Os dados da estação meteorológica localizada em Torres, que situa-se no extremo norte da PCRS, demonstra a influência que o Planalto da Serra Geral exerce sobre os ventos locais (Tomazelli, 1993; Martinho, 2008). Dentro deste contexto, o presente estudo tem por objetivo caracterizar a dinâmica dos ventos atuantes no extremo norte da PCRS, e assim, fornecer subsídios para o planejamento ambiental da região.

2 Área, materiais e métodos

Este estudo foi conduzido através da análise de séries de dados de três estações meteorológicas localizadas no extremo norte da PCRS.

2.1 Localização da área

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul estende-se por 620 km desde o Arroio Chuí (extremo Sul) até a barra do Rio Mampituba (extremo norte), com larguras que variam entre 20 km e 80 km (Tomazelli *et al.*, 2000; Dillenburg *et al.*, 2009), e possui orientação NE-SW. O litoral norte da PCRS difere-se das demais regiões pela maior proximidade da linha de costa às escarpas do Planalto Serra Geral (ao oeste), com distância de aproximadamente 25-30 km (Fig. 1). Esta configuração do relevo confere diferenciações no clima da porção norte da PCRS. No município de Torres, ocorrem afloramentos rochosos da Formação Serra Geral na praia, os quais dão origem a falésias, feições estas que configuram peculiaridade na paisagem da região.

2.2 Materiais

A análise espaço-temporal dos ventos da área de estudo se deu a partir dos dados de quatro estações meteorológicas, as quais estão localizadas de norte para o sul, respectivamente: a estação de Torres, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); a estação Lagoa Itapeva Norte; a estação Permissionária de Telecomunicação e Tráfego Aéreo de Torres (SBTR), pertencente ao Aeroporto da cidade – localizadas no

município de Torres; e a estação da Lagoa Itapeva central – situada no município de Arroio do Sal. A localização espacial das quatro estações meteorológicas analisadas neste estudo constam na figura 1.

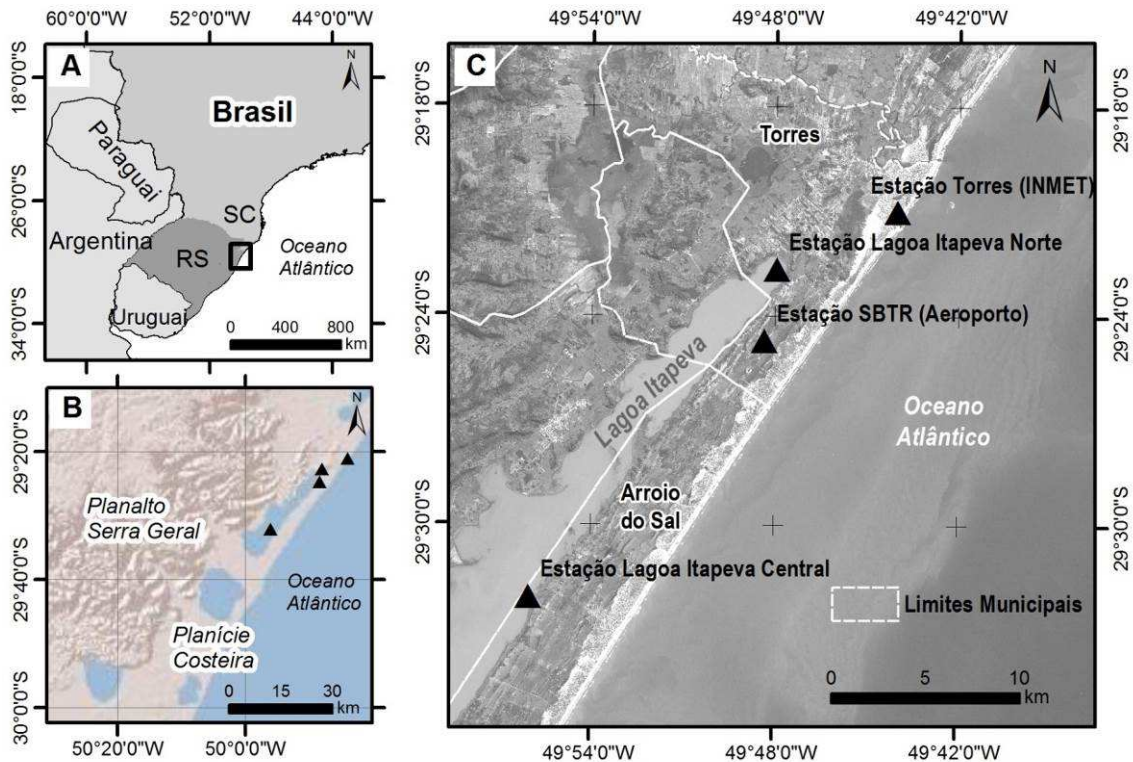


Figura 1. Contextualização espacial da área de estudo e localização das quatro estações meteorológicas analisadas (triângulos pretos), no extremo norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. A) escala continental; B) escala regional e C) escala local. Imagem do satélite SPOT, banda pancromática, 2005.

Figure 1. Spatial contextualization of the study area and location of the four meteorological stations analyzed (black triangles), in the extreme north of Rio Grande do Sul coastal plain. A) continental scale; B) regional scale and C) local scale. SPOT satellite image, panchromatic band, 2005.

A série de dados de velocidade e direção do vento da estação meteorológica de Torres compreende o período de monitoramento de 14 anos, de maio de 2002 a abril de 2015. Os dados de velocidades e direção do vento para esta estação são obtidos através de três medições diárias. Para a estação Permissionária de Telecomunicação e Tráfego Aéreo de Torres (SBTR/Aeroporto) foi utilizada uma série de dados de velocidade e direção do vento de 11

anos, que compreendem o período de janeiro de 2004 a maio de 2014. Os dados de velocidade e direção do vento desta estação meteorológica são obtidos através de medições diárias.

Quanto às estações meteorológicas instaladas nas margens leste e norte da Lagoa Itapeva, foram utilizados os dados disponíveis já tratados do Projeto “Comportamento hidrodinâmico da Lagoa Itapeva (Litoral Norte do RS) e seu efeito potencial sobre comunidades planctônicas”, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS (Cardoso, 2001; Lopardo, 2002; Cardoso *et al.*, 2003). Os dados de velocidade e direção do vento destas estações são limitados, sendo oriundos de coletas sazonais no período de um ano, entre dezembro de 1998 e dezembro de 1999.

2.3 Métodos

Para a análise espacial da frequência e intensidade dos ventos da área de estudo, foram utilizadas medidas diárias de velocidade e direção das estações meteorológicas de Torres e SBTR/Aeroporto, e os dados horários já tratados da estação Lagoa Itapeva Central (conforme Cardoso, 2001 e Cardoso *et al.*, 2003). Os dados obtidos de direção e velocidade dos ventos foram organizados em planilhas eletrônicas, para posterior análise. Os dados das séries históricas (Torres e Aeroporto) foram devidamente consistidos e, para estes, foram realizadas as análises estatísticas para gerar o diagrama de ocorrência conjunta. Nesta análise os dados foram agrupados quanto a sua ocorrência dentro de 16 direções e 8 intervalos de intensidade (ASA, 2006; Pearce & Walker, 2005; Martinho, 2008).

Outra análise realizada foi a representação gráfica por meio da rosa dos ventos, o qual apresenta a distribuição da ocorrência percentual dos ventos por direções. Neste estudo foram adotadas 16 direções e 8 intervalos de intensidade, para as estações as quais obteve-se os dados brutos. A ferramenta utilizada para análise estatística e confecção dos gráficos de frequência e intensidade dos ventos foi o *software* WRPLOT (www.lakes-environmental.com). Para a série histórica de dados mais longa e consistente (estação meteorológica de Torres), fez-se também a análise sazonal dos ventos atuantes, a fim de obter maiores detalhes sobre a variação dos ventos da região nas diferentes épocas do ano.

Foi realizada também a análise sazonal do ano de 1999 para a Estação Torres, para possibilitar a comparação espacial dos ventos desta estação meteorológica com os dados existentes da estação Lagoa Itapeva Norte para o mesmo ano (Lopardo, 2002). Foi utilizado neste estudo a maior quantidade de dados de ventos disponíveis para a região.

Os dados das estações Torres e SBTR/Aeroporto foram também analisados estatisticamente no *software* WRPLOT (distribuição de frequências dos dados - distribuição normal), quanto a sua ocorrência média mensal para as variáveis direções e intensidades. As séries de intensidades médias dos ventos para ambas as estações foram plotadas em um gráfico de linhas para comparação do comportamento temporal desta variável no tempo, para o período de 2002 a 2015.

Ainda, os dados da estação de Torres (INMET) foram analisados mais profundamente quanto à frequência direcional dos ventos registrados nesta estação ao longo dos meses do ano. Foi escolhida para esta análise a estação meteorológica de Torres por esta apresentar três medições diárias durante a série histórica escolhida, sem falhas de registro. Para fins de análise de remobilização de sedimentos pelo vento, a análise de frequência direcional limitou-se à análise dos ventos com velocidades acima de 5 m/s, que é a velocidade mínima do vento, registrada a 10 m de altura, para manter a areia em saltação - conforme Tomazelli (1993), considerando as características da areia da região estudada.

3 Resultados

A Tabela 1 apresenta o diagrama de ocorrência conjunta de direção e velocidade dos ventos registrados na estação de Torres, no período de maio de 2002 até abril de 2015. O número total de observações desta estação é 14.192. Na rosa dos ventos obtida a partir dos dados diários da estação de Torres (Fig. 2), percebe-se que os ventos provenientes das direções NE e S ocorrem com maior frequência, enquanto que ventos das direções W e N são raros.

A análise dos dados mostra que o vento mais frequente nesta estação provém de NE (23,9%), seguido de ventos de S (16,2%). As velocidades dos ventos de NE variam de 0,1 à 5,6 m/s em 20,5% dos casos. Os ventos de S também variam no mesmo intervalo de velocidade em 12,5% das ocorrências.

As calmarias são bastante frequentes, atingindo 32% nesta estação meteorológica. Ventos de E e de SW possuem frequências de 8,2 e 7%, respectivamente. Os ventos de E atingem velocidades menores que 3,0 m/s em 6,4% dos casos, enquanto que 2,5% dos ventos de SW possuem velocidades maiores, entre 3,0 e 5,6 m/s. Ventos de W são pouco frequentes na estação de Torres (1,7% de frequência, na maioria das vezes com velocidade de até 3,0 m/s). Em menor frequência ocorrem os ventos de maiores intensidades, acima de 5,6 m/s, sendo estes provenientes principalmente de S (3,62%) e NE (3,3%). Para o período analisado,

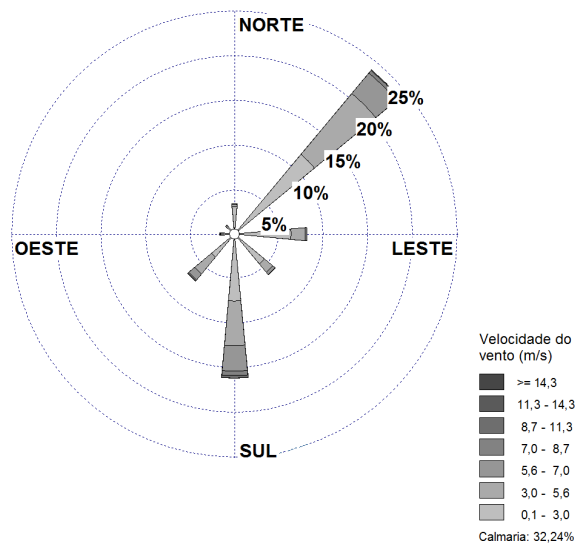


Figura 2. Rosa dos ventos mostrando a direção, velocidade e frequência dos ventos para a estação meteorológica de Torres (2002-2015), utilizando o software WRPLOT.

Figure 2. Wind rose showing direction, frequency and velocity of winds at Torres meteorological station (2002-2015), using the WRPLOT software.

A Tabela 2 apresenta o diagrama de ocorrência conjunta para a direção e velocidade dos ventos registrados na estação Permissionária de Telecomunicação e Tráfego Aéreo de Torres (SBTR/Aeroporto), no período de janeiro de 2004 a maio de 2014. O número total de observações desta estação é 1.241.

Tabela 2. Diagrama de ocorrência conjunta velocidade e direção dos ventos na estação meteorológica SBRT/Aeroporto, no período de 2004 a 2014.

Table 2. Diagram of joint occurrence of wind speed and direction at the SBTR/Airport meteorological station, in the period 2004-2014.

Direção Vento	Intervalos de Velocidades (m/s)							Total (%)
	0,1 - 3,0	3,0 - 5,6	5,6 - 7,0	7,0 - 8,7	8,7 - 11,3	11,3 - 14,3	>14,3	
N	2,58	1,37	0	0,08	0,08	0	0	4,11
NNE	3,95	3,63	0,56	0,08	0	0	0	8,22
NE	2,50	5,00	0,81	0,73	0,32	0	0	9,35
ENE	1,69	3,30	2,10	2,90	1,53	0,08	0,08	11,68
E	3,47	6,21	1,05	0,48	0	0	0,08	11,28
ESE	1,53	2,10	0,08	0	0,08	0	0	3,79
SE	1,29	1,05	0,08	0	0,08	0	0	2,50
SSE	1,45	1,93	0	0,08	0	0	0	3,47
S	1,37	4,35	1,21	0,81	0	0	0	7,74
SSW	1,37	3,30	1,37	1,37	0,48	0	0	7,90
SW	3,22	3,38	1,21	0,65	0	0	0	8,46
WSW	2,50	1,61	0,24	0,56	0,08	0	0	5,00
W	1,93	0,81	0,40	0,24	0	0	0	3,38
WNW	0,73	0,16	0,08	0	0	0	0	0,97
NW	1,61	0,32	0,08	0	0	0	0	2,02
NNW	2,42	0,48	0,00	0	0	0	0	2,90
Calmarias	-	-	-	-	-	-	-	7,25

Na figura 3 consta a rosa dos ventos obtida a partir dos dados da Estação SBTR/Aeroporto, na qual observa-se o comportamento diferenciado do vento, predominando ventos de ENE e de E, com frequências de 11,7 e 11,3%, respectivamente, seguido do vento NE, com 9,3% de frequência. Juntos, os ventos provenientes deste quadrante somam 32% da frequência e são predominantes em relação às demais direções. O vento ENE ocorre em diferentes intensidades de velocidades (entre 0,1 e 14,3 m/s), destacando-se as velocidades mais altas, entre 7,0 e 8,7 m/s em 2,9% das ocorrências, e velocidade entre 8,7 e 11,3 m/s em 1,5% das ocorrências. Ventos de E são frequentes também, porém a intensidade dos mesmos é menor, com velocidades variando majoritariamente entre 0,1 e 5,6 m/s (9,7% das ocorrências), assim como os ventos de NE (7,5% das ocorrências com velocidades até 5,6 m/s).

Os ventos de SW, de SSW e de S também possuem frequências consideráveis (8,5%, 7,9% e 7,7%, respectivamente), enquanto que os ventos provenientes das regiões NW, N, W e SE exercem pouca influência na região. Nesta estação, as calmarias não são tão frequentes

quanto na Estação de Torres (7,3%), e ventos de direções WNW, NW e SE são raros (<4% de frequência).

Com baixa frequência, ventos com velocidades superiores a 11,3 m/s foram registrados nesta estação meteorológica, sendo estes provenientes de E e de ENE (com 0,1% e 0,2% de frequência, respectivamente).

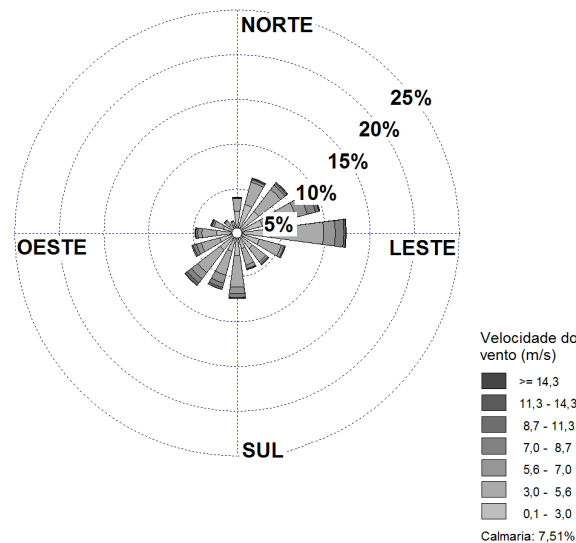


Figura 3. Rosa dos ventos mostrando a direção, frequência e velocidade dos ventos para a estação meteorológica SBTR/Aeroporto (2004-2014), utilizando o software WRPLOT.

Figure 3. Wind rose showing direction, frequency and velocity of winds at SBTR/Airport meteorological station (2004-2014), using the WRPLOT software.

A rosa dos ventos referente à estação meteorológica localizada mais ao sul da área de estudo, estação da Lagoa Itapeva Central, consta na figura 4. Nesta estação o padrão NE-S se altera para NE-SW. Ventos de até 17,5 m/s são observados na direção SW, no entanto os ventos mais frequentes permanecem como sendo de NNE e NE (16% e 13% respectivamente), como nas demais estações. Estes ventos, apesar de mais frequentes, não atingem velocidades tão altas quanto os de SW.

Esta estação meteorológica é importante pela sua localização mais ao sul da área de estudo, estando mais próxima às escarpas do planalto Serra Geral que as demais estações, numa região próxima ao vale do rio Três Forquilhas, que deságua na porção oeste da Lagoa Itapeva. Apesar da escassez dos dados (apenas um ano), as medições demonstram

peculiaridades importantes registradas neste local, que em conjunto com os dados das demais estações permitem-nos fazer uma interpretação.

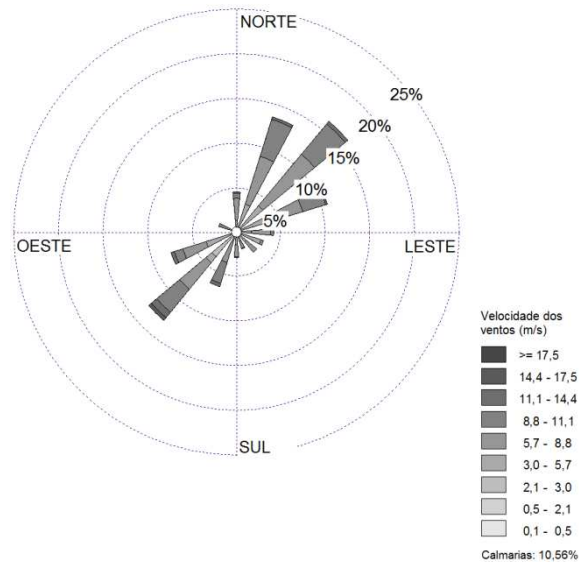


Figura 4. Rosa dos ventos mostrando a direção, frequência e velocidade dos ventos para a estação meteorológica Lagoa Itapeva Central (de dezembro de 1998 a setembro de 1999). Adaptado de Martinho (2008), baseado em dados de Cardoso (2001) e Cardoso *et al.* (2003).

Figure 4. Wind rose showing direction, frequency and velocity of winds at Itapeva lake meteorological station (from December 1998 to September 1999). Adapted from Martinho (2008), based in original data from Cardoso (2001) and Cardoso *et al.* (2003).

A Tabela 3 apresenta a análise estatística descritiva dos dados referentes ao período de monitoramento das estações meteorológicas de Torres e da SBTR/Aeroporto. Observa-se, a partir da análise da velocidade média mensal, que os meses de primavera (setembro, outubro, novembro e dezembro) e verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março) são os que possuem as maiores velocidades médias, enquanto que no período compreendido entre o final do outono e início do inverno (maio, junho e julho) as velocidades são mais baixas.

Tabela 3. Velocidades médias para cada mês do ano das estações meteorológicas de Torres e da SBTR/Aeroporto.

Table 3. Monthly average wind speed of Torres and SBTR/Airport meteorological stations.

Mês	Velocidade média do vento (m/s)	
	Torres	SBTR (Aeroporto)
Janeiro	2,35	3,37
Fevereiro	2,12	3,47
Março	2,13	3,22
Abril	1,89	2,89
Maio	1,8	2,83
Junho	1,42	2,64
Julho	1,62	3,06
Agosto	2,15	3,4
Setembro	2,67	3,91
Outubro	2,75	4,3
Novembro	3,01	4,31
Dezembro	2,69	3,84

A figura 5 mostra um gráfico comparativo de velocidade média mensal durante o período de monitoramento das estações de Torres e da SBTR/Aeroporto. De forma geral, observa-se que a velocidade do vento sofre grandes variações no decorrer do período analisado, e que as duas estações apresentam um perfil semelhante. A velocidade média máxima na estação de Torres é igual a 3,66 m/s, no ano de 2006, e na estação Aeroporto, a velocidade média máxima foi igual a 5,44 m/s.

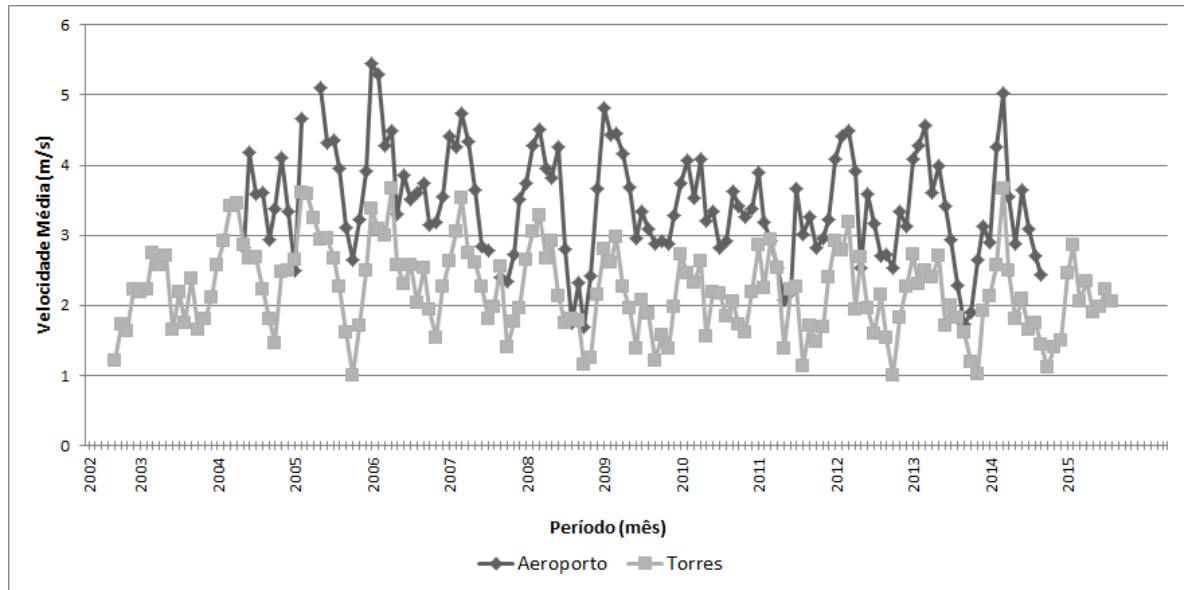


Figura 5. Variação da velocidade média mensal do vento para as estações meteorológicas de Torres e SBTR/Aeroporto (2002-2015).

Figure 5. Monthly average wind speed variation for Torres and SBTR/Airport meteorological stations (2002-2015).

Os resultados da análise sazonal baseada na série temporal de dados mais consistente, de janeiro de 2002 a dezembro de 2015 (estação Torres), mostram que apesar da direção do vento de maior frequência ser NE neste local, verifica-se que há uma variação considerável na direção e frequência dos ventos durante as diferentes estações do ano (Fig. 6). De forma geral, observa-se o predomínio de ventos provenientes das direções NE e S nas quatro estações do ano, caracterizando um regime de ventos bimodal nesta estação meteorológica, com ventos de S frequentes ao longo do ano (aumentando pouco sua frequência durante o inverno e a primavera), enquanto que os ventos de NE possuem sua frequência bastante aumentada durante a primavera e o verão.

No verão a direção principal dos ventos é a NE (28% de frequência), seguidos de ventos S (14%) de E (10%). Os ventos de NE mais intensos são mais frequentes neste período, totalizando 4% das ocorrências acima de 5,6 m/s, seguidos de ventos de S, com 2,2% das ocorrências. Durante o outono, há uma diversificação nas direções de proveniência dos ventos, sendo que os ventos provenientes da direção S passam a ser os mais frequentes (14%) e mais intensos (3,1 % das ocorrências de ventos acima de 5,6 m/s), seguidos de ventos NE e SW (0,9% e 1,5% de ocorrência de ventos com velocidades acima de 5,6 m/s, respectivamente). Durante o inverno, os ventos mais frequentes são os provenientes das

direções NE (18%), S (17%) e SW (9%), sendo que os ventos mais intensos ocorrem em maior frequência no quadrante S-W (S 4,8% e SW 1,5% das ocorrências com velocidades acima de 5,6 m/s, e NE 1,8%). Já durante a primavera a direção predominante do vento passa a ser a NE, chegando a ter 35% de frequência, seguidos dos ventos de S (18%) e E (10%). Nesta estação do ano, há maior frequência de ventos mais intensos de NE (7% com velocidades superiores a 5,6 m/s), seguidos dos ventos de S e SW (4,4% e 1% das ocorrências com velocidades superiores a 5,6 m/s).

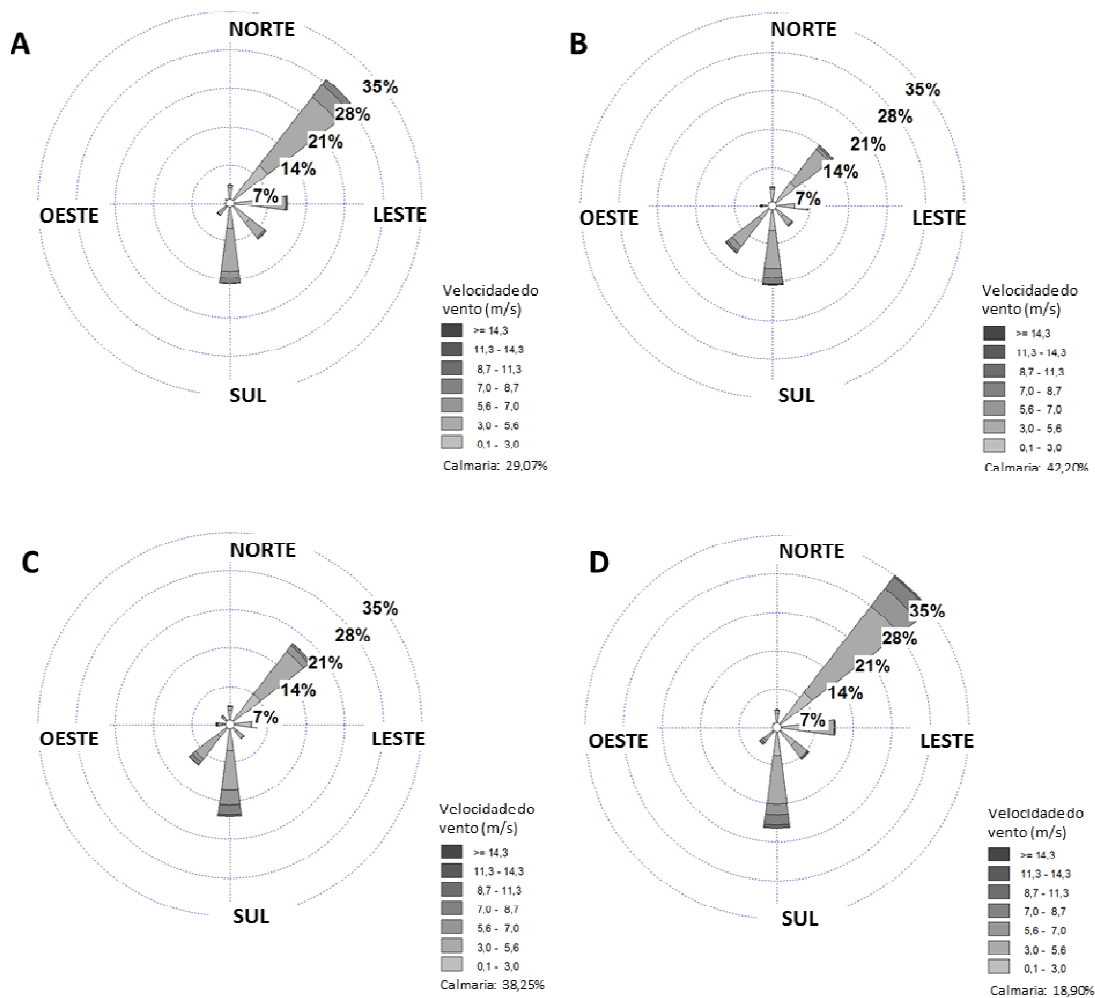


Figura 6. Rosa dos ventos mostrando a variação na direção e na frequência dos ventos nas quatro estações do ano na estação meteorológica de Torres (2002-2015). A) verão; B) outono; C) inverno e D) primavera.

Figure 6. Wind rose showing variations in direction, frequency and velocity of winds during the four annual seasons at the Torres meteorological station (2002-2015). A) summer; B) autumn; C) winter and D) spring.

Ainda, os dados mostram que ventos com intensidades superiores a 11,3 m/s foram registrados durante os meses de inverno e primavera, e estes ventos mais intensos provém do quadrante S-W (W e SW, respectivamente), indicando a atuação intensa dos sistemas frontais neste período. Durante o outono, ventos com velocidades superiores a 11,3 m/s foram registrados também nesta série histórica, porém, nesta estação do ano são provenientes das direções NE e S. Durante o verão, só há registro de ventos de velocidades inferiores à 11,3 m/s. A Tabela 4 mostra a frequência de ventos mais intensos (velocidade > 5,6 m/s) nas diferentes estações do ano, para a estação de Torres. Observa-se que os ventos de S mais intensos possuem frequências significativas em todas as estações do ano, e ventos de NE mais intensos predominam nos meses de primavera e verão.

Tabela 4. Direção e frequência dos ventos com velocidade superior a 5,6 m/s nas diferentes estações do ano para a Estação Meteorológica de Torres (2002-2015).

Table 4. Direction and frequency winds with velocity over 5,6 m/s at different seasons at Torres meteorological station (2002-2015).

Direção Vento	Frequência (%)			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
N	0,1	0,1	0,1	0,1
NE	4,0	1,0	1,8	7,0
E	0,3	0,1	0,1	0,2
SE	0,4	0,3	0,3	0,4
S	2,2	3,1	4,8	4,4
SW	0,1	1,5	1,5	1,0
W	0	0,3	0,4	0,2
NW	0	0	0	0

A análise da variação espaço-temporal sazonal de ventos para a região foi realizada com os dados disponíveis para as estações meteorológicas de Torres e Lagoa Itapeva Norte para o ano de 1999 (Figuras 7 e 8). Os resultados da estação de Torres (Fig. 7) mostram que, no verão do ano de 1999, os ventos mais frequentes foram de NE (25% da frequência), e de E (24% da frequência), sendo que os ventos de NE foram menos intensos que os de E

(intensidades superiores à 5,6 m/s corresponderam a apenas 0,86% dos ventos de NE e 2,58% dos ventos de E). Ainda neste período do ano, os ventos de S foram pouco frequentes (9%), porém em 2,1% possuíam intensidades superiores a 5,6 m/s. Durante a primavera, os ventos mais frequentes foram de NE (35% da frequência), seguidos dos ventos de E (18% da frequência) e SW (11% da frequência). Os ventos de maiores intensidades (superiores à 5,6m/s) nessa estação do ano, foram os de NE (5,8% das ocorrências), seguidos dos ventos de SW (2,5% das ocorrências). Durante o inverno, os ventos provenientes das direções NE continuaram sendo os mais frequentes (18%), seguidos de ventos de SW (11%) e W (11%). O quadrante S-W, apesar de variações nas direções, é o quadrante com maiores frequências de ventos, e deste quadrante são provenientes os ventos de maiores intensidades no inverno, S (2,5%) e SW (2,1%). Ventos de NE com maiores intensidades correspondem à 1,8% de frequência. Durante o outono, há uma diversificação nas direções de proveniência dos ventos, sendo que os ventos provenientes das direções E e W são os mais frequentes (14% e 13% respectivamente), e as direções W e S são marcadas pela ocorrência dos ventos mais intensos (3,67% e 1,1% da frequência respectivamente).

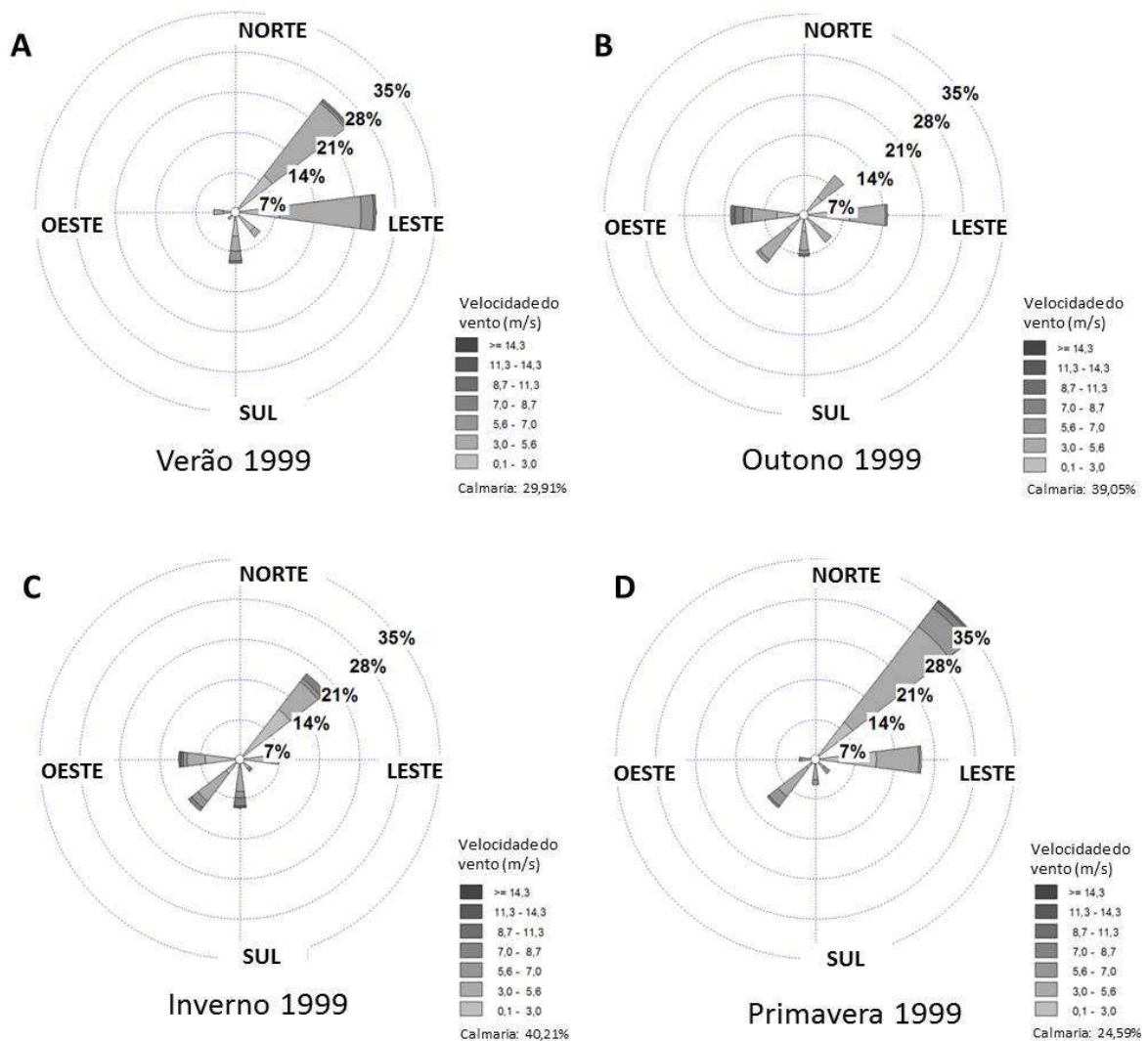


Figura 7. Rosa dos ventos mostrando a variação na direção e na frequência dos ventos nas quatro estações do ano na estação meteorológica de Torres, para o ano de 1999. A) verão; B) outono; C) inverno e D) primavera.

Figure 7. Wind rose showing variations in direction, frequency and velocity of winds during the four annual seasons at the Torres meteorological station, for the year 1999. A) summer; B) autumn; C) winter and D) spring.

Para o ano de 1999 na Estação de Torres, os dados mostram que ventos com intensidades superiores à 10 m/s ocorrem durante os meses de outono e inverno, sendo estes provenientes do quadrante S-W, indicando a atuação de sistemas frontais.

A partir dos dados de Lopardo (2002), podem-se comparar os resultados da análise sazonal obtidos da estação de Torres (mais ao norte da área de estudo) em 1999 com os dados da estação da Lagoa Itapeva Norte (distante 7 km a sudoeste da estação de Torres) para o

mesmo ano, conforme figura 8. Os resultados dessa estação mostram que, no verão do ano de 1999, os ventos mais frequentes foram do quadrante N-E (NE 15%, NNE 13% e ENE 18%). As demais direções não apresentaram ocorrência significativa. No período de outono a componente de N representou aproximadamente 19% das ocorrências seguida dos ventos do quadrante S-W, que somaram aproximadamente 33% das ocorrências. No inverno a componente SW foi a de maior frequência, com quase 28% das ocorrências, seguido da direção N bem expressiva, com aproximadamente 18% das ocorrências. Na primavera os ventos do quadrante N-E foram os mais significativos, somando aproximadamente 60% das ocorrências (NE 19%, NNE 13%, N 17,5%, ENE 10%), enquanto que ventos de SW e WSW representaram juntos aproximadamente 22% das ocorrências. Quanto às velocidades dos ventos nesta estação meteorológica, os registros de maiores intensidade apresentam valor superior a 12,4 m/s, sendo estes provenientes do quadrante S-W (SW, SSW e S) durante o outono e inverno.

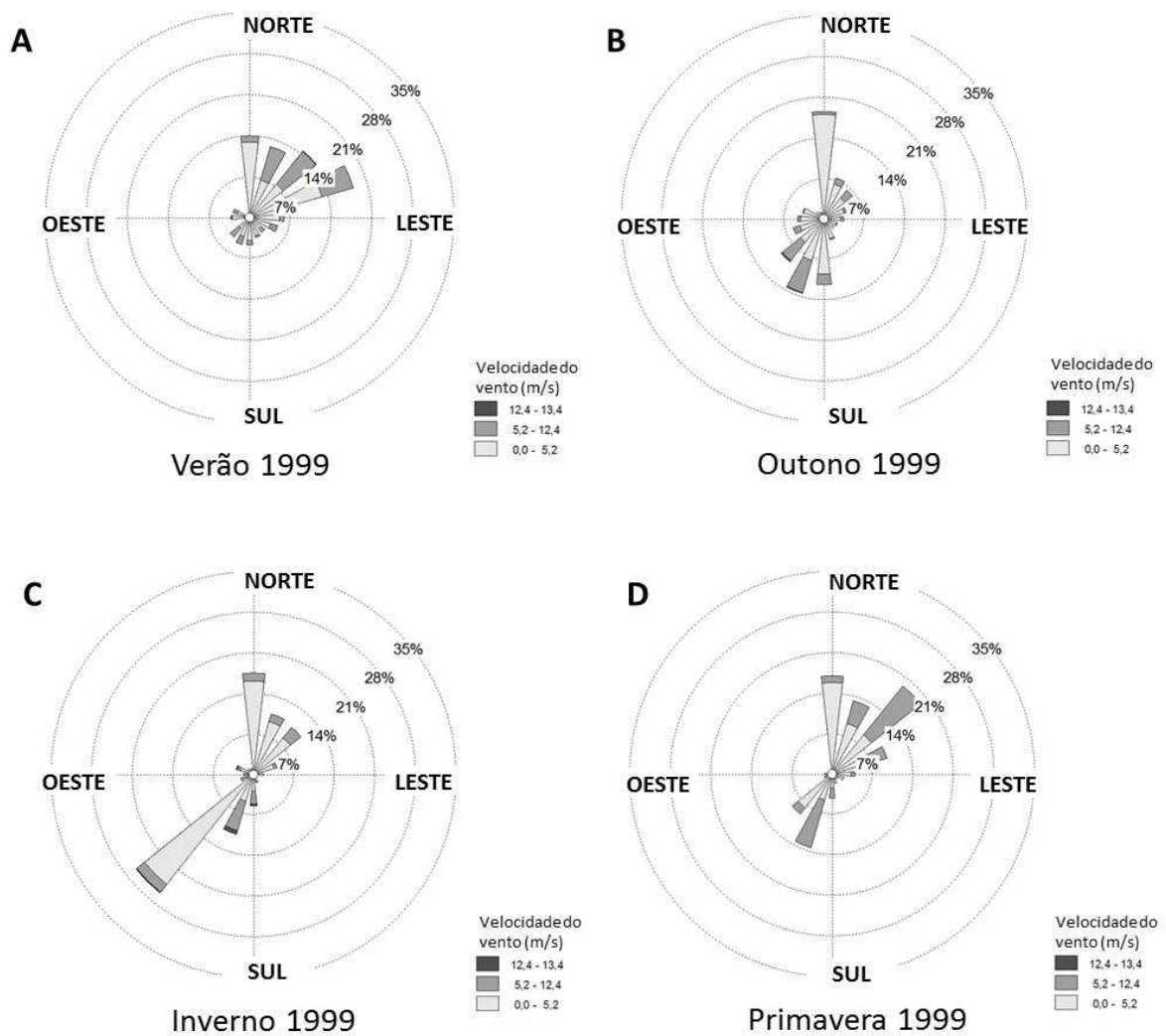


Figura 8. Rosa dos ventos mostrando a variação na direção e na frequência dos ventos no decorrer das estações do ano na estação meteorológica da Lagoa Itapeva Norte, para o ano de 1999. A) verão; B) outono; C) inverno e D) primavera. Adaptado de Lopardo (2002).

Figure 8. Wind rose showing variations in direction, frequency and velocity of winds during the four annual seasons at the Itapeva lake meteorological station. A) summer; B) autumn; C) winter and D) spring. Adapted from Lopardo (2002).

Na estação da Lagoa Itapeva, durante o período de verão, observou-se a predominância dos ventos das direções ENE, NE, NNE e N com respectivamente 18,1%, 14,3%, 12,4% e 13,7% de frequência, enquanto que os ventos do quadrante S-W, totalizam aproximadamente 17% de frequência. Já no outono, o vento de N é o mais frequente (18%) seguido dos ventos de SSW (13%). Apesar de menos frequentes que os ventos de N, os ventos de SSW e das demais direções do quadrante S-W são os mais intensos para esta estação, atingindo

velocidades superiores a 5,2 m/s em aproximadamente metade das ocorrências deste quadrante. No período de inverno, os ventos dominantes permanecem nos mesmos quadrantes que nas estações de verão e outono, no entanto, a ocorrência de ventos da direção SW se destacam com 26%, porém os ventos mais intensos tiveram frequência menor com relação ao total de ocorrências para este período. Mesmo assim, ventos com velocidades superiores a 12,3 m/s foram registradas, sendo provenientes de SSW e S. No período de primavera os ventos do quadrante N-E voltam a predominar, tal como no período de verão, com ocorrência de respectivamente NE 19,5%, N 17%, NNE 13%, ENE 10%, seguidos dos ventos do quadrante S-W (SSW 13,3%, SW 9% e S 4,3%). No período de primavera há significativa ocorrência de ventos de maiores intensidades, tanto de NE quanto de SSW.

A análise da frequência direcional dos ventos predominantes (quadrantes N-E e S-W) registrados na estação de Torres (do INMET) ao longo dos meses do ano (Fig. 9), mostra que ventos capazes de remobilizar sedimentos (acima de 5 m/s) ocorrem em maior frequências no quadrante S-W entre os meses de abril e setembro (outono-inverno) e em maior frequência no quadrante N-E entre os meses de outubro e março (primavera e verão).

A distribuição de frequências (número de registros) mostra que os ventos do quadrante S-W com velocidades acima de 5 m/s atuam na região durante o ano todo com um mínimo de 20% das ocorrências mensais (mínimo no mês de janeiro), enquanto que os ventos do quadrante N-E atuam na região predominantemente nos meses de primavera e verão, com ocorrências inferiores a 25% em três meses do ano: maio, junho e julho.

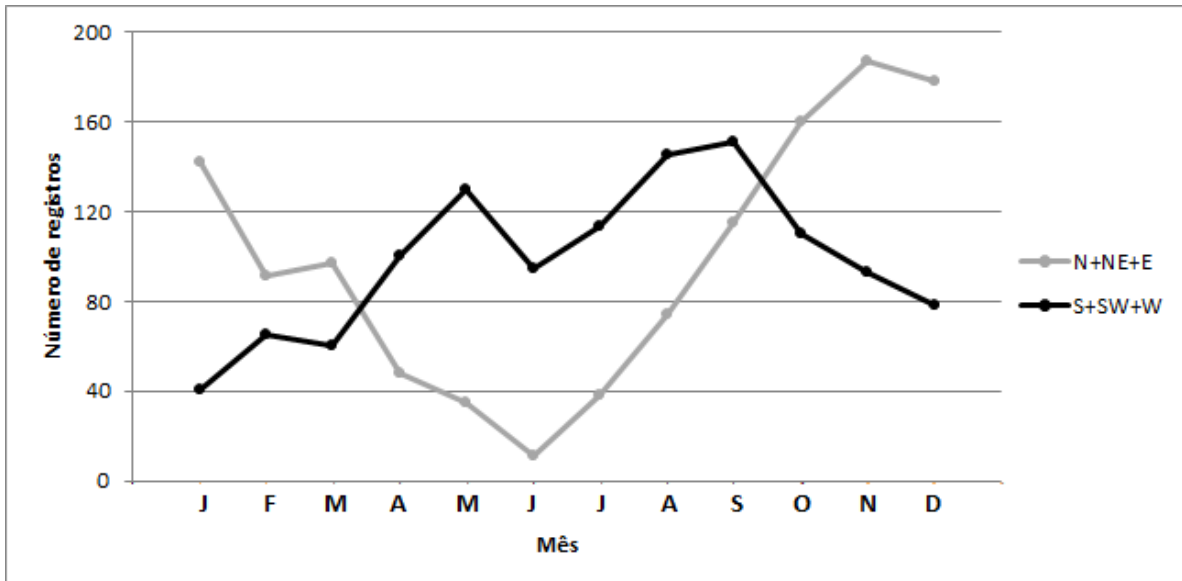


Figura 9. Frequência direcional dos ventos predominantes com velocidades acima de 5 m/s na estação meteorológica de Torres (2002-2015).

Figure 9. Directional frequency of prevailing winds with velocities above 5 m/s at Torres meteorological station (2002-2015).

A predominância sazonal de ventos dos dois diferentes quadrantes reflete o caráter bimodal dos ventos desta região, juntamente com a intensidade dos ventos provenientes de cada direção, na sua atuação sobre a remobilização dos sedimentos da região extremo norte da PCRS. A ocorrência de ventos com intensidades acima de 5 m/s provenientes de S, SW e W se dá ao longo de todo o ano, com menores frequências em janeiro e fevereiro (20 e 38% do total de ocorrências). Ventos com intensidades acima de 5 m/s provenientes de N, NE e E também ocorrem ao longo de todo o ano, porém com frequência muito menor nos meses de maio e junho (20 e 10% do total de ocorrências).

4 Discussão dos resultados

Os registros de longo termo dos dados de vento das estações meteorológicas de Torres e Aeroporto, analisadas neste trabalho, permitem inferir os padrões climatológicos das direções e das intensidades dos ventos no extremo norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. O primeiro aspecto que deve ser considerado na análise espacial dos resultados é a localização geográfica de cada uma das estações meteorológicas. A estação de Torres está localizada em uma região costeira a uma distância menor que 1 km da faixa litorânea. Já as estações SBTR e Lagoa Itapeva Central possuem distâncias da faixa litorânea respectivamente

menor que 2,5 e 5 km. Ainda, a estação da Lagoa Itapeva Central apresenta os setores direcionais S-W e W-N bem próximos da barreira orográfica da formação Serra Geral, localizada a oeste da área de estudo. Estas características geográficas das estações implicam em alguns aspectos: (1) a direção dos ventos de maior intensidade registrados em cada uma das estações. A estação de Torres apresenta a ocorrência de ventos de maior intensidade provenientes de S; na estação SBTR as maiores intensidades não possuem uma única direção definida; e por fim, na estação da Lagoa Itapeva Central, as maiores intensidades ocorrem com maior frequência na direção SW; (2) as ocorrências das maiores intensidades coincidem com as direções livres de obstáculos orográficos em cada uma das estações. O relevo da região sugere que há uma zona de compressão das linhas de corrente dos fluxos na região sul da Serra Geral, o que gera uma deflexão nas direções dos ventos provenientes de sul para sudoeste. Ainda, esta compressão do fluxo pode ocasionar o aumento da velocidade do vento nesta região por uma simples relação de conservação de massa. O que reforça a hipótese da influência da Serra Geral são os registros de maiores intensidades de vento provenientes de WSW, SW e SSW na estação Lagoa Itapeva Central, e ocorrência muito menor de registro de ventos destas mesmas direções na estação de Torres (mais ao norte, e, portanto mais protegida pela barreira orográfica a oeste). As maiores intensidades registradas podem ainda estar associadas ao posicionamento latitudinal de cada uma das estações meteorológicas, onde a estação localizada mais ao norte (Torres) registrou intensidade máxima de 14,5 m/s e a estação mais ao sul (Lagoa Itapeva Central), aproximadamente 30 km de distância, teve o valor de 17,5 m/s registrado.

Segundo Gemiacki & Ferodova (2006) os sistemas frontais atuam desde o sul do continente sul-americano (influência mais marcante) até latitudes mais baixas (onde geralmente chegam enfraquecidas). Apesar deste comportamento não se pode atribuir o registro das maiores intensidades do vento na estação da Lagoa Itapeva somente à pequena diferença de latitude, mas sim considerar este aspecto de real potencial de contribuição para este fenômeno.

O padrão de ventos obtidos pela análise dos dados da estação meteorológica de Torres, apesar de mostrar alguma pequena variação na frequência dos ventos, é bem similar aos valores encontrados por Tomazelli (1993) e Martinho (2008). Este fato se deve, possivelmente, às diferentes séries históricas analisadas: enquanto os autores acima referidos utilizam uma série histórica de dados de um período de 13 anos (entre 1980 e 1993), o presente estudo fez a análise de uma série histórica de dados mais recente e com 14 anos

(2002 a 2015). Além disso, a estação meteorológica de Torres estava localizada em um local diferente do atual, o que pode também ter gerado algumas diferenças nos dados coletados.

A análise das velocidades médias entre as duas estações que possuem períodos coincidentes (Torres e SBTR) apontam para maiores energias nos ventos registrados na estação SBTR, pois ao longo do período analisado os valores médios mensais são superiores aos da estação de Torres. O cálculo da média mensal considera todos os setores direcionais, e desta forma as componentes vetoriais das direções W e SW da estação SBTR contribuíram para as maiores velocidades médias calculadas para esta estação. O estudo de Martinho (2008) corrobora com essa análise e aponta maiores intensidades nos ventos de W para a estação localizada na Lagoa Itapeva Central. Apesar dos resultados sugerirem esta interpretação, fica a hipótese de que a intermitência dos registros da estação Aeroporto, possivelmente contribui com maior diferença no cálculo das velocidades médias, pois há a possibilidade de períodos de velocidades extremas (máxima ou mínima) não terem sido registrados, consequentemente interferindo no cálculo da velocidade média. Mesmo assim, a variabilidade sazonal das intensidades dos ventos para o período de 13 anos analisados está marcada na variação temporal dos dados de ambas as estações. Esta variação é coincidente em ambas as séries representadas no gráfico. Ainda, a diferença de velocidades médias máximas pode se justificar pela diferença de altitude ortométrica dos anemômetros nas duas estações meteorológicas analisadas. Cabe restar que não há informação disponível quanto à altura dos sensores em relação à superfície.

A evolução de um sistema frontal ocorre de S para N e em seu deslocamento há a constante perda de energia cinética, por conta das características de cobertura da superfície. Em função deste fenômeno, a proximidade da estação SBTR com a estação Lagoa Itapeva Central pode ter possibilitado a maior conservação de energia decorrente da menor resistência da água ao escoamento do vento. Consequentemente, ventos de maior intensidade podem ocorrer com maior frequência, o que, hipoteticamente, explicaria as maiores velocidades médias registradas para esta localidade. A variação sazonal das intensidades dos ventos se mantem ao longo de toda série de dados analisadas para ambas as estações, com ventos médios mais intensos no inverno.

Os resultados da análise sazonal para o ano de 1999 da estação Torres apresenta pequenas diferenças dos resultados obtidos, para esta mesma estação meteorológica, da série histórica de 2002 a 2015. Uma das diferenças observadas é que durante o verão de 1999 a componente de E possui maior ocorrência. No período de outono, a componente de W é mais

marcante, o que difere da série de 2002-2015. De forma geral a grande diferença da série de longo termo e os ventos de 1999 é que para este ano os ventos de sul não ocorrem com grande frequência em todos os períodos, diferente do observado nas rosas de 2002-2015. As intensidades registradas apontam para maiores valores no período de inverno em ambos os períodos analisados para esta estação, com ocorrência de intensidades elevadas e frequentes provenientes do quadrante N-E, durante a primavera/verão. Este padrão de circulação observado está fortemente associado ao escoamento do Anticiclone do Atlântico Sul (AAS), principalmente para o período de verão. Segundo Andrioni (2010) o AAS é um sistema de alta pressão semipermanente existente no Atlântico Sul, o qual é responsável pelo bom tempo da costa brasileira.

Para o mesmo ano (1999), os resultados sazonais da estação meteorológica Lagoa Itapeva Norte possuem um comportamento similar à estação Torres, com uma pequena diferença na ocorrência dos ventos de N, o qual ocorreu com frequência relativa em todos os períodos daquele ano. Ainda, o que mais chama a atenção na estação de Lagoa Itapeva Norte quando comparada à estação de Torres é a grande ocorrência de ventos provenientes de SW durante o inverno. Esta componente de direção SW pode estar associada à presença da Lagoa Itapeva, pois o espelho d'água da lagoa exerce menor resistência ao escoamento dos ventos superficiais e, conseqüentemente, não filtra as componentes menos energéticas, refletindo nos registros dessa estação meteorológica. O que reforça essa inferência é o fato de haver alto número de registros de ventos menores que 5,6 m/s provenientes de SW, os quais, provavelmente, seriam atenuados até a estação mais ao norte, Torres. Estas pequenas diferenças entre as duas estações analisadas sugerem uma variação espacial do comportamento do vento, tanto na frequência direcional quanto nas intensidades. No entanto, salienta-se que, quanto à extensão dos registros, a *World Meteorological Organization* (2015) recomenda 30 anos de dados para a determinação dos padrões climatológicos, assim nenhuma das séries possui a extensão necessária para uma caracterização mais rigorosa. Apesar destas características, em concordância aos objetivos do presente estudo, ambas são suficientes a uma caracterização e, como já apontado anteriormente, corroboraram aos padrões descritos preconizado pela bibliografia disponível.

A análise de frequência direcional dos ventos capazes de remobilizar sedimentos mostra a influência do regime de ventos bimodal da estação de Torres neste aspecto, visto que o número de ocorrências para os diferentes quadrantes (N-E e S-W) varia ao longo do ano, porém a atuação de ambos os ventos é significativa durante o ano. O número de ocorrências

de ventos acima de 5 m/s mostra que durante metade do ano (outubro a março) predominam ventos do quadrante N-E e nos outros 6 meses (abril a setembro) predominam ventos quadrante S-W. Apesar da grande frequência de ventos dos dois quadrantes nos diferentes meses do ano, destaca-se que os ventos de S possuem frequência significativa em todos os meses do ano, enquanto os ventos de NE ocorrem em frequência mais significativa nos meses de primavera e verão, e durante o inverno sua ocorrência diminui bastante.

Para corroborar os resultados, a mesma análise foi realizada para a série de dados de 1961 à 2002 (41 anos) da estação de Torres (que estava localizada em local distinto do atual, no Morro do Farol), e os resultados são similares, mostrando o mesmo padrão para o local avaliado, porém mostram ocorrência um pouco maior dos ventos de NE-E (com relação aos ventos de S-SW) no mês de setembro, evidenciando a entrada da primavera com ventos de NE. Ainda, destaca-se que no mês de setembro o número de ocorrências entre ventos NE-E e S-SW é similar, sendo o único mês do ano em que isto ocorre. Este padrão bimodal de ventos com velocidades superiores a 5 m/s corrobora as feições eólicas encontradas no campo de dunas de Itapeva, localizado no município de Torres, onde dunas reversas fazem parte da paisagem (Tomazelli *et al.*, 2008).

5 Conclusões

Dentro do objetivo proposto pelo presente estudo de caracterizar a dinâmica dos ventos atuantes no extremo norte da PCRS e conseqüentemente fornecer subsídios para o planejamento ambiental da região, a interpretação dos padrões de circulação dos ventos foi fundamentada em análises estatísticas. Estas análises avaliaram o comportamento dos ventos quanto a sua variação direcional e de intensidade ao longo do tempo.

A primeira interpretação quanto às características espaço-temporais dos ventos foi obtida por meio de interpretação dos diagramas de ocorrência conjunta. Por meio destas informações providas por estas tabelas para as duas estações (Torres e Aeroporto) pode se inferir que há diferenças nos padrões de escoamento do vento superficial para cada localidade. No entanto, diferenças não são significativas quando considerada a unidade direcional como sendo o quadrante. O outro conjunto de análises realizadas foram as rosas dos ventos de três localidades (Torres, Aeroporto e Lagoa Itapeva Central). Não diferente dos digramas de ocorrência conjunta, estes gráficos permitiram analisar a variação dos ventos quanto às suas frequências direcionais. A primeira inferência a se destacar é a maior ocorrência de ventos provenientes de NE na estação localizada mais ao norte (Torres) e ventos de SW mais

frequente e intensos na estação mais ao sul (Lagoa Itapeva Central). No entanto, o que difere são as intensidades dos ventos em cada uma das estações. Desta forma, em todas as estações, as maiores ocorrências de ventos são provenientes do quadrante N-E. No entanto, quando analisadas as 16 seções direcionais, os padrões de circulação local são evidenciados. Isto se deve ao aumento da discretização angular no registro a uma precisão de 22,5 graus, o que aumenta a capacidade de identificação das alterações da direção do vento pelas estações meteorológicas. Consequentemente as influências da orografia e a proximidade do oceano ficam mais claras no registro de cada uma delas. Os estudos de Martinho (2008) e Tomazelli (1994) corroboram os resultados obtidos neste trabalho, indicando a influência fundamental da orografia nos ventos da região extremo norte da PCRS.

Ventos de maiores velocidades ocorrem no período de inverno em todas as estações meteorológicas. Do ponto de vista do comportamento espacial do vento, algumas conclusões são importantes destacar, tais como a rotação do sentido dos ventos preferencias, onde um giro de aproximadamente 30 graus ocorre da estação de Torres para a estação SBTR com uma deflexão de N-S para N-SW. Outra inferência é que ao se deslocar para sul são maiores as chances de ocorrência de ventos de grandes intensidades. Por fim, pode se concluir que a análise dos dados dos ventos das estações meteorológicas estudadas possibilitou identificar as principais características espaço-temporais dos ventos para a região de estudo.

São diversos os desafios para a análise de séries históricas de registros de fenômenos ambientais. No presente estudo as características singulares de cada conjunto de dados, podem influenciar nos resultados das análises geradas e consequentemente na interpretação dos resultados. A avaliação da ocorrência das direções e intensidades dos ventos e a não sincronicidade dos dados medidos possivelmente influenciam nos resultados. Sinais de fenômenos de escala sinótica, tal como El Niño/LaNiña, que possam ter ocorrido em um dos períodos não coincidentes, podem marcar a série de dados de vento com ocorrência de ventos de direções e intensidades singulares, ou seja, fora do padrão médio esperado.

São muitas as possibilidades de utilização dos resultados deste estudo. Uma delas é a utilização como ferramenta de apoio a tomada de decisão para o planejamento ambiental. São diversos os assuntos do ponto de vista de planejamento ambiental que demandam das informações obtidas ao longo deste trabalho. Entender o comportamento morfodinâmico das dunas da região, por exemplo, é um desses assuntos que exigem do conhecimento quanto aos padrões de circulação dos ventos. Neste caso, além da avaliação da frequência direcional dos

ventos, é necessária uma avaliação mais detalhada da intensidade dos ventos, tamanho dos grãos e precipitação, por exemplo (Bagnold, 1941; Fryberger & Dean, 1979).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de Doutorado da primeira autora deste artigo, bem como à bolsista de Iniciação Científica Marina R. Fagundes, pelo auxílio na organização dos dados e confecção dos gráficos.

Referências bibliográficas

- Alves, E.D.L. & Silva, S.T. 2011. Direção e velocidade do vento em uma floresta de transição Amazônia-Cerrado no norte de Mato Grosso, Brasil. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, 31(1): 63-74.
- Andrioni, M. 2010. *Influência de Forçantes Locais na Camada de Ekman Superficial do Talude Superior da Bacia de Santos*. Curitiba, 193p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná.
- ASA. Applied Sciences Associates (South America). 2006. *Modelagem do Descarte de Benzeno, Tolueno e Fenóis Totais na Água Produzida Descartada na Bacia de Campos*. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/C657C5D3/Modelagem_BTF_BCampos.pdf. Acesso em: 23 jun. 2014.
- Bagnold, R.A. 1941. *The physics of blown sand and desert dunes*. London, Methuen, 265p.
- Braga, M.F.S. & Krusche, N. 1998. Análise da Frequência das Velocidades do Vento em Rio Grande, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. *Anais...* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 6p. Disponível em: <http://www.cbmet.com/>. Acesso em: ago. 2015.
- Brito-Costa, G. 2009. *Análise espacial e temporal do vento no Estado de Alagoas*. Alagoas, 126p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas.
- Camargo, O.A. & Silva, F.J.L. 2002. *Atlas Eólico: Rio Grande do Sul*. Editado pela Secretaria de Energia Minas e Comunicações. Porto Alegre, SEMC, 70 p.
- Cardoso, L.S. 2001. *Variações da estrutura planctônica da Lagoa Itapeva (Sistema Lagunar Costeiro do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica*. Porto Alegre, 466p.

- Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Cardoso, L.S., Silveira, A.L.L. & Motta Marques, D.M.L. 2003. A ação do vento como gestor da hidrodinâmica na Lagoa Itapeva (Litoral Norte do Rio Grande do Sul-Brasil). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(3): 5-15.
- Costa, G.B. & Lyra, R.F.F. 2012. Análise dos padrões de vento no estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(1): 31-38.
- Da Silva, J.K.A. 2007. *Caracterização do vento e estimativa do potencial eólico da região de tabuleiros costeiros (Pilar, Alagoas)*. Alagoas, 79p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas.
- Dillenburg, S. R., Barboza, E. G., Tomazelli, L. J., Hesp, P. A., Clerot, L. C. P. & Ayup-Zouain, R. N. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A. (Org.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 107: 53-91.
- Favera, A.C.D., Luiz, E.W., Schuch, N.J., Martins, F.R. & Pereira, E.B. 2012. Potencial Eólico no Rio Grande Do Sul – Distribuição Estatística dos Ventos na Região Central do Estado. *Revista Geográfica Acadêmica*, 6(1): 38-51.
- Fryberger, S.G. & Dean, G. 1979. Dune forms and wind regime. In: McKee, E.D. (Ed.). *A Study of Global Sand Seas*. USGS, Professional paper 1052:137-169.
- Fuentes, E.V., Bitencourt, D.P. & Fuentes, M.V. 2013. Análise da velocidade do vento e altura de onda em incidentes de naufrágio na costa brasileira entre os estados do Sergipe e do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(3): 257-266.
- Gemiacki, L. & Ferodova, N. 2006. Atuação de um sistema frontal na estação seca do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 6p. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/>>. Acesso em: ago. 2015.
- Grimm, A.M., Ferraz, S.E.T. & Gomes, J. 1998. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 11: 2863-2880.
- Homsí, A. 1978. Wave climate in some zones off the Brazilian coast. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 16., 1978. *Proceedings...*

- Hamburg, Germany, American Society of Civil Engineers, p.114-133. DOI: 10.1061/9780872621909.007
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia (Brasil). 2015. *Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 03 mai. 2015.
- Kim, I.S. 1998. Análise da variabilidade e variação dos índices El Niño, Oscilação Sul e chuvas nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina do Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. Anais...* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 5p. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/>>. Acesso em: jun. 2015.
- Kousky, V.E. & Cavalcanti, I.F.A. 1984. Eventos Oscilação Sul - El Niño: Características, Evolução e Anomalias de Precipitação. *Ciência e Cultura*, 36(11): 1888-1899.
- Lopardo, N. 2002. *Estudo hidrodinâmico e correlação com sólidos suspensos e turbidez na lagoa Itapeva do litoral norte do estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 168p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Martinho, C.T. 2008. *Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 216p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Martinho, C.T., Hesp, P. & Dillenburg, S.R. 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. *Geomorphology*, 117(1-2): 14–32.
- Morais, G.M., Sobrinho, J.E., Santos, W.O., Costa, D.O., Silva, S.T.A. & Maniçoba, R.M. 2014. Caracterização da velocidade e direção do vento em Mossoró/RN. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7(4): 746-754.
- Munhoz, F.C. & Garcia, A. 2008. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava-SP. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23(1): 30-34.
- NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration (Estados Unidos da América). 2014. *JetStream Online School for Weather: Origin of Wind*. Disponível em: <<http://www.srh.noaa.gov/jetstream//synoptic/wind.htm>>. Acesso em: out. 2014.

- Nimer, E. 1977. *Climatologia do Brasil*. 2^a ed., Rio de Janeiro, IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 421p.
- Pearce, K.I. & Walker, I.J. 2005. Frequency and magnitude biases in the 'Fryberger' model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. *Geomorphology*, 68: 39-55.
- Reis, B.G. & Berlato, M.A. 1972. *Aspectos gerais do clima do Estado*. Porto Alegre, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, v.1, 187 p.
- Silva, J.B., Zanusso, J.F. & Silveira, D.L.M. 1997. Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 5(2): 227-235.
- Tomazelli, L.J. 1990. *Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase no sistema eólico*. Porto Alegre, 270p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Tomazelli, L.J. 1993. O Regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, 20(1): 18-26.
- Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R. & Villwock, J.A. 2000. Late quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3): 474-476.
- Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R., Barboza, E.G. & Rosa, M.L.C.C. 2008. Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos de Cidreira e Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 35(2): 47-55.
- Tubelis, A. & Nascimento, F.C.L. 1984. *Meteorologia descritiva: Fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo, Nobel, 374p.
- WMO. World Meteorological Organization. 2015. *World Climate Programme (WCP)*. Disponível em: < <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php> >. Acesso em: 12 out. 2015.

3.2 EVOLUTION OF THE ITAPEVA DUNEFIELD OVER THE LAST DECADES (TORRES-RS, BRAZIL)

Gabriela C. Rockett, Eduardo G. Barboza, Marina R. Fagundes, Maria Luiza C.C. Rosa & Patrick Hesp

Artigo ainda não submetido

ABSTRACT

Analysis on spatial-temporal changes in the Itapeva dunefield region was performed in this study for the period 1953-2013, using aerial photographs, satellite images and geomathic tools, and some factor were investigated as possible driving factors. Despite human factors have influenced in the removal of sediment of this depositional system, results of this study show that natural factors (increase in rainfall and vegetation colonization and decrease in average wind speed) are responsible to the main spatial changes and stabilization process of Itapeva dunefield.

Key words: Holocene barrier, climate, spatial changes, vegetation cover, sediment supply

1. INTRODUCTION

Coastal dunefields develop in sandy beaches and are very common where there are abundant sediment supply and adequate grain size to be transported by the winds acting in the beach (Carter, 1988; Hesp & Thom, 1990). Sediment supply, wind patterns, grain size available at the beach and coastline orientation are some factors that influence the size of the coastal dunefields (Hesp & Walker, 2013). These factors added the factor “vegetation cover” are responsible in the activation or stabilization of a dunefield (Hesp & Thom, 1990). Coastal dunes have a great ecological relevance due to its function as a protection barrier from storm erosion, in the salt wedge retention, and constitute ecological habitats for fauna and flora and are important as a natural landform.

Transgressive dunefields are defined as relatively large-scale aeolian sediment deposits formed by the movement of sand going landward (or transgression) over a prior terrain (Hesp, 2000). The dunefields surface morphology may change through time as a result of climate changes (Martinho *et al.*, 2010; Miot da Silva & Hesp, 2013; Miot da

Silva *et al.*, 2013; Mendes & Giannini, 2015), changes in sediment supply (Tomazelli, 1994; Aagard *et al.*, 2007) or anthropic influence (Nordstrom, 1994; 2000; El Banna & Frihy, 2009).

The Rio Grande do Sul (RS) coastal plain is characterized by barrier-lagoon depositional systems, dominated by waves. RS coastal plain is the emerged portion of Pelotas sedimentary basin, with approximately 620 km in length. Four barrier-lagoon depositional systems formed by successive sea-level rise and drop controlled by glacio-eustatic events during the Quaternary were identified (Villwock *et al.*, 1986; Villwock & Tomazelli, 1995). The Holocene barrier-lagoon formation occurs by the migration of a transgressive barrier, in the final stages of the post-glacial marine transgression, about 7-8 ky BP (Dillenburg *et al.*, 2006). Recent studies show that, at the same time, progradational and retrogradational patterns can be identified in distinct sectors of the RS coastal plain Holocene barrier (Dillenburg *et al.*, 2000; 2009).

Many different geomorphological features have been developed during the RS Holocenic barrier evolution, such as dunes, dunefields, beach ridges, coastal lakes and lagoons. The most common features in RS coastal plain are beach ridges, foredune ridges and transgressive dunefields (Villwock, 1984; Villwock & Tomazelli, 1995; Hesp *et al.*, 2005; 2007). Wide transgressive dunefields are present along all RS coast (Tomazelli, 1990; Arejano, 1999; Ugri, 2004; Guimarães, 2005; Martinho, 2008; Martinho *et al.*, 2010), and this fact was possible due to the conjunction of favorable factors, such as high sediment supply, appropriate wind regime, low topography (Tomazelli *et al.*, 2003; 2008). The Holocene coastal dunefields have developed in RS northern coast over the past 4800 years (Martinho *et al.*, 2008). In general, sands in RS coastal plain have predominantly quartz composition, fine-grained, well rounded and well selected, and characterized by high mineralogical maturity (Martins, 1967; Tomazelli, 1990). The main types of vegetated dunes found in the northern coast of RS are: incipient foredunes, foredunes and nebkhas; in the other hand, the main types of unvegetated aeolian forms found are barchan dunes, barchanoid chains and transversal dunes (Tomazelli, 1990). Sand sheets, blowouts, parabolic and linear dunes are also found in the area.

Dunes evolution in RS coast are described in Tomazelli (1994), where transversal dunes evolve to barchanoid chains, and later to isolated barchans dunes. Studies

demonstrate that the changes in dunes morphology in RS coast are due to a decrease in sediment supply (Tomazelli, 1994) and climate changes (Martinho *et al.*, 2010). The study performed by Martinho (2008) and Martinho *et al.* (2010) in nine dunefields in the northern coast of RS shows the variations in dimension, morphology and distribution of them along the RS coast. In general, dunefields tend to be wide and extensive in the central portion of RS coast, and narrower and less extensive in the northern sector, due to differences in precipitation, sand drift potential and sediment supply in these two different sectors of the RS coast.

Itapeva dunefield is located in the municipality of Torres (Figure 1), the northern municipality in RS coastal plain. There are peculiar characteristics in this area, different from other coastal sectors in RS coastal plain, such as the Serra Geral Formation basement outcrops (no outcrops are found along more than 600 km in RS coast), the Mampituba river mouth and a dunefield with reversing dunes (Tomazelli *et al.*, 2008). The Itapeva dunefield is approximately 4 km in length and varies from 300 m to 1 km wide, confined between basement outcrops. This characteristic differ this dunefield from the others present in RS coast. Tomazelli (2001) states that this dunefield was one of the aeolian systems in the RS coastal plain that, at that time, can be preserved maintaining characteristics very close to the original natural system, and since the year 2002 it is inside a protected area (Parque Estadual de Itapeva, or “Itapeva State Park”).

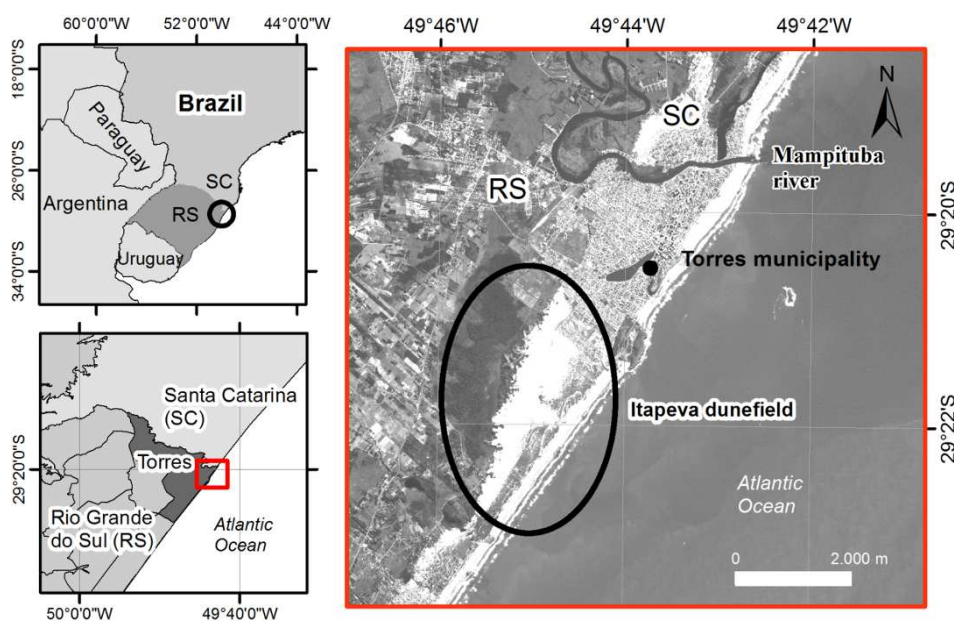


Figure 1 – Location of the study area: Itapeva dunefield, Rio Grande do Sul, Brazil. (SPOT satellite image, panchromatic band, 2005).

Itapeva dunefield is an active aeolian system and is part of the depositional system IV (Holocene) of the RS coastal plain. It is characterized as a transgressive dunefield (Hesp et al., 2005; Tomazelli et al., 2008) developing over a progradational barrier type (Rockett *et al.*, 2014). Transgressive dunefields are broad aeolian sand deposits formed by the downwind movement of sand sheets and dunefields over an area with or without vegetation, and typically are bordered by precipitation ridges, and often fronted by deflation basins and plains (Hesp & Thom, 1990).

Through a multi-temporal analysis of remote sensing products (aerial photographs and satellite images) we observed that the mobile dunes area is decreasing along the last decades. The retraction of the mobile dunes area occurs in the East and North side of the dunefield. In the north side, the antropoc occupation occurs due to the grow of Torres urban center (as already noted by Tomazelli *et al.*, 2003; 2008) and in the east side, a deflated area windward has formed. Despite extensive and present all along Rio Grande do Sul coastal plain, there are still few studies for understanding recent evolution of Itapeva dunefield. In this context, this study aimed to identify spatial changes in Itapeva dunefield over the last 60 decades and investigate the factors influencing it. This work is an attempt (i) to understand the temporal and spatial changes taking place on Itapeva dunefield over time, and (ii) to relate these changes to climatic, environmental or human drivers or controls.

2. METHODOLOGY:

The materials used and methods adopted in order to reach the objective of this research are described below.

2.1 Spatial and temporal analysis

An analysis of remote sensing products (aerial photographs and satellite images) was performed to analyze spatial and temporal variations on Itapeva dunefield morphologies. Spatial changes in the Itapeva dunefield and its vicinity were examined by comparing vertical aerial photographs from 1953, 1965, 1974, 1989 and 1996 and high resolution satellite images from 2006 and 2013. The photographs' scales vary from

1:20.000 to 1:60.000, and for the year 1996 the scale is 1:8.000. Photographs from 1989 and 1996 do not cover the total dunefield area. In these cases, some analyzes were performed only in the north region of the dunefield, focusing on the urbanization advance over it. The photos are from the Autonomous Department of Highways of Rio Grande do Sul state (DAER-RS), the Geological Survey of Brazil (CPRM) and from the Torres municipality government (secretary of the environment). The high resolution satellite images are an orthorectified IKONOS panchromatic image for the year 2006 (Rovedder, 2007) and an image from GoogleEarth for the year 2013.

The use of remote sensing techniques to analyze dunefield's morphology and vegetation cover is very common (a good review on this topic can be accessed in Hugenholtz *et al.*, 2012), and some studies in RS coastal dunefields have been performed using it (Seeliger *et al.*, 2000; Tomazelli *et al.*, 2008; Martinho *et al.*, 2010). A decadal analysis was performed, since the year 1953, using the remote sensing available products. The aerial photos were scanned and for each photograph/image, geometric correction was performed, referenced to UTM projection, zone 22 S, WGS-84 datum. Images were photo-interpreted and the features delimitation was performed using a Geographic Information System (GIS). The transgressive dunefield were identified, as well as the vegetated deflation plain area and the urbanization advance over the dunefield, allowing area delimitation for each feature type and the preparation of thematic maps.

The main aeolian forms in the years 1953, 1974 and 2006 were also analyzed and described in terms of type, dimensions and spatial distribution.

2.2 Climatic analysis

Precipitation data were obtained from Torres station at the meteorological database of the National Institute of Meteorology (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET). The database extends from 1961 to 2014, with total monthly precipitation measurements in millimeters (mm). The years 1969, 1984, 1986, 1987, 1990 and 2001 have missing monthly data, and due to this they were not included in the analysis. Precipitation data were analyzed by total monthly precipitation and its annual precipitation average.

Based on historical wind data from two meteorological stations located close to the study area – Torres and SBTR/Airport (Rockett *et al.*, *submitted*) – sand drift potential was calculated for each station and for each season. Furthermore, sand roses were built to subsidize the analysis. Torres station is located 1km from the north boundary of the Itapeva dunefield (in northeast direction), and the Airport station is 5 km far from the southern boundary of the dunefield (in southwest direction).

Data from Torres meteorological station range from May 2002 to April 2015 (14 years), and data from the Airport meteorological station range from January 2004 to May 2014 (11 years). The location of the two meteorological stations are in Figure 2.

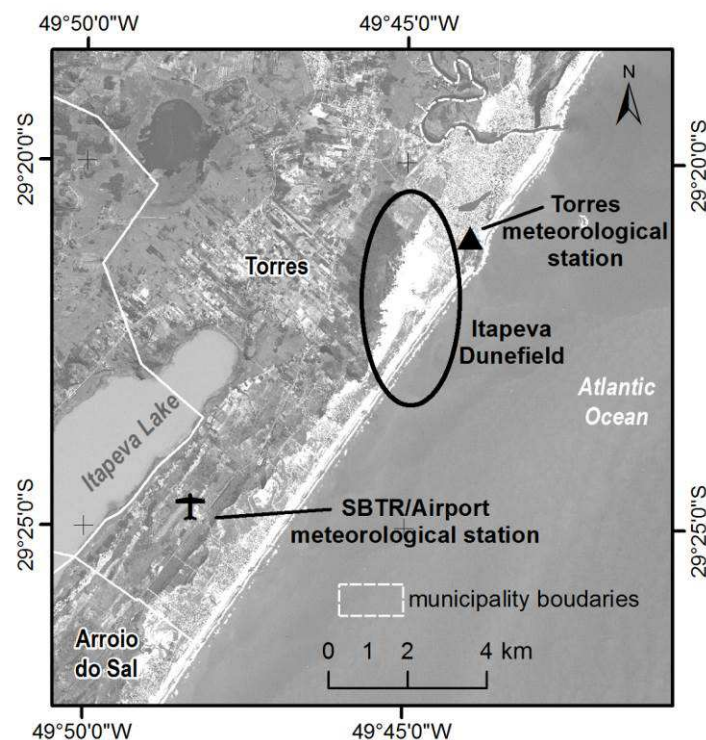


Figure 2 – Location of meteorological stations analyzed in this study (SPOT satellite image, panchromatic band, 2005).

Fryberger & Dean (1979) developed a method to analyze wind data and to calculate sand drift potentials (DP), in an attempt to quantify the amount of aeolian sand (sand drift) that could be transported at a station during a determined period of time. DP is represented as vector units (v.u.). To calculate sand drift potential, first step was to build the wind frequency table (Fryberger & Dean, 1979). Sixteen equal interval ranges (22,5°) were chosen to the wind direction classes (where 0° is North; 90° is East; 180° is South and 270° is West), in order to minimize systematic frequency bias (according to

Pearce & Walker, 2005). Seven wind speed classes were chosen for this study; three of them are according to Pearce & Walker (2005) - wind speeds higher than 14,31 m/s were condensed into one class - and in addition four complementary classes were used, due to the specific wind data characteristics (according to Martinho, 2008; Table 1).

Table 1 – wind velocity classes used in this study.

Wind velocity classes (m/s)						
0-3	3,01-5,6	5,61-7	7,01-8,7	8,71-11,3	11,31-14,3	>14,31

With the wind direction and velocity classes chosen, a wind frequency table for each station was calculated, using electronic spreadsheets. The data in this table represents the amount of time that the wind blows in each defined direction.

The method proposed by Fryberger & Dear (1979) to estimate sand drift potential assumes that sediment surfaces are flat, dry and with sparse vegetation, composed of medium grain size (0.25- 0.3mm) quartz sand. Considering that different wind speed can transport different amounts of sand, they modified the Lettau and Lettau (1978) equation and created *weighting factors* to each velocity class (Eq. 1).

$$Q = \text{weighting factor} * t \quad (\text{Equation 1})$$

Where:

Q is the rate of sand drift in vector units (in vector units, v.u.)

t is the amount of time that the wind blew, expressed as a percentage in the frequency tables and the *weighting factor* is represented by Eq. 2.

$$\text{weighting factor} = \frac{V^2(V - V_t)}{100} \quad (\text{Equation 2})$$

In the weighting factor calculation, \bar{V} is the statistical mean of the velocity wind class (in m/s), considering the data used in that specific class - to avoid biases (according to Pearce & Walker, 2005) – and V_t is the impact threshold wind velocity at 10 m (in m/s).

To calculate the V_t value, we used the Bagnold (1941) equation, according to the Fryberger & Dean (1979) method, but in this work we assumed the real and measured grain size for Itapeva Dunefield sands, which is 0,177 mm.

Then, the sand Drift Potential (DP) was calculated for each velocity class. DP is the product of the weighting factor and the wind frequency, and is represented in vector units (v.u.). Wind velocity classes lower than the V_t value result in negative DP values, and due to this fact these values were discarded and do not count in the total DP sum – they don't contribute to sediment transport.

A Resultant Drift Potential (RDP) can be calculated using DP for each wind direction, and also the Resultant Drift Direction (RDD) – Fryberger & Dean, 1979 –, and all these calculations are expressed in a sand rose diagram, where the RDD is represented as an arrow that shows the sand movement direction and its length is the RDP value (in v.u.). Wind regime is considered of high energy when the total annual DP is larger than 400 v.u.; of intermediate energy when total annual DP is larger than 200 and lower than 399 v.u.; and of low energy when total annual DP is lower than 200 v.u.

Also, the ratio RDP/DP that gives an index of the directional variability of the wind (Fryberger and Dean, 1979) were calculated; the greater the directional variability of the effective sand-transporting winds, the lower is the RDP/DP ratio. The classification of the directional variability indexes is as follow: index ranges from 0 to 0.3 show high variability of sand transporting winds; index ranges from 0.3 to 0.8 show intermediate variability of sand transporting winds; and when index is equal or higher than 0.8 it shows low variability of sand transporting winds.

3. RESULTS

3.1 Evolution of Itapeva dunefield over the last decades

The Itapeva dunefield is a transgressive dunefield, which migrate landward. In the north portion of it, there are basement outcrops that form cliffs of about 40-50 meters high in the Torres coast (“Morro das Furnas” and “Morro do Farol” hills), “Torre Sul” and “Guarita” towers, as well as in the south portion of the dunefield, where a lower altitude outcrop occur close to the beach (the “Itapeva rock”), and becomes higher landward (“Itapeva hill”) - Figure 3. Moreover, another outcrop occur close to the bigger washout in the central region of the dunefield, and became more visible during winter, called “pedra vermelha” rock (“red rock”). These outcrops only occur in this sector of the RS coast. All these basement outcrops and the low thickness of sediment over the basement (varying from 2 to 22 meters in the main central drainage and in the deflation plain – Rockett *et al.*, 2013; 2014) may influence in the Itapeva dunefield characteristics.

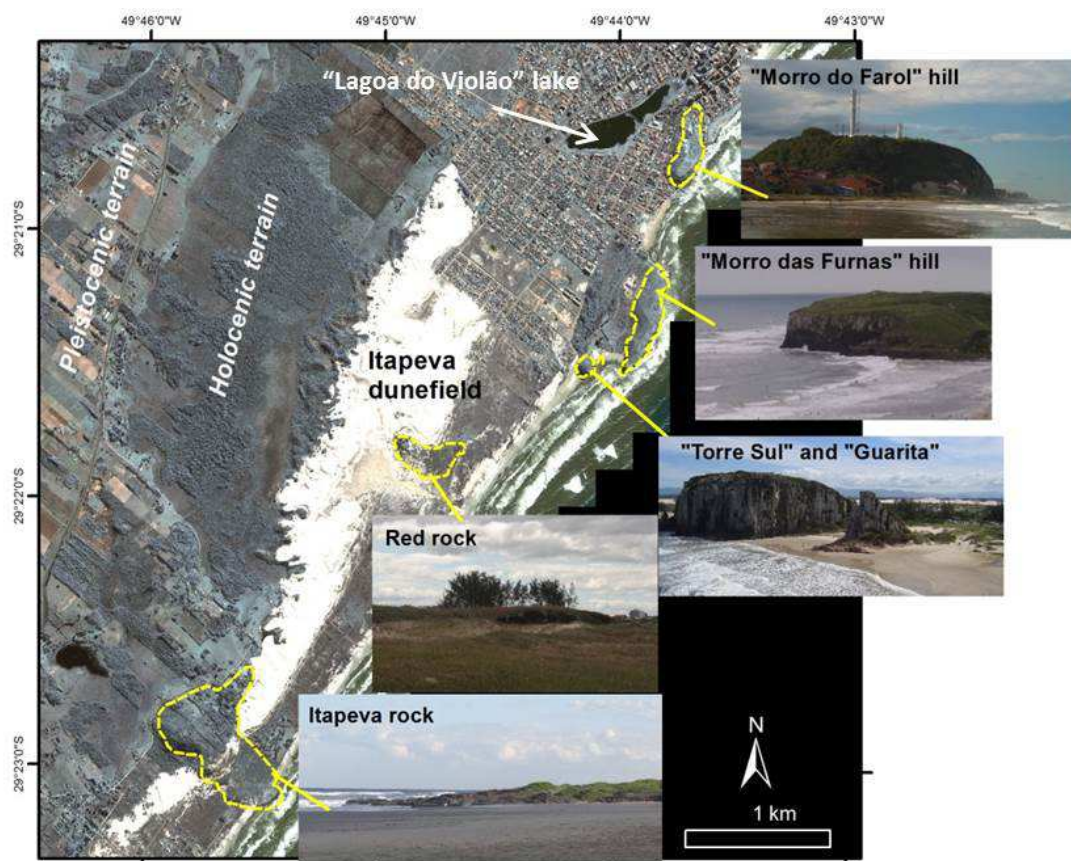
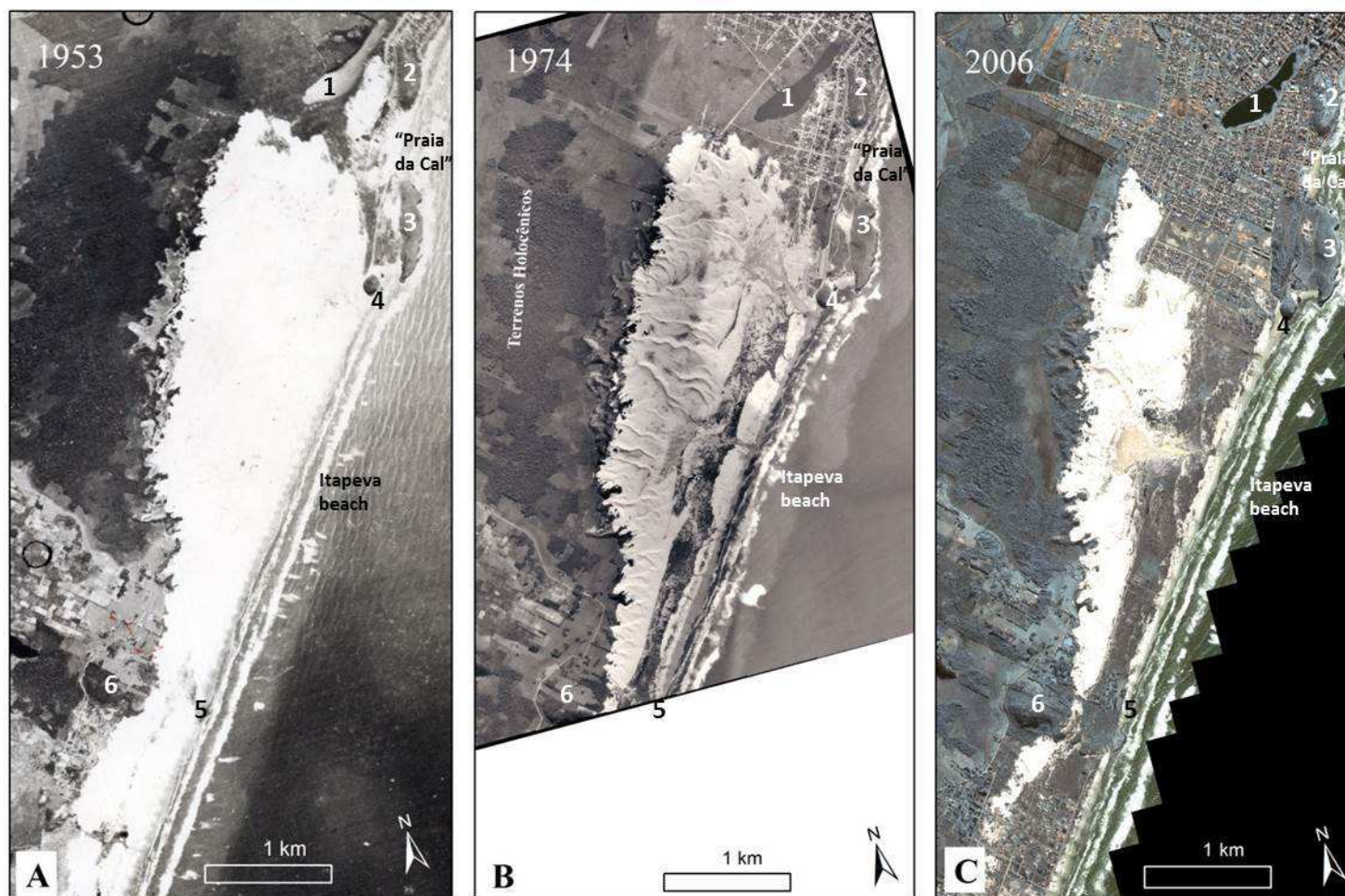


Figure 3 – Basement outcrops close to Itapeva dunefield.

In the west side of the dunefield, there is a wetland area with swampy forest, and sandy forest in the dunefield boundary (Itapeva State Park management plan - SEMA, 2006). This humid area extends from the center to north sector of the dunefield. From the central sector of the dunefield until the Itapeva rock, there is native grassland vegetation.

The coastline orientation in this area is NE-SW. We could find vegetated and not vegetated aeolian forms in this dunefield today. In a spatial-temporal analysis of the remote sensing products available, significant changes in the dunefield could be detected during the last 60 years (Figure 4). Description of the observations are below.



1-“Lagoa do Violão” lake; 2-“Morro do Farol” hill; 3-“Morro das Furnas” hill; 4-“Torre Sul” hill; 5 - Itapeva rock; 6 - Itapeva hill

Figure 4 – Spatial-temporal changes in Itapeva dunefield: (A) Aerial photo from 1953, (B) aerial photo from 1974 and (C) IKONOS satellite image from 2006.

1953 aerial photography

The 1953 aerial photograph is in Figure 4A, and shows the following:

- The dunefield extension was of about 4.52 km from north until the Itapeva rock; and from the Itapeva rock to south, an extensive area of mobile dunes occur.
- The mobile dunes area initiated just after the beach line, and the total mobile dunes area up to the Itapeva rock was 4.55 km².
- The north boundary of the dunefield was about 220 meters in south direction from the “Lagoa do Violão” lake; the region of the “Lagoa do Violão” lake is a low topography area, and from this region going in direction to the area behind the “Morro do Farol” hill, vegetation can be observed.
- A more humid area (drainage) can be observed in the north region of the dunefield, which flows from the dunefield toward the sea (NW-SE direction) in the southern side of “Torre Sul” hill (“Riacho Doce” drainage);
- In the landward of the dunefield, we could observe precipitation ridges that advance toward mainland; in the north sector of the dunefield, the aeolian sand goes landward, over low terrains (Holocene terraces – Tomazelli *et al.*, 2008).
- Vegetation agglomerates are present in the dunefield west boundary (sandy forest);
- Also in the west boundary of the Itapeva dunefield, some peculiar U-shaped sand bodies are present (Figure 5). In the northern portion of the dunefield, the U-shaped sand bodies’ depositional lobes are oriented to NW direction, and just south of them (in the central portion of the dunefield), depositional lobes are oriented to SW direction. Probably the basement outcrops (“Morro das Furnas” hill) act as a barrier to NW wind in the northern portion of the dunefield, influencing in wind dynamics and sand transport in this region. These U-shaped dunes show unvegetated depositional lobe and a vegetated portion in the concave windward region (deflation plain). The grey tone is lighter in the photo, and indicates grassland vegetation. It seems that these sand bodies were active some years before the actual dunes that are precipitating by the year 1953 (located a little bit at the SE-E side than these features).



Figure 5 – Detail of the U-shaped/parabolic dunes in the landward margin of Itapeva dunefield in 1953.

- Between the “Torre das Furnas” and “Torre do Farol” hills there is a beach (called “Praia da Cal”). It is possible to observe that there was a connection between “Praia da Cal” beach and the Itapeva dunefield northern area. There was a dunefield between the “Morro do Farol” hill and the “Lagoa do Violão” lake. A slightly higher topography around the “Morro do Farol” hill, in the northern portion of Praia da Cal beach (Figure 4A) constitute a physical barrier for aeolian sediment transport from the beach. An aerial photograph from 1934 can illustrate this area in another perspective angle (Figure 6), showing the environment at that time.
- Although there is a connection between “Praia da Cal” beach and the northern portion of Itapeva dunefield, sediment supply from this beach does not seem to be significant. What we can observe is that, in general, the mobile dunes area is elongated in SSW-NNE direction, with a convex edge that suggest the migration from south to north direction.
- The urbanized area in Torres was clearly defined in the photograph, from the “Morro do Farol” hill to north direction. It can be observed some roads oriented into beach direction, in direction to “Guarita” hill, but no significative urbanization was detected from “Morro do Farol” hill into south direction at that year.
- Dunes morphology within the active dunefield could not be analyzed, due to no contrast in the aerial photograph.

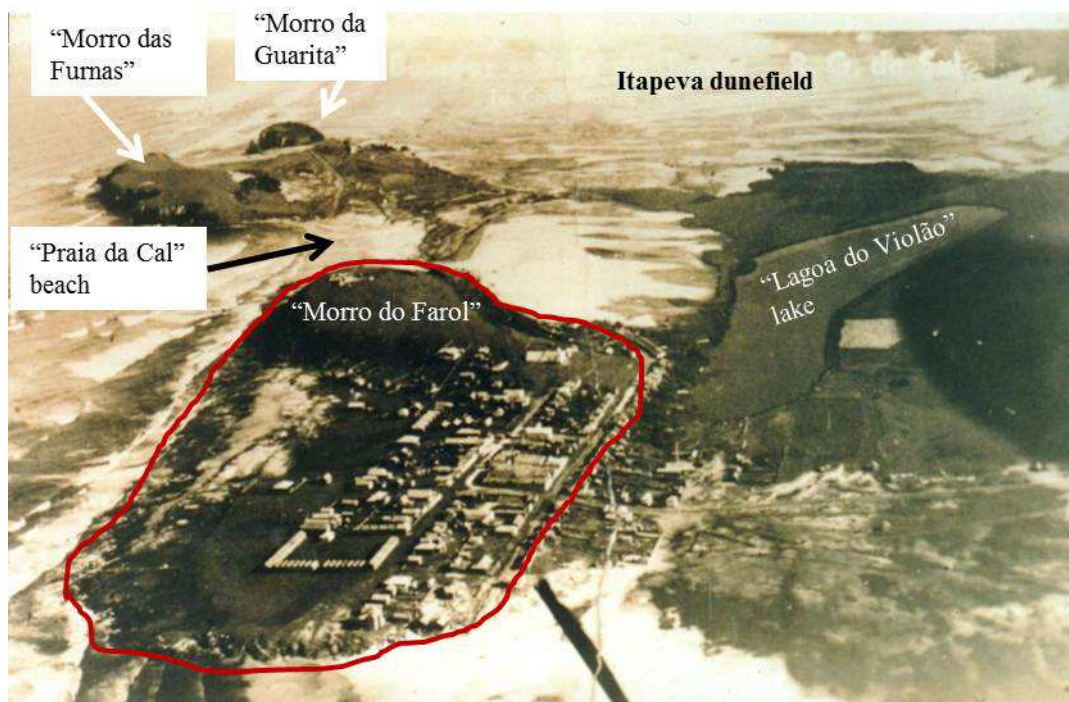


Figure 6 – Oblique photograph from the 30’s decade. An aerial view from north to south direction. The red line surround the higher topography and urbanized terrain in Torres, around “Morro do Farol” hill (Source: “Historiadores de Torres” community at Facebook)

1974 aerial photography

The 1974 aerial photograph covers the northern region of Itapeva dunefield (Figure 4B), and show the following:

- A small decrease in the dunes area in the north portion of it, and new roads around the Lagoa do Violão” lake, facilitating access to the southern region of the city.
- Many new roads and urbanization advances from the city center to south, until “Praia da Cal” beach. No more dunes are observed in this area. They were occupied by urbanization.
- Two big drainages are present in the north region of the dunefield. One of them is the “Riacho Doce” drainage; and the other significant drainage area can be observed 1 km in south direction, and flows from the dunefield toward the sea in the southern side of the red rock outcrop (“pedra vermelha” rock);
- In the western edge of the Itapeva dunefield, the peculiar U-shaped dunes with depositional lobes oriented into N-NW and SW directions (parabolic dunes) became more vegetated. Mostly of the U-shaped sand bodies convex boundary (depositional lobe) are now vegetated and stabilized.
- A vegetated deflation plain, with maximum 330 m width in the north region, can be observed in the windward of the Itapeva dunefield;

- Transgressive sand sheets can be observed, with no vegetation. These features are about 180 m width, advancing landward from the beach, over the deflation plain
- The presence of wetter interdune areas and the formation of washouts segmenting the sand sheets and dunes could be observed in the north region of the dunefield.

2006 Satellite image

The 2006 satellite image covers the entire dunefield, and the findings are in Figure 4C and described below.

- The dunefield is about 4.15 km from north until the Itapeva rock; and from the Itapeva rock to south, the mobile dunes extension is about 670 m.
- In the north region of the dunefield, an extension of about 1,000 m over the dunefield and the “Riacho Doce” drainage was occupied by urbanization, with a loss in area of about 1.08 km². Now, the distance between the “Lagoa do Violão” lake and the northern portion of dunefield is about 700 m.
- The big drainage area that developed about 1 km distant in south direction from the “Riacho Doce” drainage now occupies a larger low area (previously occupied by dunes), and the main drainage channel seems to have become more stable and deep.
- The mobile dunes area is now separated from the beach line by a foredunes line and a vegetated deflation plain parallel to the coast. The deflated area’s maximum width is 430 m.
- The maximum mobile dunes area width is about 830 m in the north region of the dunefield.
- The mobile dunes morphology can be observed, and the major features are reversing dunes, some with sinuous crests.
- In the dunefield landward margin, precipitation ridges advance into wetland areas, small lakes, and sandy vegetation, and in the central sector also it advances over grassland.
- The anthropic occupation can be clearly observed in the north boundary. Since the creation of the protected area (Itapeva state park) in 2002, and its boundaries delimitation, new occupation areas were not identified in the image. This could be verified by analyzing a satellite image of 2013 comparing to the image from 2006.
- The deflation plain is now completely vegetated, and had increased in width, reaching of about 600 m in the north region of the dunefield. Transgressive sand sheets occur over this area, and are now completely vegetated. Aerial photo from 1989 have already shown vegetation grow over the sand sheets. The distance from the sand sheets precipitation ridges up to the vegetated foredunes west boundaries ranges from 80 to 160 meters.

- Non-regular spaced washouts are present along the entire dunefield.
- The vegetation cover improved significantly between the mobile dunes area and the foredunes line (Figure 4C).

Analysis on spatial changes in Itapeva dunefield over the years through remote sensing products were identified and measured, and are shown in Table 2 and Figure 7.

Table 2 – Spatial and temporal changes in mobile dunes area, vegetation cover in the deflation plain area and urbanization over de original dunes area, between 1953 and 2013.

Years	1953	1964	1974	1989	1999	2006	2013
Mobile dunes area (km²)	4.55	3.84	3.22	No data	No data	1.89	1.89
Vegetation cover in the deflation plain (km²)	0	0.45	0.60	No data	No data	1.23	1.21
Urbanization over the original (1953) mobile dunes area (km²) in the northern dunefield boundary	0	0	0	0.35	0.67	1.08	1.09

The original mobile dunes area between “Morro da Itapeva” hill and the “Lagoa do Violão” lake has decreased from 4.55 km² in 1953 to 1.89 km² in 2006. At the same time that the dunefield moved landward, a deflation plain developed, and the vegetation cover in this area increased. An area of 0,45 km² of vegetation developed from 1953 to 1964, and continued increasing up to 1974, when it covers an area of 0.60 km². From 1974 until the year 2006 it reached a coverage of 1.23 km³. Also in the landward margin vegetation cover increases during the years, and become more dense. The shade of grey in the 1953 aerial photo allows identification of underwood vegetation covering the U-shaped/parabolic dunes, and some shrubby vegetation (sandy forest) grow in the active precipitation ridges. In the 1974 photo, we could identify new precipitation ridges covering the shrubby vegetation in some areas, and increase of vegetation in other parts of the landward margin. In 2006, shrubby vegetation has established in the U-shaped/parabolic dunes and other parts of the dunefield landward margin.

Urbanization take place on the northern dunes area after the year 1974. In 1989, 0.35 km² of Itapeva dunefield was occupied by population, and by 1996 the urbanized area increased to 0.67 km². From this year until 2006, an additional area of 0.41 km² was occupied by urbanization over the dunefield.

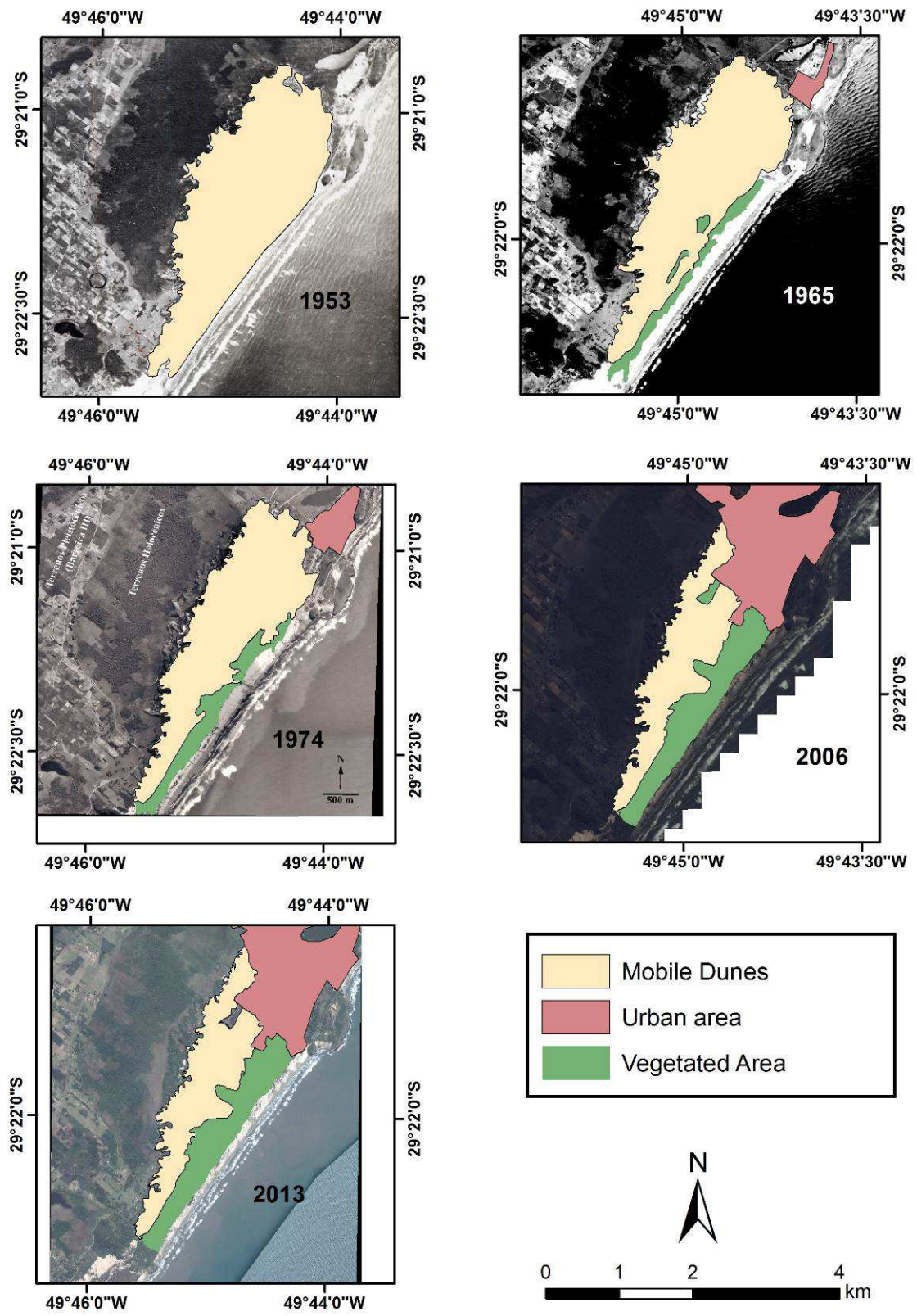


Figure 7 – Spatial-temporal changes in Itapeva dunefield from 1953 to 2013: mobile dunes, vegetated area and urban area.

3.2 Precipitation analysis

Monthly precipitation data from Torres meteorological station were analyzed in this study. In the last 53 years analysis, some variations in annual average precipitation was observed. The minimum precipitation occurred in 1962 (42.27 mm) and maximum in 1983 (179.86 mm). The same “dry” year (1962) was detected by Martinho (2008) in RS coast, for the Imbé station (57.6 mm), which is distant approximately 80 km from the Torres station, in south direction.

Despite the high variability during the years, it is possible to observe that the data show a tendency of increasing rainfall when a trend line is calculated (Figure 8A), and since the year 2000 no annual average below 100 mm occurred. In fifty three years of data, the average precipitation has increased around 50 mm.

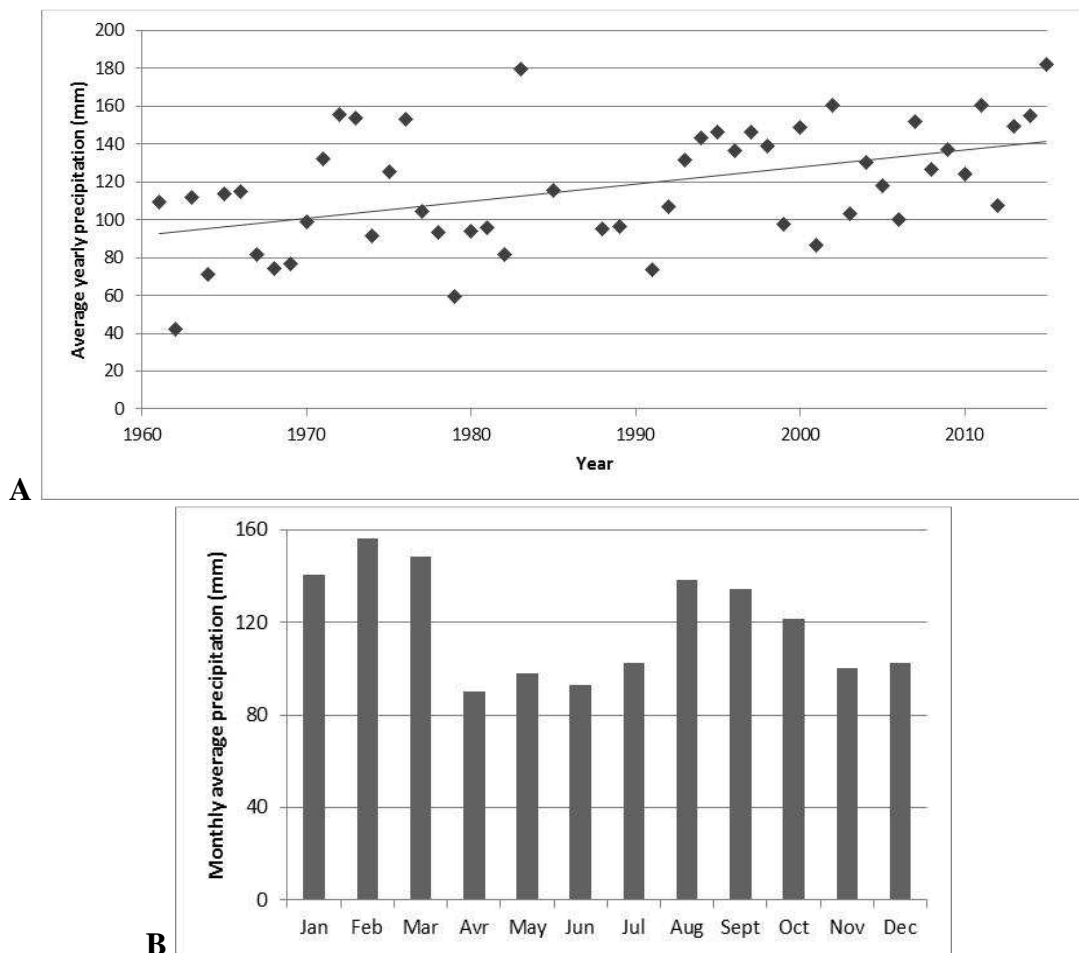
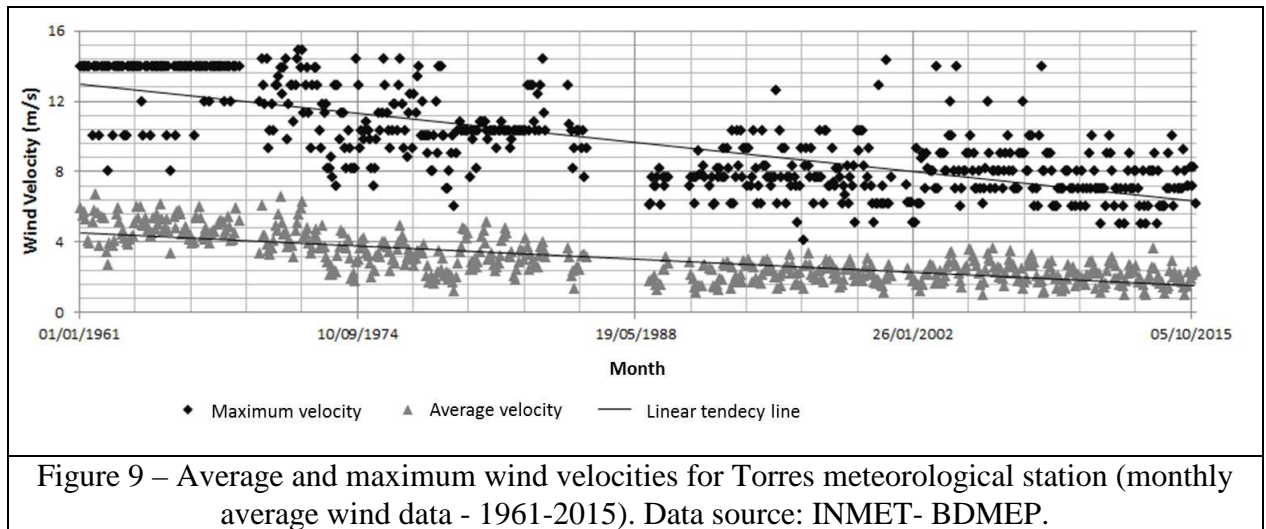


Figure 8 – A) Yearly average precipitation for Torres meteorological station. The trend line shows an increase in the precipitation from 1961 to 2014. B) Monthly average precipitation for Torres station for the period from 1961 to 2014.

Also, it is possible to observe that the peak of rain was during the period of February/March and August/September (Figure 8B). Further, historical wind data for Torres station also shows a decreasing tendency in average monthly wind velocities, since 1961 until today (Figure 9).



3.3 Sand Drift Potential

The bimodal wind pattern shows the influence of NE and S winds in aeolian movement in the four seasons, with particular frequencies and intensities (Rockett *et al.*, submitted). The analyzed data show 32% of calms in Torres station, and 7% of calms in SBTR station.

According to Fryberger and Deans' classification, Torres and SBTR stations data shows that high energy winds act in the extreme northern region of RS coastal plain. The directional variability index for the two stations are not so different, but are sufficient to characterize them differently. Torres station has intermediate directional variability of sand-transporting winds (RDP/DP ratio = 0.35) and SBTR/Airport station has high variability of sand-transporting winds (RDP/DP ratio = 0.28), and both could be classified as obtuse bimodal sand flow regimes.

Results show total drift potential (DP) at Torres station is 492 v.u. and at SBTR/Airport station is 821 v.u. (Figure 10). The impact threshold wind velocity at 10m (V_t) used is 5.76 m/s. At Torres station, the potential sand transport to the north from S winds are the most expressive (226 v.u.), followed by the potential sand transport to southwest from NE winds (146 v.u.), resulting in drift potential (RDP) of 172 v.u. to N-NW direction (343°). In SBTR

station, NE and E winds play a significant role to sand transport potential (187 and 138 v.u., respectively), followed by SW winds (104 v.u.), resulting in a drift potential (RDP) of 233 v.u. to W-NW direction (304°).

SBTR station have a more discrete wind data (16 directions), while Torres station only show data in 8 directions, and this could have influenced in the sand drift potentials. In the other hand, despite hourly data from the both two stations, there is no lack in Torres station data (3 observations per day), different to the SBTR data which are intermittent (hourly intermittent data) and do not show data for all the days during the years. So, the differences in the sand roses are due to these two factors that affect the frequency values for each direction and in the calms frequency, but even so, we could interpret that the results are complementary, showing that (i) the regional resultant drift potential is in N-W quadrant direction (ii) NE, SW and S winds play a significant role in the regional wind pattern and sand drift potentials, (iii) N-E quadrant DP are lower at Torres station (162 v.u.) than in SBTR station (403 v.u.), (iv) winds from S direction have great sand transport potential in Torres station, (v) NE, E and SW winds are very significant in sand transport potential in SBTR station.

Despite the lack in SBTR station data, the great difference in DP show strongest winds in SBTR station than in Torres station. Considering that the study area is a coastal area, other factors could be present (humidity, topographic variations, vegetation), and so it is important to note that the results only show the potential of sand transport in the study area.

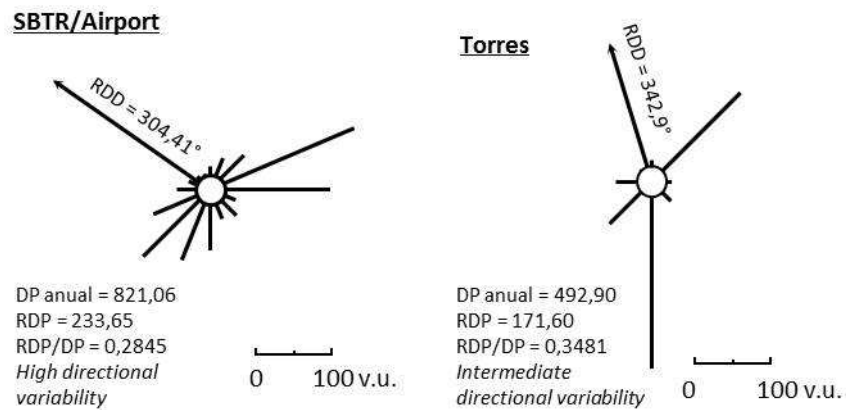
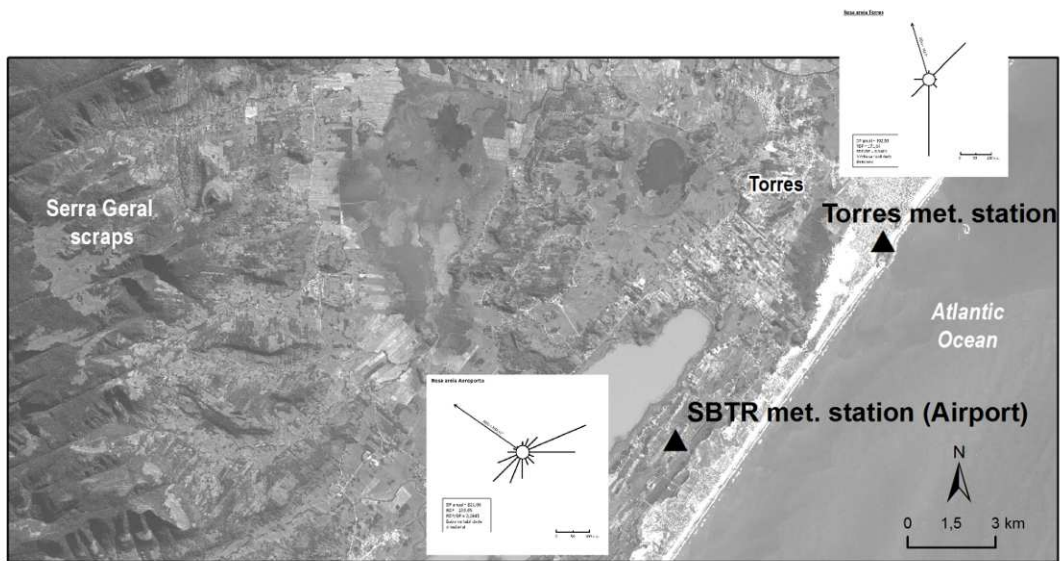


Figure 10 – Sand roses of Torres and SBTR/Airport stations, showing the DP for each direction. The arrow represents the RDP and the RDD.

Seasonal sand drift potentials for the Torres station, which is closer to the Itapeva dunefield and is object of this study, are shown in Figure 11. High RDP occur during winter, due to the strong southerly winds acting in the area, which provides a significant sand transport potential (311 v.u.) into N-NNE direction. During spring, NE winds play a significant role together with S winds, resulting in a sand transport potential (252 v.u.) into NW direction. In the summer season, winds are responsible for lower DP in the area, and winds from S and NE act resulting in a drift potential of 103 v.u. in W direction. In autumn the southerly winds are the most significant to sand transport, with a RDP of 199 v.u. into N-NNE direction.

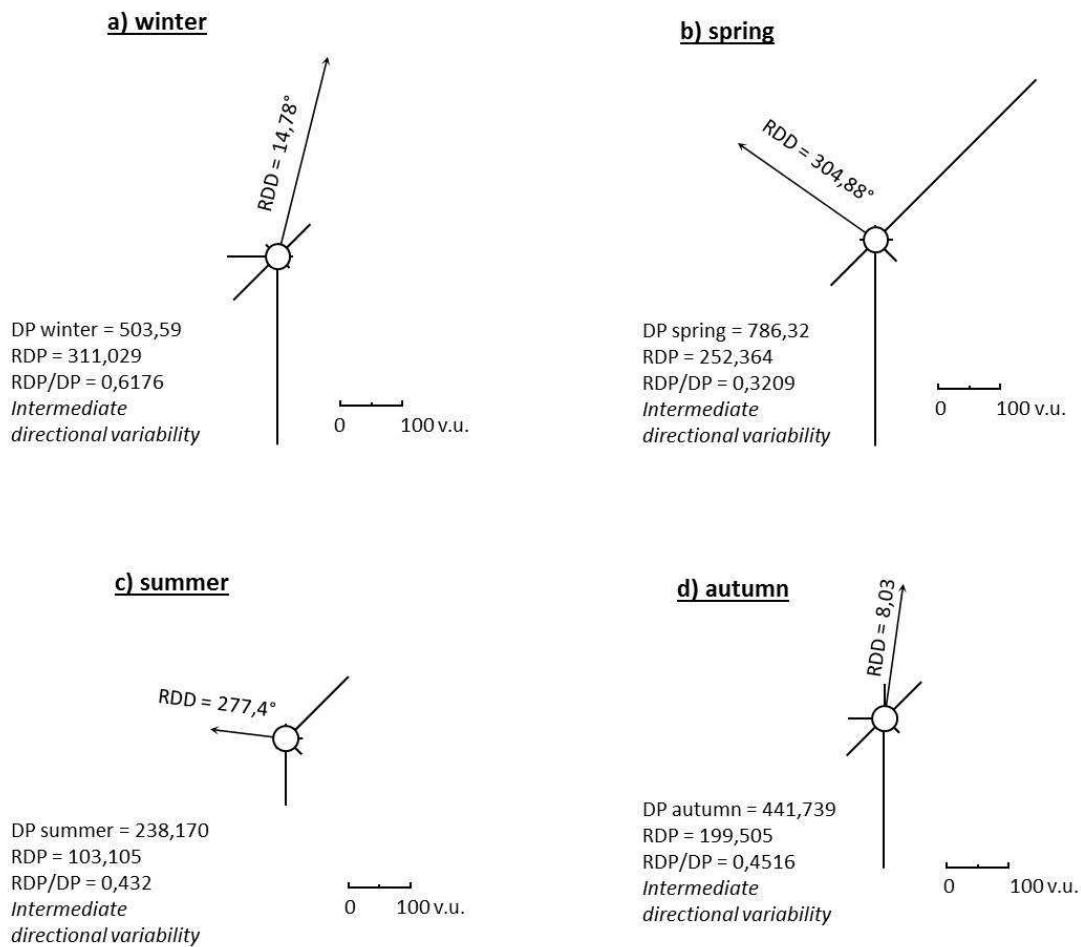


Figure 11 – Seasonal sand roses for Torres meteorological station (2002-2015).

4. DISCUSSIONS

4.1 Climate and vegetation cover

An increase in yearly average precipitation over the last 50-60 years had also been found in other coastal studies in south of Brazil. For the Florianópolis station (located 280 km north from Torres) an increase of 60 mm over the last 50 years was found (Miot da Silva & Hesp, 2013), and for Imbé station (located 80 km south from Torres) an increase in average precipitation of 20 mm was found (Martinho *et al.*, 2010). Despite being more distant to Torres, Florianópolis station presented an average increasing in precipitation (in mm) much more close to the values found for Torres station than the ones for Imbé station. This result can be associated to the high proximity from Torres to the Serra Geral scraps, which act as a physical barrier in the rainfall regime/humidity. Khan *et al.* (1998) analyzed rainfall historical data from 13 meteorological stations in RS and SC states, resulting in 5 groups, showing that Torres station has a peculiar rainfall regime as well as Florianópolis station (these two stations

data do not correlate significantly with the other stations and form isolated regions), and suggested that they are under the influence of coastal effect. In fact Khan *et al.* (1998) didn't analyze any other coastal station in RS or SC in their study, but it shows that even being in the coast, rainfall regime are different in Torres when compared to Florianópolis.

Spatial changes in the Itapeva dunefield and its vicinity were observed and quantified from aerial photos from 1953 to 2013, and a drier environment by 1953 changed to a more humid environment over the years until present. The increasing moisture influenced dunefield morphologies during the last decades, with the appearance of drainage areas along the coast that were not present in the region before. The more humid climate also influenced in an increase in vegetation cover in Itapeva region, together with the decrease in average wind velocities since 1961 (Apêndice A), as the same occurred in nearby regions (Bigarella, 2000; Miot da Silva & Hesp, 2013; Miot da Silva *et al.*, 2013; Martinho *et al.*, 2010). In the Itapeva region vegetation cover increased in response to the increasing rainfall associated to decrease in average wind velocity and with the thickness of the sedimentary package in Itapeva region (up to 22 m in the central region of the area – Rockett *et al.*, 2014), which could have contributed to water confinement and faster rise of the water table in this region, compared to dunefields located in south direction. The development of tropical forest vegetation and its densification over the years in this area is peculiar, due to its singular climatic characteristics (already observed by Hesp in 2004, when it called as “buttress-type” transgressive dunefields).

A deflation plain has developed and vegetation grow began in the late 50s/beginning of the 60s, and are now fully vegetated. U-shaped/parabolic dunes have developed before the 50s, advancing faraway in the landward margin of the dunefield. Few grass vegetation and midsize vegetation cover was present in 1953, and became denser after 90s. The active precipitation ridges continued advancing landward.

4.2 Sand drift potential, sediment supply and aeolian geomorphology

Despite NE winds are the most frequent during spring, southerly winds play a very significant role over the four seasons, regarding sand transport potential. Southerly winds, originated by cold fronts from the south pole, are more intense (higher velocities) and strongly contributes to sand drift potential in Torres region. Based in historical wind data, annual RDP in Torres meteorological station is in N-NNW direction. Sand movement at dunefield scale reflect the resultant drift direction (RDD) for Torres meteorological station.

For comparison of a long term analysis, the sand rose for Torres station for the period 1961-2002 was built, and there are some difference, such as: (i) DP from NE winds is greater than for the period 2002-2015 and greater than DP from S winds, but at the same time (ii) DP from SW winds is much higher than for the period 2002-2015, and (iii) DP from S winds is also great, resulting in a (iv) RDP into N-NW direction as well (321°). Together with the drift potential, historical data shows a decrease tendency in average monthly wind velocity since 1961 (Apêndice A), showing that sand transport were greater some decades ago.

The resultant drift potential during winter and autumn is in N-NNE direction, and during spring and summer it varies in the W-N quadrant (NW and W-WNW). The resultant sand drift direction (RDD) in Torres region has a very different pattern when compared to Imbé region (Tomazelli, 1993), in which the resultant sand drift direction is in SW direction almost throughout the year (spring, summer and autumn – except in winter, when RDD is in SE direction), driven by NE winds. Furthermore, the northern region of Rio Grande do Sul coastal plain is in the temperate climatic zone, and the climate in this region can be defined as mild mesothermal, super humid without dry season (Nimer, 1977), and in the northern coast of RS, higher altitudes are responsible to the rainiest period during the summer months (Grimm *et al.*, 1998) – different from the mid and south coast of RS where the rainiest period is in winter months. Then, considering that the historical precipitation data of Torres meteorological station analyzed in this study shows that the periods of higher rainfall are summer/begin of autumn (January to march) and the end of winter/begin of spring (august to october), it is possible to conclude that the higher DP values for southerly winds during the less rainy seasons (winter and autumn) play a very significant role to the sand transport and aeolian morphologies at Itapeva dunefield.

The analysis of climatic data and the aerial photograph from 1953, indicate that the sediment supply of Itapeva dunefield is mostly form the Itapeva beach, which is an “open beach” (very exposed to southerly winds) together with a contribution from “Praia Grande” beach driven by NE winds during spring. Alongshore sediment transport in Rio Grande do Sul coast is from S to N, and so, the hills placed just northern of Itapeva (“Morro das Furnas” hill) could have also contributed to sediment trap in the Itapeva beach during the Holocene. Martinho *et al.* (2009) calculated longshore sediment transport for different coastal sectors in RS, and for Torres region it is classified as low, compared to other sectors up to Chuí beach (extreme south of RS coast). Longshore transport in Torres could be observed nowadays in the Molhes beach (South side of Mampituba river mouth), due to the sediment trap in the

southern side of the river after the jetties construction. Zasso *et al.* (2013) studied and quantified erosion and accretion in the Molhes beach, before and after the jetties installation. Molhes beach and Itapeva beach coastline orientation is the same, so, “Torre Sul” and “Morro das Furnas” hill act the same way the jetties trapping sand and making available to the dunefield. The great sediment supply in Itapeva beach can be observed nowadays in the foredunes. Another possible supply during the Holocene is related to the Mampituba river (before human occupation). Driven by NE winds river sediments could have contributed for Itapeva dunefield. A study of sediment provenance, based on sedimentary analysis can be performed to confirm the findings stated here.

However, over the last decades, dunefield movement and climatic changes (decrease in average wind velocities and increase in rainfall) influencing the vegetation increase, disconnecting Itapeva beach and dunefield. Thus, there is no more feed to the mobile dunes area. The sand is being trapped close to the beach forming foredunes and transgressive sand sheets (at least one sand sheet phase - now vegetated - can be observed in the satellite images).

Independent of the sediment source, sand remobilization is driven by southerly winds all along the year, and by NE winds specially during spring (and summer). Moreover, based on the satellite images analysis, we found that the U-shaped/parabolic dunes orientation, as well as the preserved vegetated transgressive sand sheets and most of active dunes crests orientation in the Itapeva region are into N-NW direction. Also the entire Itapeva dunefield has an elongate shape in SSW-NNE orientation.

The dunes crests oriented in S-N or NW-SE direction reflect the RDP found in the wind analysis and represented in the sand roses diagrams, particularly for Torres meteorological station. In the landward margin of Itapeva dunefield, U-shaped/parabolic dunes developed before 1953, when climate was drier and wind velocities were higher, and are now stabilized. According to Hesp (2000), this dune type may initiate and evolve from the landward and downwind margins of transgressive dunefields. A “relict” and isolated feature can be observed in the south side of the Itapeva hill, in the west side of the “Cemetery road”.

The same vegetated transgressive sand sheets observed today in the windward deflation plain area are present in adjacent areas to the north direction (Passo de Torres, Santa Catarina state – Silva, 2016) and to the south direction (Rondinha and Curumin localities in Rio Grande do Sul state – Martinho *et al.*, 2010; Dillenburg *et al.*, 2009). However, different from the others sand sheets on adjacent regions, which are oriented almost normal to the coast, in Itapeva they present an S-N orientation, reflecting the resultant drift direction in the region.

Analyzing the evolution and morphologies present at the Itapeva dunefield, we could say that this dunefield have developed from the backshore, and is at transgressive dunefield's stage III (Hesp, 2013). At this stage, the dunefield gradually migrates inland and a larger deflation plain forms in the upwind region. Vegetated aeolian forms are present and wetlands are formed. Considerable development of nebkha may occur and may evolve to erosional mounds. The precipitation ridge at this stage is commonly undulate (wavy), especially if migrating into dense or high vegetation, and parabolic dunes can format this stage (Hesp, 2013).

4.3 Urbanization and sediment supply

In the 70s, urbanization was intensified in Torres municipality, and the occupation advanced toward south region, with an increase in roads extension in the southern part of city center. From 1989 to 1999, human occupation in Itapeva dunes area increased 100%. This fact can be explained by Graciano (2004), who says that during the 90s the tourism industry crisis, resulted in reduction of available jobs and together with the lack in urban planning in Torres it allowed the irregular settlement called "Riacho Doce", which was formed in this context, in the north sector of Itapeva dunefield. Occupation continued growing until the Conservation unit creation in the Itapeva region in 2002, contributing to environmental degradation and pollution. Even if sediments from Praia Grande beach and the Mampituba river could have contributed to the formation of Itapeva dunefield, driven by NE winds in the past, since the human occupation and urbanization of Torres city, NE wind don't contribute anymore in sediment supply to Itapeva dunefield. Moreover, the region between "Lagoa do Violão" Lake and the Itapeva dunefield is a low and humid area which had a big drainage going to the ocean in the past, and nowadays are still there but with a settlement that suffer consequences of water accumulation in the streets during rainy periods. Sediment from "Praia da Cal" beach didn't seem to be a source to form Itapeva dunefield. A dunefield formed by "Praia da Cal" sediments was located just after this beach, in the SW side of "Morro do Farol" hill (see aerial photo from 1953), apparently formed by aeolian transport by S/SE winds.

In the other hand, the sand removal from the Aeolian system due to human occupation since the 70s until 2002 have contributed to the decrease in sediment stock in the dunefield, and possibly affected the aeolian forms.

5. CONCLUSIONS

In this study spatial-temporal and climatic analysis were performed in the region of the Itapeva dunefield, in order to understand its evolution over the last decades and to identify factors influencing the changes observed. Itapeva dunefield is confined in an area with basement outcrops and peculiar wind pattern. The dunefield spatial changes over the last 60 years were described in this study, and are related to increase in vegetation cover, decrease in dunes area, increase in drainage and in urbanized area. Despite human factor have influenced in the removal of sediment (urbanization over the dunefield during the 80s), the results show that natural factors (increase in rainfall and vegetation colonization, and decrease in wind velocities) are responsible to the main spatial changes and stabilization process of Itapeva dunefield. Increase in rainfall over the last decades, together with the environment confinement between basement outcrops and sediment thinness (up to 22 m – Rockett *et al.*, 2014), contributed to the establishment of vegetation and the beginning of the stabilization process at Itapeva dunefield.

The main observation when comparing images from 1953 to 2013 is that in the past, there was no/or few vegetation in Itapeva dunefield. The area cover with mobile dunes was greater in the 50s, when beach sediment fed the dunefield. Since the area became more humid due to climatic factors and a deflation plain developed, followed by the vegetation grown since the 60s-70s, sediment from the Itapeva beach driven by southerly winds couldn't move into the dunefield (natural evolution). The influence of human occupation in the last decades refers to the removal of sand of the Itapeva dunefield system.

This study suggest that the origin of sediment to form the dunefield during the Holocene is mostly the Itapeva beach, driven by southerly winds, which have the great DP together with low precipitation during winter, and also due to the geomorphology of the region (“Morro das Furnas” hill) allied to the longshore sediment transport.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank CNPq for the Doctorate research grant, the Itapeva State Park (Rio Grande do Sul government/secretary of the environment) staff for support in the fieldworks and providing the necessary documents for this research. We also thanks the Torres municipality government (secretary of the environment) for providing the available aerial photographs of

the area. Special thanks to Priscila Telles and Fernando C. Scottá for the help in data organization and figures preparation.

REFERENCES

- AAGAARD, T.; ORFORD, J. & MURRAY, A.S. 2007. Environmental controls on coastal dune formation: Skallingen Spit, Denmark. **Geomorphology**, 83: 29–47.
- AREJANO, T.B. 1999. **Análise do regime de ventos e determinação do potencial de deriva de areia no extremo sul do litoral do Rio Grande do Sul-Brasil**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Dissertação de Mestrado). 43p.
- BIGARELLA, J.J. 2000. Parabolic dune behavior under effective storm wind conditions. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 1(1): 1-26.
- CARTER, R.W.G. 1988. **Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastline**. Academic Press: London. 617p.
- DILLENBURG, S.R.; ROY, P.S.; COWELL, P.J. & TOMAZELLI, L.J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). **Journal of Coastal Research**, v.16, p.71-81.
- DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; HESP, P.A.; BARBOZA, E.G.; CLEROT, L.C.P. & SILVA, D.B. 2006. Stratigraphy and evolution of a prograded barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 132 -135. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.
- DILLENBURG, S. R., BARBOZA, E. G., TOMAZELLI, L.J., HESP, P. A.; CLEROT, L. C. P., ZOUAIN, R. N. A. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: DILLENBURG, S.R & HESP, P.A. (eds). **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Berlin/Heidelberg: Springer, p.53-91.
- EL BANNA, M.M. & FRIHY, O.E. 2009. Human-induced changes in the geomorphology of the northeastern coast of the Nile delta, Egypt. **Geomorphology**, 107(1-2), 72-78.
- FRYBERGER, S.G. & DEAN, G. 1979. Dune forms and wind regime. In: MCKEE, E.D. (Ed.). **A Study of Global Sand Seas**. USGS, Professional paper 1052:137-169.
- GRACIANO, C.T. 2004. **A Torres de concreto: da expansão turístico-urbana dos anos 70 à crise dos anos 90, um estudo sobre o processo de urbanização em Torres/RS**. Porto Alegre, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Filosofia e

Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em História (Dissertação de Mestrado). 216p.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T. & GOMES, J. 1998. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, 11:2863-2880.

GUIMARÃES, L.S. 2005. **Morfodinâmica e Migração das Dunas Eólicas na Reserva Ecológica do Taim, Litoral Sul do RS**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Dissertação de Mestrado). 108p.

HESP, P.A. 1981. The formation of shadow dunes. **Journal of Sedimentary Petrology**, 51(1): 101-111.

HESP, P.A. 2000. **Coastal Dunes: Form and Function**. CDNV Technical Bulletin, n.4. Massey University, 28p.

HESP, P.A. 2004. Coastal dunes in the tropics and temperate regions: location, formation, morphology and vegetation processes. In: MARTÍNEZ, M.L. & PSUTY, N.P. (Eds.). **Coastal Dunes, Ecology and Conservation**. Ecological Studies v.171, p.29-49.

HESP, P. 2011. **Dune Coasts**. In: Wolanski, E. & McLusky, D.S. (eds.). *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, v.3, pp.193-221. Waltham: Academic Press.

HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; AYUP-ZOUAIN, R.N.; ESTEVES, L.S.; GRUBER, N.L.; TOLDO JR., E.E.; TABAJARA, L.L.C.A. & CLEROT, L.C.P. 2005. Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 77, 493-508.

HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; CLEROT, L.C.P.; TOMAZELLI, L.J. & AYUP-ZOUAIN, R.N. 2007. Morphology of the Itapeva to Tramandaí transgressive dunefield barrier system and mid- to late Holocene sea level change. **Earth Surface Processes and Landforms**, 32, 407-414.

HESP, P.A. & THOM, B.G. 1990. Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields. In: NORDSTROM, K.F.; PSUTY, N.P.; CARTER, R.W.G. (Eds.) **Coastal Dunes: Form and Process**. Chichester, John Wiley & Sons Ltd. 253-288.

HESP, P.A. & WALKER, I.J. 2013. Aeolian environments – coastal dunes. In: SHRODER, J.; BAAS, A.C.W (Eds.). **Treatise on Geomorphology**. Elsevier: Amsterdam, chapter 11. 17p.

- HUGENHOLTZ, C.H.; LEVIN, N.; BARCHYN, T.E. & BADDOCK, M.C. 2012. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: A review and outlook. **Earth-Science Reviews**, 111, p.319–334.
- KHAN, V.M.; KIM, I.S. & SARAIVA, J.M. 1998. Análise de agrupamento pluviométrico nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, CONGRESSO LATIOMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 8., Brasília, D.F. Anais... Sociedade Brasileira de Meteorologia. Available at:
- MARTINHO, C.T. 2008. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 216p.
- MARTINHO, C.T.; DILLENBURG, S.R. & HESP, P. 2008. Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. **Marine Geology**, v. 256, p.49–64. doi:10.1016/j.margeo.2008.09.006
- MARTINHO, C.T.; DILLENBURG, S.R. & HESP, P. 2009. Wave Energy and Longshore Sediment Transport Gradients Controlling Barrier Evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, 25(2): 285-293.
- MARTINHO, C.T.; HESP, P.; DILLENBURG, S.R. 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. **Geomorphology**, v.117, p.14–32. doi:10.1016/j.geomorph.2009.11.002
- MARTINS, L.R.S. **Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da planície costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Escola de Geologia da UFRGS, 1967. 100 p.
- MCKEE, E.D. Introduction to a study of global sand seas. In: MCKEE, E.D. (Ed). **A study of global sand seas**. Prof. Pap.US Geol. Surv. N.1052, p.01-19.
- MENDES, V.R. & GIANNINI, P.C.F. 2015. South Brazil coastal dunefields as a record of climatic changes in South America monsoon system. **Geomorphology (Amsterdam)**, 246:22-34.
- MIOT DA SILVA, G. & HESP, P.A. 2013. Increasing in rainfall, decreasing winds, and historical changes in Santa Catarina dunefields, Southern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, 38: 1036-1045.

- MIOT DA SILVA, G.; HESP, P.; KEIM, B.; MARTINHO, C.T. & FERLIGOJ, Y. 2013. Changes in dunefield geomorphology and vegetation cover as a response to local and regional climate variations. **Journal of Coastal Research**, Special Issue No. 65, p.1307-1312. ISSN 0749-0208.
- NIMER, E. 1977. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2a ed., 421p.
- NORDSTROM, K.F. 1994. Beaches and dunes of human-altered coasts. **Progress in Physical Geography**, 18(4), 497–516.
- NORDSTROM, K.F. 2000. The developed coastal landscape: temporal and spatial characteristics. In: NORDSTROM K.F. (ed.). **Beaches and Dunes of Developed Coasts**. Cambridge University Press: Cambridge, pp. 1–27.
- PEARCE, K.I. & WALKER, I.J. 2005. Frequency and magnitude biases in the ‘Fryberger’ model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. **Geomorphology**, 68: 39-55.
- PYE, K. & TSOAR, H. 2009. **Aeolian sand and sand dunes**. Springer-Verlag, Berlin: 458p.
- ROCKETT, G.C., BARBOZA, E.G. & ROSA, M.L.C.C. 2013. Estimativa da Espessura Sedimentar e Relações Estratigráficas na Região da Planície de Deflação do Campo de Dunas de Itapeva/RS, Através de Dados de Georradar. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Natal/RN. Resumos.
- ROCKETT, G.C.; BARBOZA, E.G. & ROSA, M.L.C.C. 2014. Caracterização da Barreira Holocênica do Extremo Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul através de Dados de Georradar. Resumos Expandidos do VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, (Porto Alegre, RS), paper SBGF_4692.
- ROCKETT, G.C.; TELLES, P.; BARBOZA, E.G.; GRUBER, N.L.S. & SIMÃO, C.E. Análise espaço-temporal dos ventos no extremo norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, *submitted*.
- ROVEDDER, J. 2007. **Validação da classificação orientada a objetos em imagens de satélite Ikonos II e elaboração de indicadores ambientais georreferenciados no município de Torres, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (Dissertação de Mestrado). 93p.

- SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.V.; OLIVEIRA, C.P.L. & SEELIGER, M. 2000. Long-term changes of coastal foredunes in the Southwest Atlantic. **Journal of Coastal Research**, 16(4), p. 1068-1072.
- SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. 2006. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Itapeva**. Porto Alegre: SEMA. 274p.
- SILVA, A.B. 2015. **A herança geológica, a geomorfologia e a estratigrafia da barreira complexa de Passo de Torres, Planície Costeira Sul-Catarinense**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 192p.
- TOMAZELLI, L.J. 1990. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase no sistema eólico**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 270p.
- TOMAZELLI, L.J. 1993. O Regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, v.20 (1), p.18-26.
- TOMAZELLI, L.J. 1994. Morfologia, Organização e Evolução do Campo Eólico Costeiro do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 21(1), p. 64-67.
- TOMAZELLI, L.J. 2001. **Sistematização dos conhecimentos existentes sobre as dunas móveis do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: relatório final**. Porto Alegre: FEPAM, 2001. 25p. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/programas/gerco_norte.asp.
- TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G. & STRIM, J. 2003. O sistema de dunas eólicas transgressivas do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: situação atual e definição de áreas prioritárias à preservação. In: **IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, Recife. Anais... Recife-PE. CD-ROM. 4p.
- TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G. & ROSA, M.L.C.C. 2008. Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos de Cidreira e Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 35, p. 47-55.
- TSOAR, H. 2001. Types of Aeolian Sand Dunes and Their Formation. In: BALMFORTH, N.J. & PROVENZALE, A. (eds.). **Geomorphological Fluid Mechanics**. Springer, Lecture Notes in Physics, v. 582, chapter 17, pp.403-429.
- UGRI, A. 2004. **Mudanças em escala histórica das dunas costeiras do extremo sul do Brasil. Rio Grande**. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de

Oceanografia, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica (Dissertação de Mestrado). 86p.

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., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., HORN FILHO, N.O., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A., 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 4: 79-97.

VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, n.8, p. 1-45.

WALKER, A.S. Eolian Landforms. 1986. In: SHORT, N.M.; BLAIR, R.W.Jr (Eds.). **Geomorphology from Space**. NASA SP-486, US Government Printing Office, Washington DC, p.447-520. Available at: http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/geomorphology/GEO_8/GEO_CHAPTER_8.shtml

3.3 THE ITAPEVA DUNEFIELD GEOMORPHOLOGY

Gabriela C. Rockett, Eduardo G. Barboza & Patrick Hesp

Artigo ainda não submetido

ABSTRACT

A morphological analysis on the Itapeva region (Torres-RS, Brazil) was performed in this study, focusing in the identification and characterization of aeolian forms present at the Itapeva dunefield. Recent satellite image, field observations and photograph register were used to conduct this research. The results show that the main aeolian depositional features present in Itapeva dunefield are reversing dunes, bush pockets, U-shaped dunes, precipitation ridges, nebkhas, vegetated transgressive sand sheets and foredunes. Erosional features such as blowouts occur mainly in the foredunes area and associated to bush pockets.

1. INTRODUCTION

Coastal dunefields develop in sandy beaches and are very common where there are abundant sediment supply and adequate grain size to be transported by the winds acting in the beach (Carter, 1988; Hesp & Thom, 1990). Sediment supply, wind patterns, grain size available at the beach and coastline orientation are some factors that influence the size of the coastal dunefields (Hesp & Walker, 2013). The same factors are responsible in the activation or stabilization of a dunefield, added the factor “vegetation cover” (Hesp & Thom, 1990).

Coastal dunes have a great ecological relevance due to its function as a protection barrier on coast from storm erosion, in the salt wedge retention, they constitute ecological habitats for fauna and flora and are important as a natural landform.

Geologic-geomorphologic studies in RS coastal plain have been developed in the last decades, however, little emphasis has been given to protected coastal environments (coastal conservation units) in terms of physical environment understanding, being much more abundant biological character studies in these areas. Considering that biodiversity is developed from a physical media, it is very important study the origin, evolution and actual stage of environments and its fragilities, to better understand the systems and give support to management actions of these sites.

1.1 Regional Settings

The Rio Grande do Sul (RS) coastal plain is characterized by a barrier-lagoon depositional system, dominated by waves. RS coastal plain is the emerged portion of Pelotas sedimentary basin, with approximately 620 km in length. Four barrier-lagoon depositional systems formed by successive sea-level rise and drop controlled by glacio-eustatic events during the Quaternary were identified (Villwock *et al.*, 1986; Villwock e Tomazelli, 1995), three of them were built in Pleistocene and the last one in the Holocene. The Holocene barrier-lagoon formation occurs by the migration of a transgressive barrier, in the final stages of the post-glacial marine transgression, about 7-8 ky BP (Dillenburg *et al.*, 2006). Recent studies show that, at the same time, progradational and retrogradational patterns can be identified in distinct sectors of the RS coastal plain Holocene barrier (Dillenburg *et al.*, 2000).

Many different geomorphological features have been developed during the RS Holocenic barrier evolution, such as dunes, dunefields, beach ridges, coastal lakes and lagoons. The most common features in RS coastal plain are beach ridges, foredune ridges and transgressive dunefields, according to Villwock (1984), Villwock e Tomazelli (1995) and Hesp *et al.* (2005; 2007). Wide transgressive dunefields are present along all RS coast (Tomazelli, 1990; Arejano, 1999; Ugri, 2004; Guimarães, 2005; Martinho, 2008; Martinho *et al.*, 2010), and this fact was possible due to the conjunction of favorable factors, such as high sediment supply, appropriate wind regime, low topography (Tomazelli *et al.*, 2003; 2008). The Holocene coastal dunefields have developed in RS northern coast over the past 4800 years (Martinho *et al.*, 2008).

Generally, sands in RS coastal plain have predominantly quartz composition, fine-grained, well rounded and well selected, and characterized by high mineralogical maturity (Martins, 1967; Tomazelli, 1990). The main types of vegetated dunes found in the northern coast of RS are: incipient foredunes, foredunes and nebkhas; in the other hand, the main types of unvegetated eolian forms found are barchan dunes, barchanoid chains and transversal dunes (Tomazelli, 1990). Sand sheets, blowouts, parabolic and linear dunes are also found in the area.

Dunes evolution in RS coast are described in Tomazelli (1994), where transversal dunes evolve to barchanoid chains, and later to isolated barchans dunes. Studies demonstrate that the change in dunes morphology in RS coast are due to a decrease in sediment supply (Tomazelli, 1994) and climate changes (Martinho *et al.*, 2010). The study performed by Martinho (2008;

Martinho *et al.*, 2010) in nine dunefields in the northern coast of RS shows the variations in dimension, morphology and distribution of them along the RS coast. In general, dunefields tend to be wide and extensive in the central portion of RS coast, and narrower and less extensive in the northern sector, due to differences in precipitation, sand drift potential and sand supply in these two different sectors of the RS coast.

The urbanization in RS northern coastal areas has increased since the 70s, and original ecosystems have been altered as a result of this fact. Tomazelli (2001) stated in 2001 that the two significant aeolian systems that can be preserved maintaining characteristics very close to the original natural system are the dunefields of Cidreira and Itapeva. Their different geographic location allow distinct aeolian morphologies: while barchanoid chains predominate in the Cidreira dunefield, reverse dunes predominate in the Itapeva dunefield. Despite its important ecological relevance, there are still few studies characterizing aeolian forms inside them.

2. STUDY AREA

The study area of this work is the Itapeva dunefield, located in Rio Grande do Sul coastal plain (south of Brazilian coast), in the municipality of Torres (Figure 1). Torres is the northern municipality in Rio Grande do Sul (RS) state, and is limited by Mampituba River in north from Santa Catarina (SC) state. There are peculiar characteristics in this area, different from other coastal sectors in RS coastal plain, such as the Serra Geral Formation basement outcrops (no outcrops are found along more than 600km in RS coast), the Mampituba river mouth and a dunefield with reversing dunes (Tomazelli *et al.*, 2008). The Itapeva dunefield is approximately 4 km in length and varies from 300 m to 1 km wide, confined between basement rocks outcrops. This characteristic differentiates this dunefield from the others present in RS coast. Since 2002 it is inside a conservation area (Parque Estadual de Itapeva – PEVA).

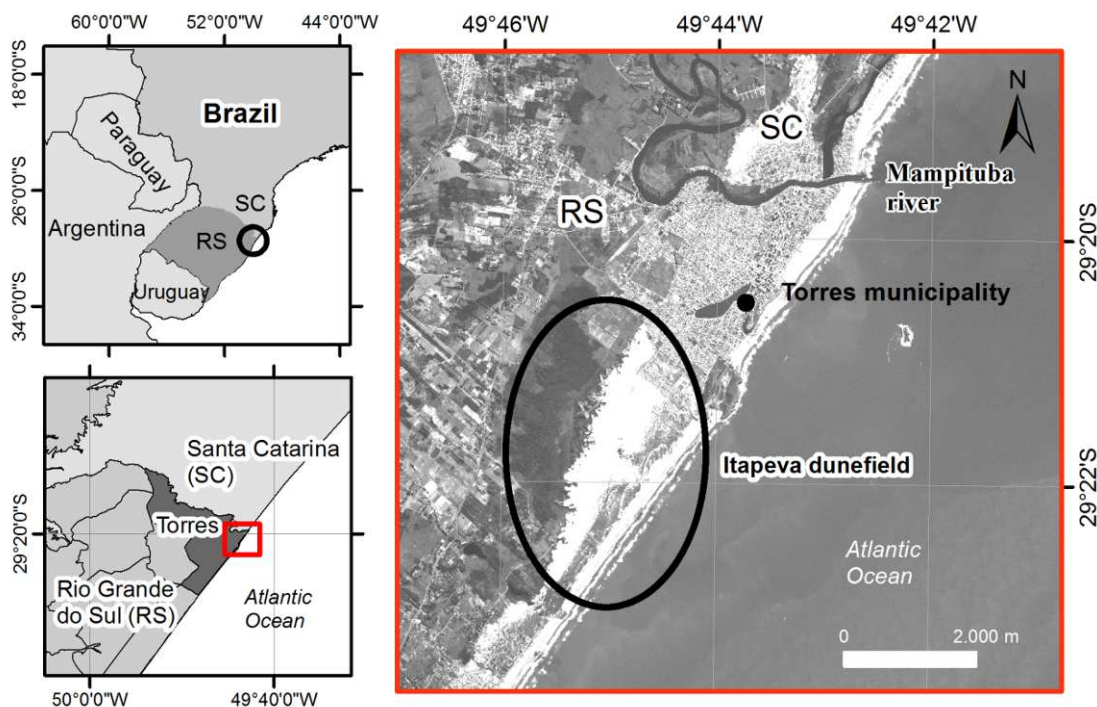


Figure 1 – Location of the study area: Itapeva dunefield, Rio Grande do Sul, Brazil (SPOT satellite image, panchromatic band, 2005).

Itapeva dunefield is an active eolian system and is part of the depositional system IV (Holocene) of the RS coastal plain. It is characterized as a transgressive dunefield (Hesp et al., 2005; Tomazelli et al., 2008) developing over a progradational barrier type (Rockett *et al.*, 2014). Transgressive dunefields are broad aeolian sand deposits formed by the downwind movement of sand sheets and dunefields over an area with or without vegetation, and typically are bordered by precipitation ridges, and often fronted by deflation basins and plains (Hesp & Thom, 1990).

Through a multi-temporal analysis of remote sensing products (aerial photographs and satellite images) it is possible to observe that the mobile dunes area is decreasing along the last decades (Rockett *et al.*, *in preparation*). The retraction of the mobile dunes area occurs in the East and North side of the dunefield. In the north side, the anthropic occupation occurs due to the grow of Torres urban center (as already noted by Tomazelli *et al.*, 2003; 2008) and in the east side, a deflated area windward have formed. In this context, the aim of this study was to characterize and describe the main aeolian morphologies present in the Itapeva dunefield and analyze it recent dynamics, in order to subsidize management actions in this protected area.

3. METHODOLOGY

This paper is based on analyses of recent satellite images (2013) and field work, aiming to identify and describe aeolian morphologies present in the study area, as well as analyze its spatial variations. The use of remote sensing techniques to analyze dunefields morphology and vegetation cover is very common (a good review on this topic can be accessed in Hugenholtz *et al.*, 2012), and some studies in RS coastal dunefields have been done using it (Seeliger *et al.*, 2000; Tomazelli *et al.*, 2008; Martinho *et al.*, 2010). The high resolution satellite image used is from GoogleEarth for the year 2013. Geometric correction was performed, referred to UTM projection, zone 22 south, datum SIRGAS2000, allowing features delimitation, layers creation and the preparation of thematic maps. Field works were performed in 2013, 2014 and 2015 in order to observe the actual aeolian forms present in the dunefield, as well as the seasonal behavior of some specific dunes and to make photographic register.

A monitoring of the spatial variability of reverse dunes within the dunefield was also performed. A Global Navigation Satellite System (GNSS) was used to collect the coordinates (x, y and z) of the active slipface of six dunes in three different regions of the Itapeva Dunefield (south, center and north sectors of the dunefield). Different methods of data collection using GNSS and associated geotechnologies for dunes monitoring have been performed in the last years in northeast of Brazil (Guimarães, 2005; González Chiozza & Rabelo, 2012a,b; Carneiro *et al.*, 2012) and in Spain (Garrido *et al.*, 2013).

The monitoring was performed during one year. In total four fieldworks were performed for the purpose of compare and check the spatial variations of some dunes in the different seasons – June and November 2014, February and June 2015. The first data collection was by the end of June, in the end of autumn season; the second one was by mid-November during spring; the third one by the end of February (during summer) and the last one by the beginning of June (end of autumn). Due to logistic problems with field work team and available equipment, during winter season no data was collected. Considering that the monitored features are reverse dunes, the line defined for monitoring was the active slipface, in the brink line of the dune at the moment. The relative positioning method was used (IBGE, 2008), with two antennas: one fixed in a pre-determined place (base), and other that occupies the points to be determined. The occupation time for each point was 10 seconds. For greater data accuracy, data were post-processed using the stations of the Brazilian Network for Continuous

Monitoring of GNSS Systems (RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS). With the x, y and ellipsoidal altitude (z) in an electronic spreadsheet, we calculate the orthometric altitude for each point, using the geoid deformation data for the Itapeva region (MAPGEO2010, the Geoid Ondulation Model – IBGE, 2010). After that, we insert all the monitoring data in a GIS project, to analyze them. Photographic records of the monitored dunes were also obtained.

Also, climatic parameters were analyzed for the monitoring period (short term analysis) - total monthly precipitation and wind velocity and direction from March 2014 to March 2015. Analysis on wind data were performed considering only winds with intensities higher than 5 m/s. Calms and velocity data below 5 m/s were not considered.

4. AEOLIAN MORPHOLOGIES IN ITAPEVA DUNEFIELD

A diverse set of aeolian forms are present at Itapeva dunefield. In the mobile dunes area there are reversing dunes, bush pockets/vegetated mound, shadow dunes, nebkhas, blowouts and precipitation ridges. It is possible to observe dunes that developed over other dunes, with different orientations, forming complex aeolian forms. Complex dunes suggest that the intensity and direction of the wind has changed (Walker, 1986). The main aeolian depositional and erosional forms present at Itapeva dunefield are described below.

- **Precipitation ridges:** A highly sinuous slipface (precipitation ridge) along the Itapeva dunefield landward margin can be observed. This long-walled and often sinuous slipface is the advancing edge of the transgressive dunefield, and are typically steep lee slopes (Hesp, 2000). Active precipitation ridges are present in the Itapeva dunefield, and there are unvegetated and vegetated ones, advancing over wet (slump) or dry (grassland/forest) terrain landward (Figure 6A). Many parts of the sand ridges margins are vegetated with sandy forest. Hesp (2004) called the dunefields in Torres area as “buttress-type” transgressive dunefields, due to the peculiar characteristic of moving over tropical forest species. These tropical elements present in Torres, disappear to north and to south of this region.

- **U-shaped/parabolic dunes:** Parabolic dunes may be initiated, and evolve from the landward and downwind margins of transgressive dunefields (Hesp, 2000; 2011). As the mobile sands migrate into vegetation, some lobes may migrate ahead of the advancing dunefield to form parabolic dunes. This process occurs particularly where transgressive dunefields are

stabilizing and being colonized by vegetation (Hesp, 2011). In the landward margin of Itapeva dunefield, there are stabilized/vegetated U-shaped dunes. These features could have been parabolic dunes originated from the preterit precipitation ridges advancing to continent (as we have observed in photos from 1953 and 1965 – Rockett et al., *in preparation*), that have been vegetated and are stabilized today. Mainly of the depositional lobes are today vegetated with woodland vegetation. In the northern portion of the dunefield, the U-shaped sand bodies' depositional lobes are oriented to NW direction, and in the central portion of the dunefield depositional lobes are oriented to SW direction, this fact is probably due to action of the basement outcrops (“Morro das Furnas” hill) as a barrier to NW winds in the northern portion of the dunefield (influencing wind dynamics in this region)

- **Reversing dunes:** Reversing dunes are varieties of other dune types, that occur wherever winds periodically reverse direction (Walker, 1986). These dunes typically have major and minor slipfaces oriented in opposite directions. McKee (1979, apud Walker, 1986), based on descriptive attributes (form and number of slipfaces), consider them to be intermediate in character between a star dune and a linear dune, with asymmetrical chain form. Slipfaces occur alternately on both sides (Tsoar, 1978).

In the Itapeva dunefield, reversing dunes have straight and/or sinuous crests. The crest of the dunes vary from tens to hundreds of meters length (up to 250-300 m), dunes width vary from 20 to 40 meters and the height reach maximum 25 meters (maximum altitude is 29 m). The crests are generally rounded and the reversing slipfaces slope can reach 22° in some of them (monitored dunes). Reversing dunes occurs throughout the Itapeva dunefield.

The reversing dunes at Itapeva dunefield have very low migrating rates, being almost stationary, with a movement landward (RDD). The dunes crests orientation vary a bit, but are from E-S into the N-W quadrants, consistent with the RDD found in the sand roses calculated by Rockett et al. (*in prep.*). Compound dunes (the same dune type combined or superimposed – McKee, 1979) are common in the Itapeva dunefield.

- **Bush pockets:** Bush pockets are sandy mounds (or knobs) partially or fully vegetated. According to Hesp & Thom (1990), it is fairly difficult to determine at any one time whether a vegetated mound or bush pocket is a remnant feature or a depositional feature. The bush pockets in Itapeva dunefield are mainly located in the west side of the mobile dunes area, between the reverse dunes, and vary from 10 to 50 m width (Figure 12). The origin of these forms may be the preterit vegetation/forest colonization during the precipitation ridges

advance, and, as the dunefield transgression continue, it remain stabilizing some parts of the ex-ridges, and act as a barrier modifying the winds action. Also, it is possible to identify erosional features in some of these dune type (Figure 2B).

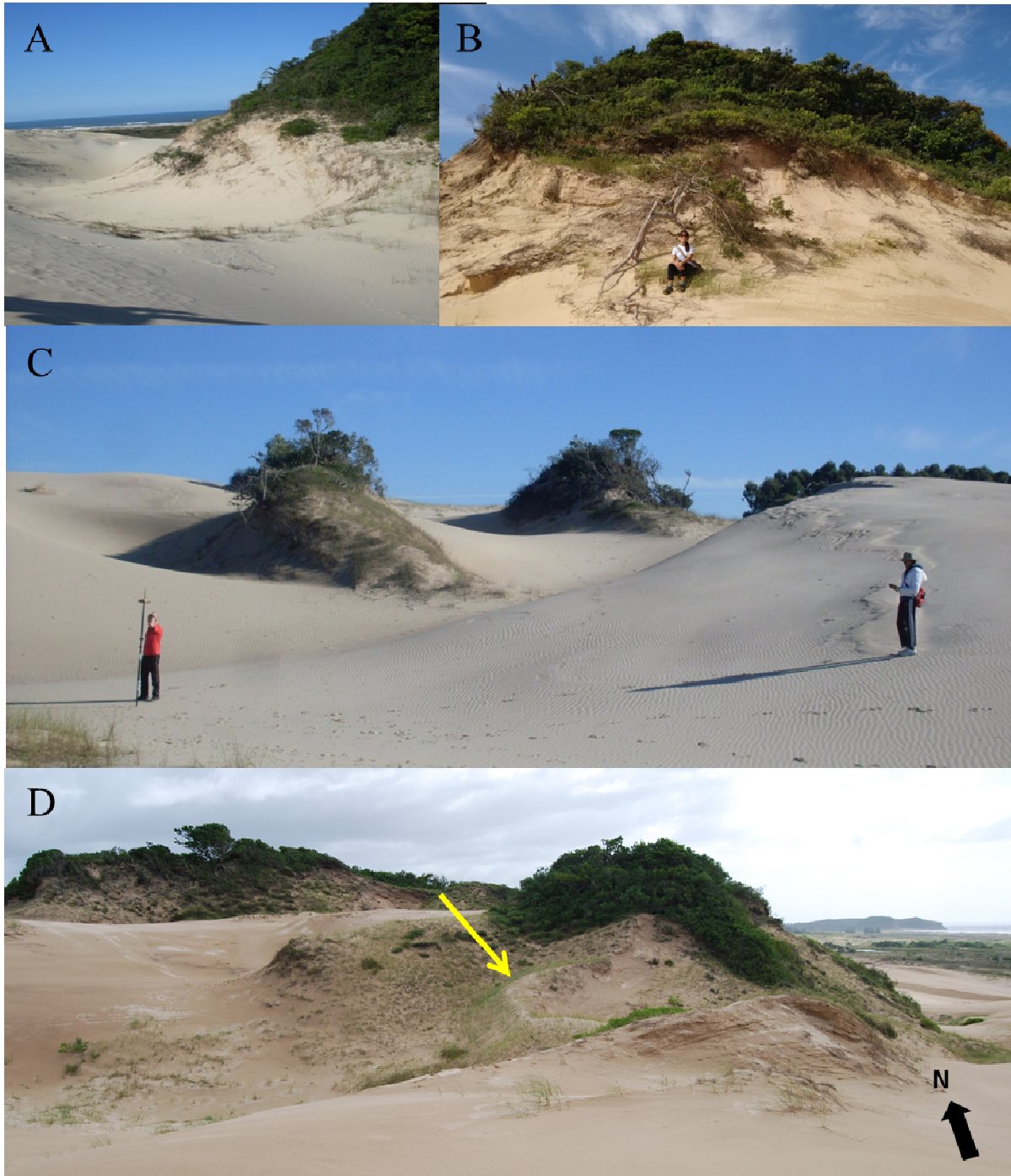


Figure 2 – Bush pockets and associated features: (A) Erosional feature (blowout) close to a bush pocket; (B) Large bush pocket; (C) Bush pockets (left) close to a reverse dune (right); and (D) Shadow dune (yellow arrow).

- **Shadow dunes and blowouts:** In the Itapeva dunefield, associated to the bush pockets occur shadow dunes and blowouts (Figure 2A,C,D). The definition of shadow dunes that fit what is observed in Itapeva region is the one from Hesp (1981): a depositional type of dune that is originated by the downwind of remnant knobs or vegetated mounds (or, a pyramidal dune formed in the lee of vegetation – Hesp, 2000). The shadow dunes occur in W-SW or N-NW side of different bush pockets in Itapeva dunefield; it depends on the specific vegetated mound location and winds action within the dunefield.
- **Nebkhas:** According to Tsoar (2001), isolated clumps of vegetation act as sand traps and lead to the formation of nebkhas. In the Itapeva dunefield, nebkhas varies from very small to large ones (from centimeters up to few meters width), and appears as isolated dunes or in agglomerations (Figure 3). Nebkhas are present mainly in the east edge of the mobile dunes area, and in the low and wet areas between reverse dunes.

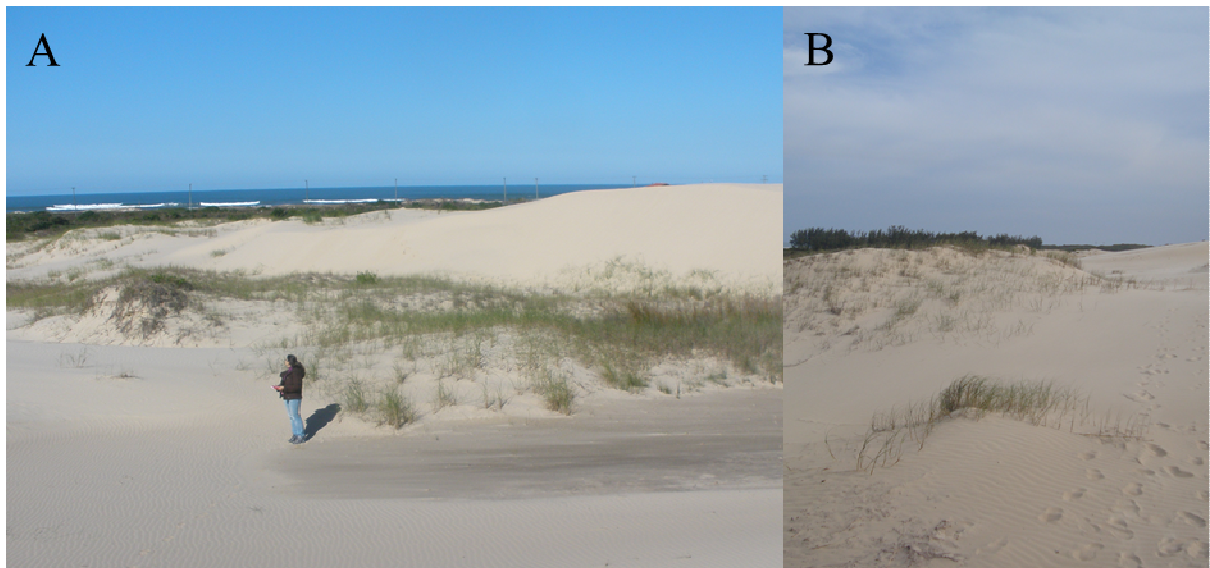


Figure 3 - Nebkhas (A) agglomeration and (B) isolated (June, 2014).

- **Foredunes:** Foredunes originate by wind blow and sand deposition within vegetation in the landward edge of the beach and are parallel to the shoreline (Hesp 2000). Foredunes are present in all Itapeva coastal sector extension. In the foredunes area, established foredunes developed and it is possible to observe some erosional blowout type forms in it (Figure 4 A,B). Based in field data using GNSS during winter season, the base of foredunes in Itapeva, in general, begin in orthometric altitudes of 2.6-2.9 m, after the backshore. The foredunes height reaches 3.5 m in some places, varying mostly from 1.6 to 2.6 m high. Incipient

foredunes reestablishment with *blutaparon* vegetation also occur after winter storms (Figure 4C).

- **Interdunes:** Interdunes are low areas between dunes in which the ground water table can reach surface in wet periods. In the Itapeva dunefield intermittent water bodies can occur in the interdunes area, depending on the season. A sparse vegetation (nebkhas) cover can be observed when it is drier, and a not so sparse vegetation can be observed when more water is present (Figures 4D,E).

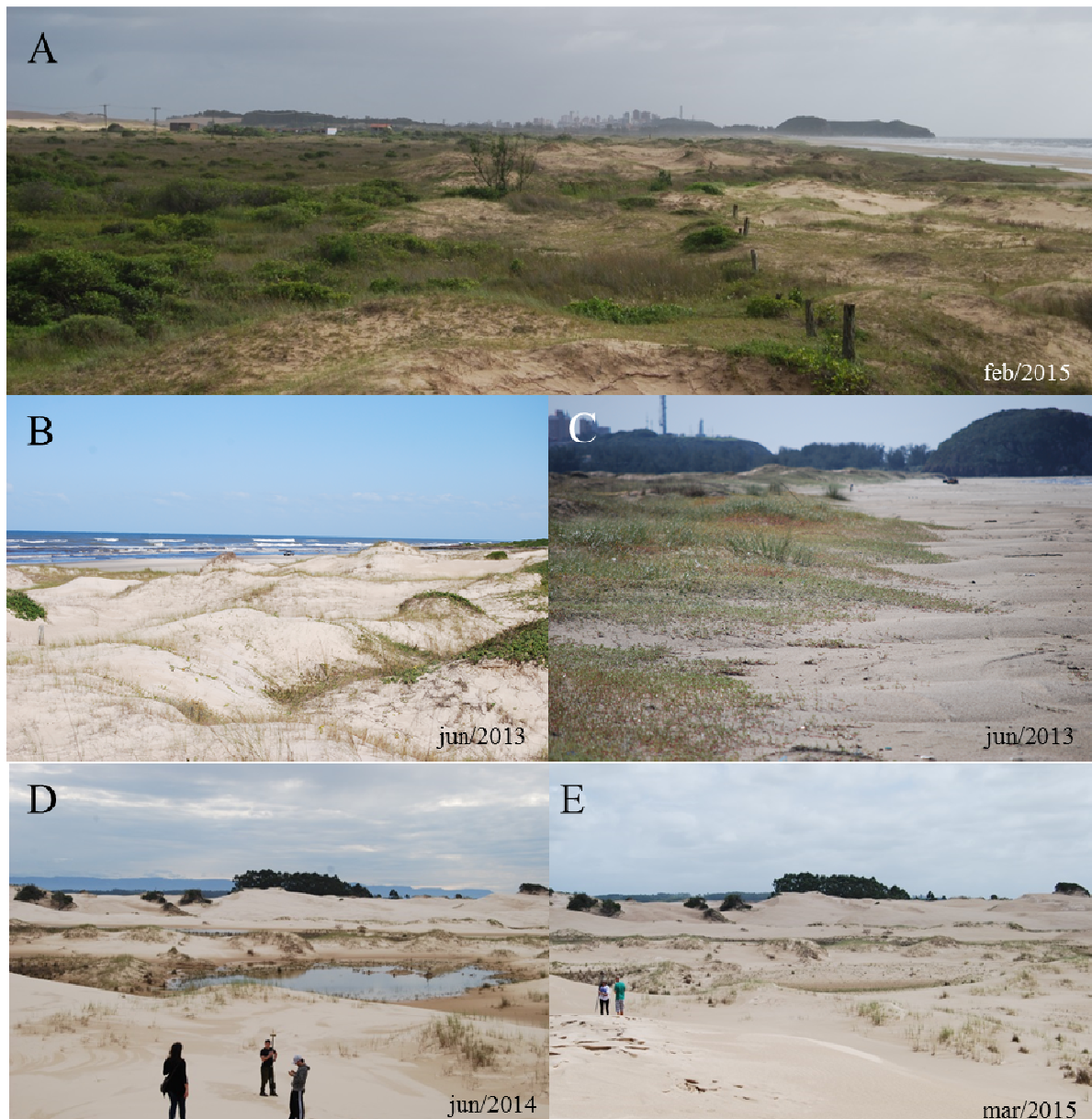


Figure 4 – (A) S-N view: vegetated foredunes with approximately 60 meters width, and the deflation plain in a lower terrain with more dense vegetation (in the left side). (B) Sparse vegetated foredune; (C) incipient foredune. (D and E) E-W view: interdune areas in the north sector of Itapeva Dunefield in two different periods (D) with water bodies and a little bit more dense vegetation (winter) and (E) with no water bodies and sparse vegetation (summer).

- **Vegetated deflation plain:** Deflation plains are commonly present along the seaward margin of (or within) landward migrating transgressive dunefields (Hesp & Thom, 1990; Hesp, 2000). They are wind eroded deflated hollows and form extensive flat surfaces parallel to the shore in which the water table often reaches or approaches the surface sometimes during the year (Hesp, 2000). In the Itapeva dunefield region, an extensive and now vegetated deflation plain developed (200-480 m wide), fronted by an established foredune ridge and backed by an mobile and partially vegetated active dunefield (Figure 5A,B). Other deflation plain developed in the north sector of the dunefield, which is more recent and are not fully vegetated; nebkhas occur commonly water table reaches surface (Figure 5C).
- **Transgressive Sand sheets:** Vegetated transgressive sand sheets occur between the foredunes and the deflation plain. Different than the same features present in the Holocenic barrier in southern and northern regions (Curumim and Passo de Torres - Hesp et al., 2007; Silva, 2015), vegetated sand sheets lobes in the norther portion of the Itapeva Holocenic barrier are oriented not so parallel to the coast, but a little bit elongate in S-N direction.
- **Main drainage area and washouts:** In the central region of Itapeva dunefield, there is a wide deflation/low area, in which water flows in beach direction in more humid periods. In the north region of Itapeva dunefield, nowadays urbanized area, there is also a significant drainage (called Riacho Doce) that flows in beach direction. Commonly after strong raining and storms periods, the beach barrier is broken by these waters and they flow to the ocean. Other times a small water flow occur, but do not reach the ocean directly, remaining barred by the beach sands. Also, the region is segmented by more than 10 washouts that cut foredunes and flows to the sea.

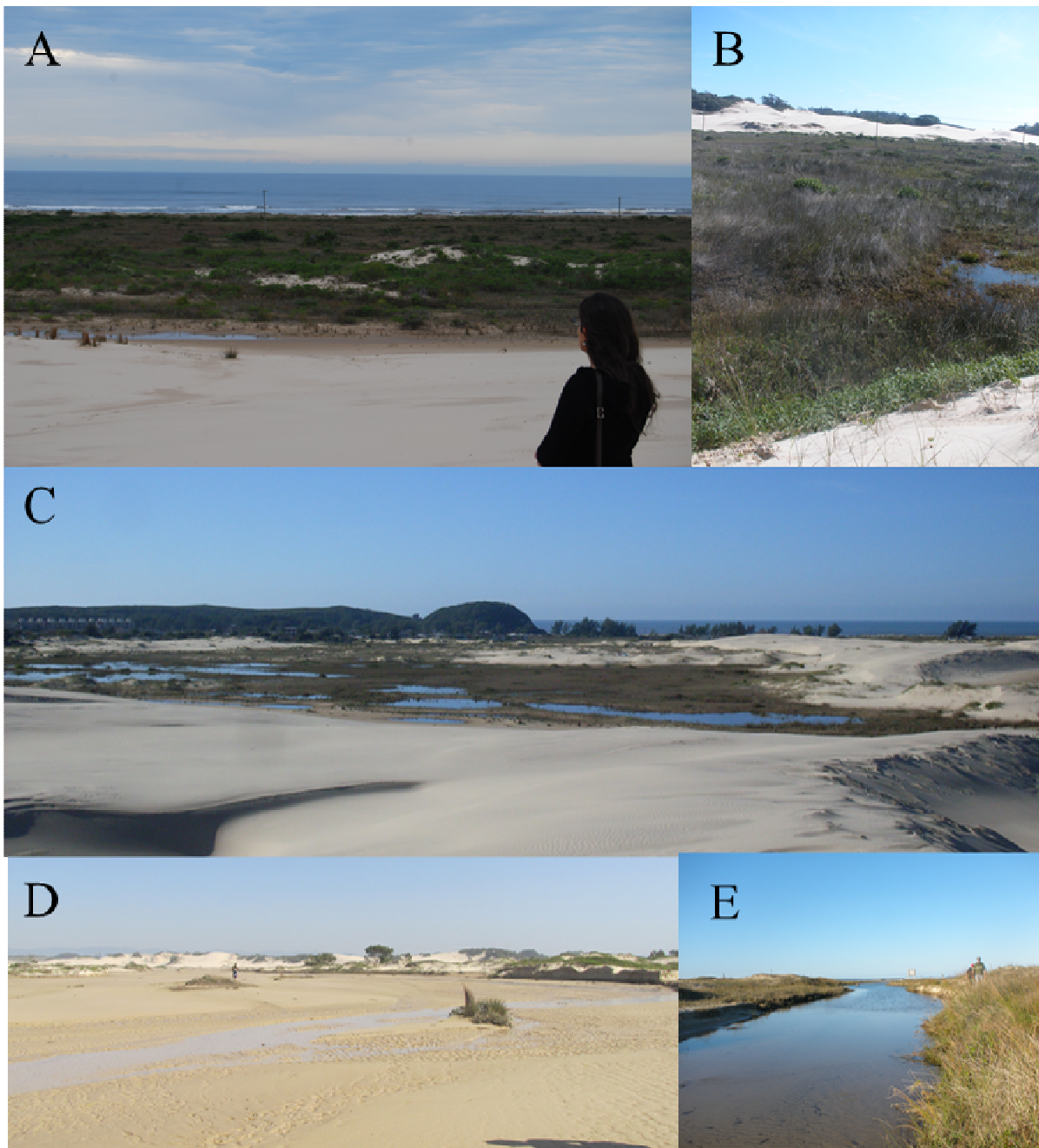


Figure 5 – (A) Deflation plain between foredunes and the Itapeva transgressive dunefield: W-E view of the Itapeva and (B) vegetated deflation plain detail (E-W view); (C) Deflation plain within the Itapeva dunefield, north sector; (D) main drainage flat area with scarps shaped by water in the left (or north) side (E-W view) and (E) main drainage channel (W-E view).

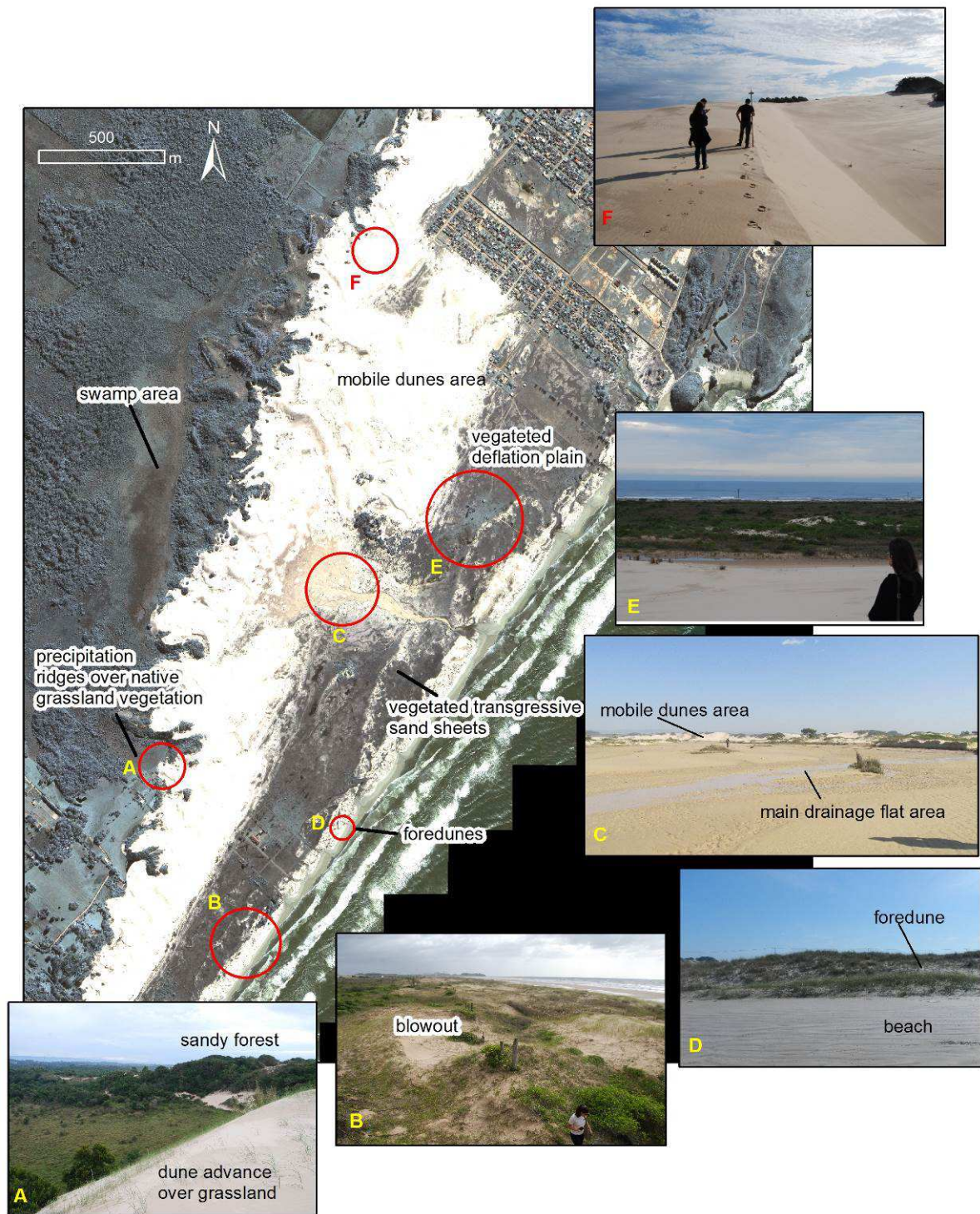


Fig. 6 - Distinct morphologies in the northern and central regions of Itapeva dunefield: (A) precipitation ridges: dune advance over native grassland and sandy forest covering dune precipitations; (B) vegetated foredune and foredune ridge, and blowout type erosional feature; (C) low terrain of main drainage in the central region of the dunefield, with a thin water course, mobile dunes area behind and the Serra Geral scraps (E-W view); (D) vegetated foredunes just after beach line; (E) W-E view of the vegetated deflation plain and the sea behind and (F) mobile dunes area- in detail, a reverse dune crest.

The dunefield show complex forms, with two or more dunes superimposed. What is observed in the field fit the “compound” and “complex” dunes definition made by McKee (1979). For example, in the Itapeva region two reverse dunes and one shadow dune and a bush pocket occur associated. In McKee’s definition (1979), this combination could possibly be described as “compound reversing dunes coalescent to a shadow dune and a bush pocket, forming a complex dune”.

The resultant map of this study, the geomorphological map of the Itapeva dunefield, is shown in Figure 7.

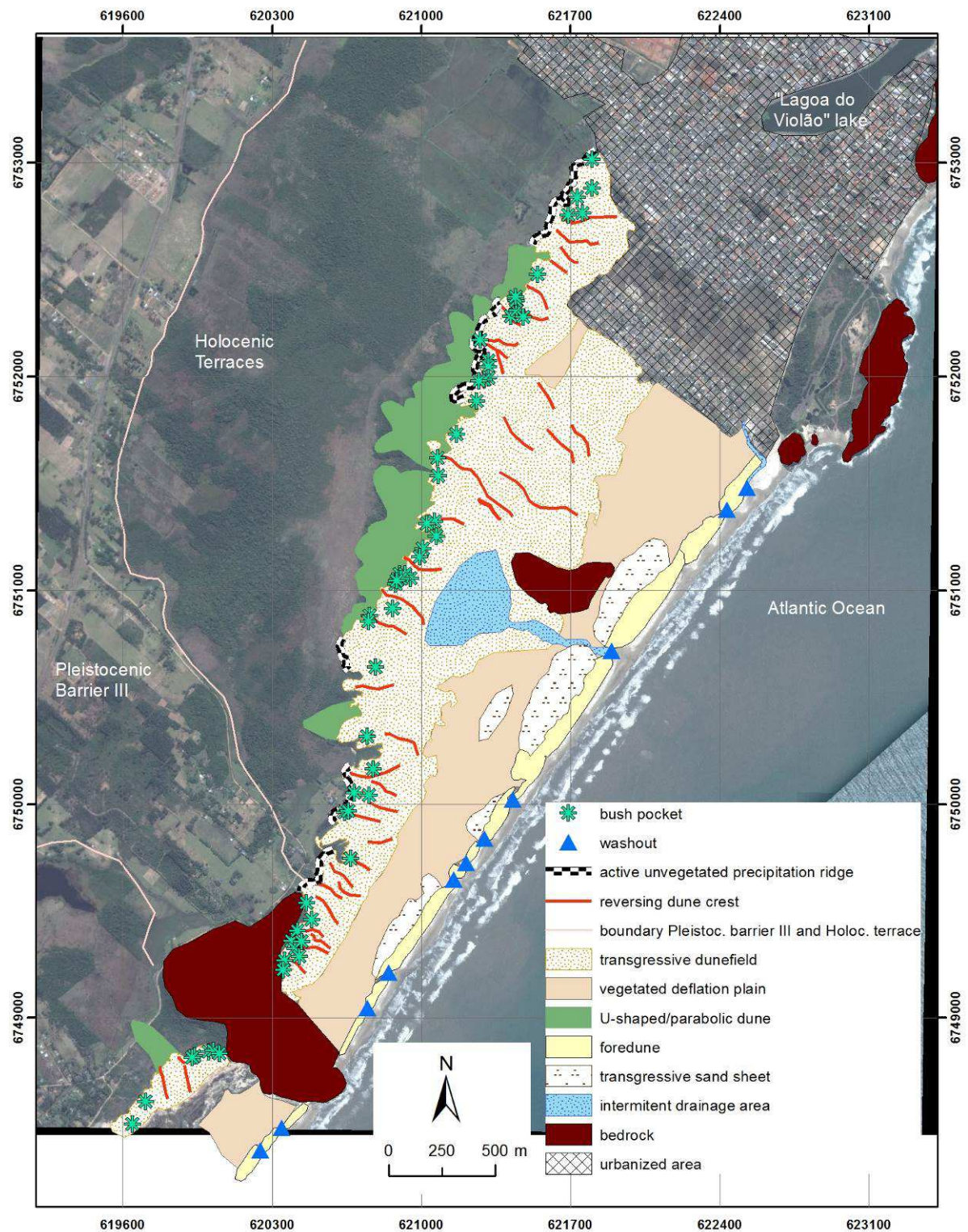


Figure 7 – Geomorphological map of the Itapeva Dunefield.

By 2013, the mobile dunes area was about 1.9 km² and the dunefield migration landward can be seen, with the formation of a deflation plain between beach and the mobile dunes area, and the formation of a foredune line along the coast.

Dunes monitoring was performed in three distinct sectors within the dunefield: north, center and south (Figure 8). The monitoring showed the slipfaces activation during different seasons along one year (Figure 9).

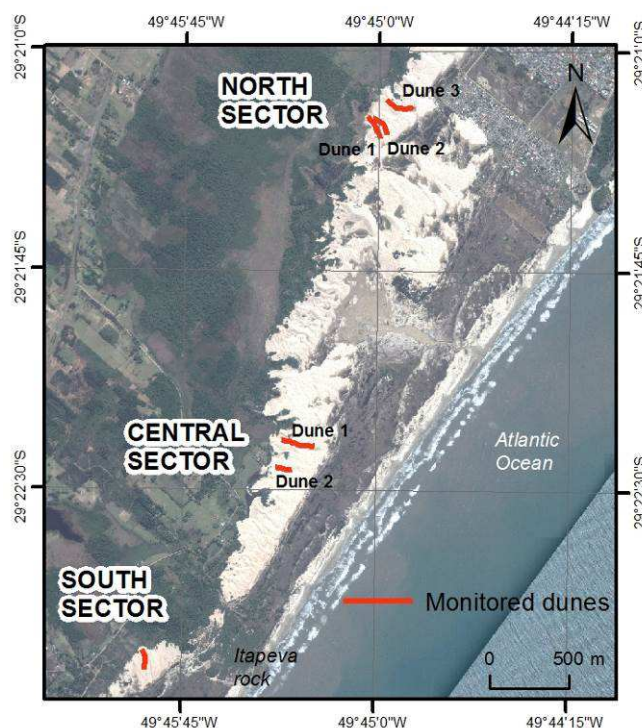


Figure 8 – Monitored dunes in Itapeva Dunefield (Satellite image from CNES/Astrium - GoogleEarth, 2013).

The monitored dunes in north and central sectors are oriented NW-SE, with some variations in the East side of the crests, which varies and change according to the wind (and can vary a bit more to S or E directions). Maximum orthometric height is found in the west side of the crests (landward side), and varies from 21,45 m in central sector's dune 2 to 27,50 m in north sector's dune 3. The monitored dune in south sector have a N-S orientation, and a maximum orthometric height of 18,90 m in the north side of its crest.

- *North Sector*: In the SW side of Dune 1 bush pockets/vegetated mounds are present. In June 2014 the dune showed a slipface to SW direction, but not active at that moment. The slipface was not perfect and clear. Dune 2 showed the same behavior. Dune 3 showed an active slipface to NE direction. The active slipface was approximately 3 meters high. In November 2014, an active but not clearly defined slipface to SW direction was identified in both Dunes 1 and 2. The same was identified in Dune 3. In February 2015, the slipfaces of Dunes 1 and 2

were active to SW, and in Dune 3 the active slipface was into NE direction. The displacement of Dune 1 and 2 crests from November to February into SW direction was about 4 m. In Dune 3, the displacement from the inactive North side of the dune to the active slipface do NE direction was about 2 m. By June 2015, it was possible to observe and identify in the field that the slipface active in February are present and inactive at the moment in Dune 2. In Dune 1 the slipface is beginning an activation into NE direction. Dune 3 shows an extensive active slipface to NE direction.

- *Central Sector*: Dunes in central sector have complex morphologies, and two or three superimposed dunes occur. Dune 1 in central sector is located between bush pockets, located in northwest and southwest side of the dune. This dune shows, in June 2014, an active slipface to NE/N direction, and an inactive slipface to S direction. In Dune 2 no active slipface could be identified. In November 2014, both dunes have an active slipface to SW direction. In Dune 1 the slipface is strongly active, in Dune 2 there is one very active slipface and another is beginning to reverse to SW direction. These dunes in central sector have complex morphologies, and maybe due to this there are differences in the amount of sand and slipface activation between them. In February 2015, the dune on the top of Dune 1 have active slipface to SW direction, and the other part (under) have an active slipface to N. Dune 2 show an active slipface to NE. By June 2015, active slipface into NE/N direction are present in both dunes 1 and 2.

- *South Sector*: The dune in south sector is oriented in N-S direction. In June 2014 an extensive inactive crest was present, and another smaller one (45 m) active to N/E direction. The southern dune show an active slipface to W/SW direction in November 2014. By February 2015 the active slipface still goes to W/SW. The displacement was about 2,50-5,00 meters in W/SW direction, mostly in the center and north portion of the dune crest. By June 2015 it was possible to observe and identify that the slipface active in February are present and inactive at the moment. Ripples in N direction can be observed.

Climatic parameters analyzed for the period was monthly precipitation and wind velocity and direction (Figure 10). Analysis on wind data were performed considering only winds with intensities higher than 5,7 m/s (threshold wind velocity – Rockett et al., *in prep.*). Calms and velocity data below 5 m/s were not considered. Analyzing wind data from March to June 2014 (Torres meteorological station), it is possible to observe the prevailing winds from NE, E, S and SW all during the year. In March and April, winds with velocity higher

than 5,7 m/s are from NE and E (66 % of occurrences) and from S and SW (44 % of occurrences). In May and June 2014, S and SW winds represent 63% of the registered occurrences. At the dunes monitoring by June 2014 many active slipfaces were into N-NE directions, due to the predominance of southerly winds in the previous months, and no rainfall in the previous 5 days. Even so, some slipfaces were inactive; in other words, they were beginning changing orientation, and sand movement was not enough to form an active slipface. This is probably due to low wind speeds in the preterit days.

In July S and SW strong winds occur in a frequency of 76%. In August the prevailing strong winds were from SW and S (89%), and in September we had 56% from S/SW and 42% from NE/E. From October to December 2014 (spring) NE/E strong winds prevailed with very high frequency (75, 82 and 62% of the strong winds, respectively in Oct, Nov, Dec), with occurrence of SSW intense winds in a low frequency. In the monitoring by November 2014, all the monitored dunes showed active slipfaces into S/SW/W directions.

In January 2015, NE/E and S/SW strong winds frequencies were similar (48% and 52%, respectively). In February, N/NE strong winds correspond to 66% of the occurrences. Monitoring performed by the end of February 2015 show active slipfaces into S/SW/W direction in all the dunefield sectors (driven by NE/E winds) but some dunes in north and central sectors still have active slipfaces into N-NE direction.

In March and April, both winds prevailed in the area (southerly winds correspond to 65% and 63% respectively). Data from May and June 2015 are incomplete, however, a greater influence of Southern winds can be observed. Active slipfaces into N-NE direction could be observed in the monitoring performed by June 2015. Inactive slipfaces in the dunefield's south and north sectors also were observed.

The number of registers of high velocity winds (> 5.6 m/s) from NE/E were higher during spring, but occur throughout the year. The occurrence of S/SW winds were more constant and present along the monitored year (Figure 10B).

Considering the climatic factors, it is possible to understand that, within Itapeva dunefield, at the same time can occur active slipfaces into different directions (Figure 11), because both southern and northern winds play a role in this region. It is possible that active slipfaces behavior is related to local wind dynamics and/or the exposure of the crest to the winds, considering that dunes of different height and type are present in Itapeva dunefield.

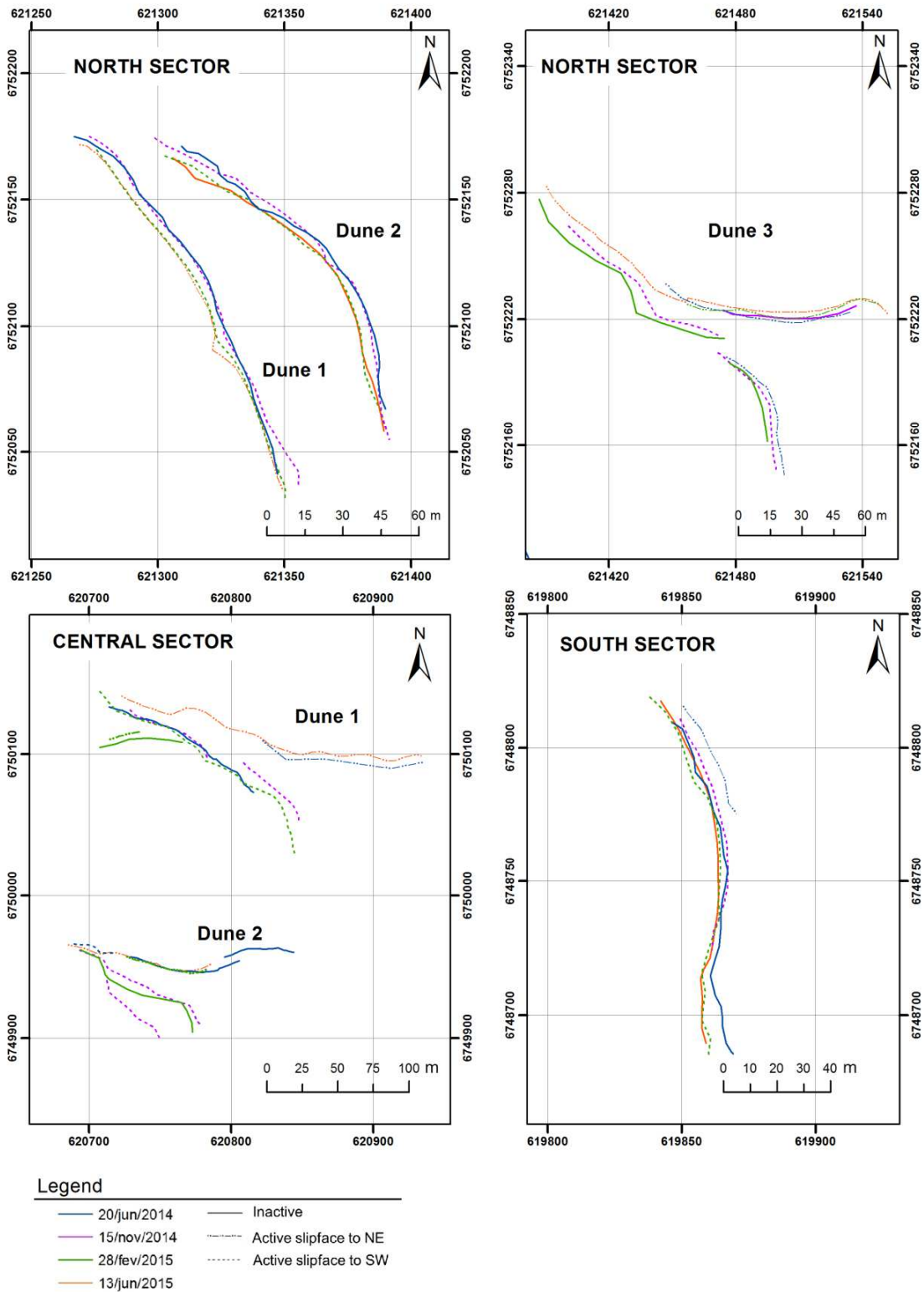


Figure 9 – Mobile dunes’ one-year monitoring of active slipfaces: blues lines show the slipfaces in Jun/2014; purple lines in Nov/2014; green lines in Feb/2015 and orange lines in Jun/2015.

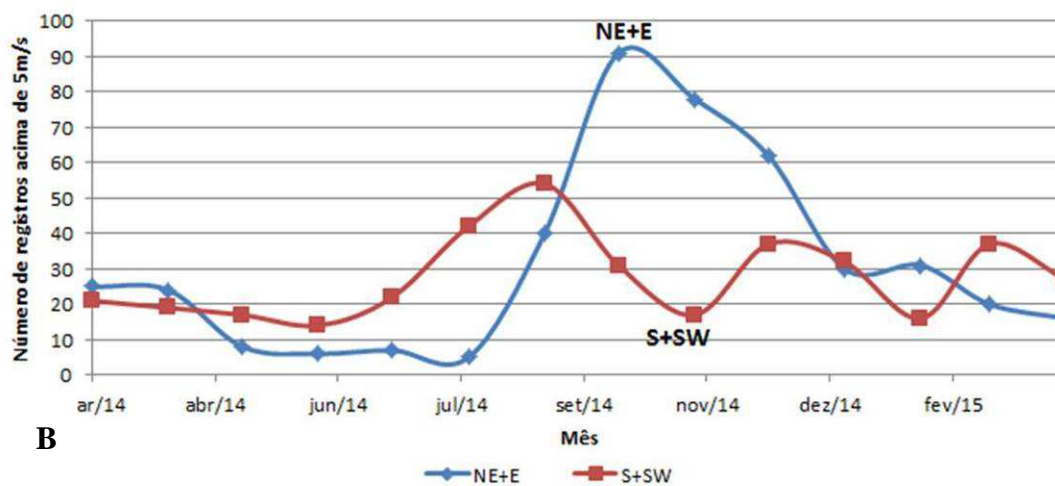
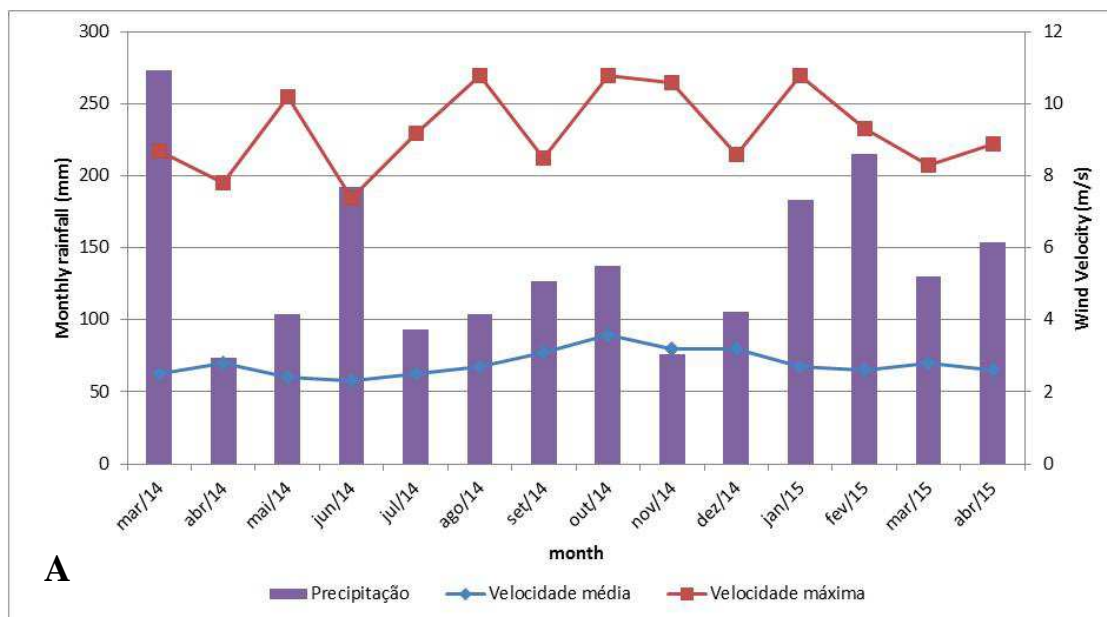


Figure 10 – Climatic analysis from March, 2014 to March 2015 (Torres met. station): (A) Wind velocity and monthly precipitation (B) Winds with intensity above 5.6 m/s: direction and number of registers.



Figure 11 – North sector dunes in Jun/2014: Examples of different directions in slipfaces (A) Inactive slipface – Dune 1; (B) Active slipface to N/NE direction – Dune 3. As observed in other fieldworks, active slipfaces in different directions at the same time are common in reversing dunes at Itapeva dunefield.

Figure 12 show the monitored dunes cross-sections in June 2015. In north sector, the steeper face of Dunes 1 and 2 were opposite, in Dune 1 it was steeper and in SW direction (21.5°), while in Dune 2 it has an angle of 13.45° in the NE side of the dune crest. The crest in Dune 3 was larger, and the steeper face was in NE direction with smoother angle (9.57°). In central sector, Dune 1 profile shows two dunes superimposed (~ 30 m distance in the graph X axis), the total steeper face angle was 16.47° in SW direction, while Dune 2 steeper face was 11.66° in NE direction. The dune in south sector showed a steeper face into W direction, with an angle of 13.99° .

Considering that in autumn winds from SW and S have a great frequency in this region (Rockett et al., *submitted*), in the field it is possible to observe by the end of autumn (last monitoring and cross-section data collected by 13 June 2015) active slipfaces into N/NE and others beginning to activate into N/NE direction (also ripples marks indicating this change in transport direction), but, in the cross-sections collected it is possible to observe that not all the dunes have in this period a steeper leeward face into N-NE direction.

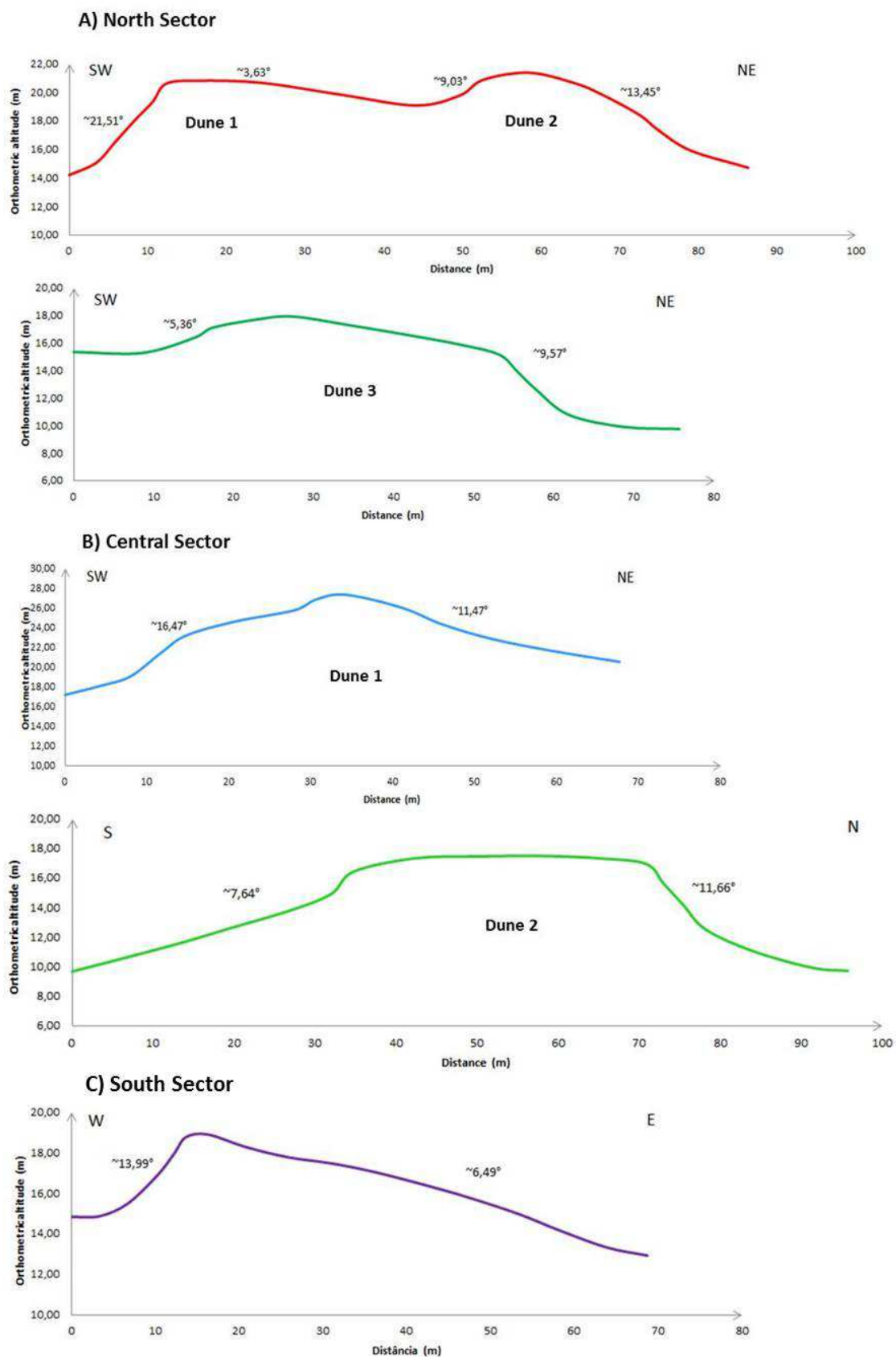


Figure 12 – Monitored dunes cross-sections in June 2015: (A) North sector; (B) central sector and (C) south sector.

5. CONCLUSIONS

Itapeva dunefield is a singular dunefield in RS coastal plain, confined in an area with basement outcrops and peculiar wind pattern, this dunefield presents singular landforms. At dunefield scale, Itapeva dunefield movement is in the NW direction (Rockett et al., *in preparation*), but annual dynamics is complex.

Reversing dunes, bush pockets, U-shaped dunes, precipitation ridges and nebkhas are the predominant aeolian depositional morphologies in the Itapeva dunefield. Vegetated transgressive sand sheets are also present, over the deflation plain, and foredunes close to the Itapeva beach. Erosional features such as blowouts occur mainly in the foredunes area and associated to bush pockets.

Dunes with altitudes up to 30 m, with sinuous or more straight/linear shape with reversing crests are common in the region. The monitoring results show that slipfaces into different directions can occur at the same time within the dunefield. The slipface activation occur in different directions in the same period in the dunes present in the Itapeva dunefield. The presence of high bush pockets and also some higher dunes can maybe influence in wind dynamics within the dunefield. Also, we found that the bimodal wind regime constantly acting in sand transport direction changes throughout the year in Itapeva region, resulting in a low migration rate over the year, as observed by Tomazelli *et al.* (2008).

The higher altitudes are found in the North sector of the dunefield, and in the west side of the dunes crests all along the dunefield. The higher altitudes show sand accumulation in accordance to the RDD of Torres meteorological station, indicating the sand movement into NW direction in a large scale. The width of the monitored dunes is variable, from 15 to 30 m within the same dune, showing that the landward side (west) of the crests are more stable/fixed, while the east side have a greater mobility (and width).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank CNPq for the Doctorate research grant, the Itapeva State Park staff for support in the fieldworks and providing the necessary documents for this research. Special thanks to Rafael M. de Oliveira, Inaiê M. Miranda, Samanta C. Cristiano, Fernando C. Scottá, Priscila Telles and Lucas Crippa for helping in the monitoring fieldworks.

REFERENCES

- AAGAARD, T.; ORFORD, J. & MURRAY, A.S. 2007. Environmental controls on coastal dune formation: Skallingen Spit, Denmark. **Geomorphology**, 83: 29–47.
- CARNEIRO, M.C.S.M; LIMA; SÁ, L.A.C.M & ARAUJO, T.C.M. 2012. Monitoramento da tendência de deslocamento do campo de dunas de rio do fogo-RN utilizando lidar aerotransportável. In: **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife -PE. p.01-08.
- CARTER, R.W.G. 1988. **Coastal environments**: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastline. Academic Press: London. 617p.
- DILLENBURG, S.R.; ROY, P.S.; COWELL, P.J. & TOMAZELLI, L.J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). **Journal of Coastal Research**, v.16, p.71-81.
- DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; HESP, P.A.; BARBOZA, E.G.; CLEROT, L.C.P. & SILVA, D.B. 2006. Stratigraphy and evolution of a prograded barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 132 -135. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.
- GARRIDO, M.S.; GIMÉNEZ, E.; RAMOS, M.I ; GIL, A.J. 2013. A high spatio-temporal methodology for monitoring dunes morphology based on precise GPS-NRTK profiles: Test-case of Dune of Mónsul on the south-east Spanish coastline. **Aeolian Research**, 2013, v.8, p.75-84.
- GONZÁLEZ CHIOZZA, S. & RABELO, W.S. 2012a. Monitoramento preciso de geoformas dinâmicas com receptor GPS geodésico. In: 46º Congresso Brasileiro de Geologia / 1º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa, Santos. Anais 46º Congresso Brasileiro de Geologia. Santos, 2012.
- GONZÁLEZ CHIOZZA, S. & RABELO, W.S. 2012b. Estudo morfodinâmico de uma duna parabólica na faixa litorânea oriental do estado do Ceará. In: 46º Congresso Brasileiro de Geologia / 1º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa, 2012, Santos. Anais 46º Congresso Brasileiro de Geologia, 2012.
- GUIMARÃES, L.S. 2005. **Morfodinâmica e Migração das Dunas Eólicas na Reserva Ecológica do Taim, Litoral Sul do RS**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Dissertação de Mestrado). 108p.

- HESP, P.A. 1981. The formation of shadow dunes. **Journal of Sedimentary Petrology**, 51(1): 101-111.
- HESP, P.A. 2000. **Coastal Dunes: Form and Function**. CDNV Technical Bulletin, n.4. Massey University, 28p.
- HESP, P.A. 2004. Coastal dunes in the tropics and temperate regions: location, formation, morphology and vegetation processes. In: MARTÍNEZ, M.L. & PSUTY, N.P. (Eds.). **Coastal Dunes, Ecology and Conservation**. Ecological Studies v.171, p.29-49.
- HESP, P. 2011. **Dune Coasts**. In: Wolanski, E. & McLusky, D.S. (eds.). *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, v.3, pp.193-221. Waltham: Academic Press.
- HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; AYUP-ZOUAIN, R.N.; ESTEVES, L.S.; GRUBER, N.L.; TOLDO JR., E.E.; TABAJARA, L.L.C.A. & CLEROT, L.C.P. 2005. Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 77, 493-508.
- HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; CLEROT, L.C.P.; TOMAZELLI, L.J. & AYUP-ZOUAIN, R.N. 2007. Morphology of the Itapeva to Tramandaí transgressive dunefield barrier system and mid- to late Holocene sea level change. **Earth Surface Processes and Landforms**, 32, 407-414.
- HESP, P.A.; GIANNINI, P.C.F.; MARTINHO, C.T.; MIOT DA SILVA, G. & ASP NETO, N.E. 2009. The Holocene Barrier of the Santa Catarina Coast, southern Brazil. In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A. (eds). **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Springer, p.93-133.
- HESP, P.A. & THOM, B.G. 1990. Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields. In: NORDSTROM, K.F.; PSUTY, N.P.; CARTER, R.W.G. (Eds.) **Coastal Dunes: Form and Process**. Chichester, John Wiley & Sons Ltd. 253-288.
- HESP, P.A. & WALKER, I.J. 2013. Aeolian environments – coastal dunes. In: SHRODER, J.; BAAS, A.C.W (Eds.). **Treatise on Geomorphology**. Elsevier: Amsterdam, chapter 11. 17p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2008. **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS**. IBGE: abril de 2008. 35p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2010. **Modelo de Ondulação Geoidal – MAPGEO2010**. Available at:

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm

MARTINHO, C.T; DILLENBURG, S.R. & HESP, P. 2008. Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. **Marine Geology**, v. 256, p.49–64. doi:10.1016/j.margeo.2008.09.006

MARTINHO, C.T.; HESP, P.; DILLENBURG, S.R. 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. **Geomorphology**, v.117, p.14–32. doi:10.1016/j.geomorph.2009.11.002

MARTINHO, C.T.; HESP, P.; DILLENBURG, S.R. 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. **Geomorphology**, v.117, p.14–32. doi:10.1016/j.geomorph.2009.11.002

MCKEE, E.D. 1979. Introduction to a study of global sand seas. In: MCKEE, E.D. (Ed). **A study of global sand seas**. Prof. Pap.US Geol. Surv. N.1052, p.01-19.

PYE, K. & TSOAR, H. 2009. **Aeolian sand and sand dunes**. Springer-Vergag, Berlin: 458p.

ROCKETT, G.C.; BARBOZA, E.G. & ROSA, M.L.C.C. 2014. Caracterização da Barreira Holocênica do Extremo Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul através de Dados de Georradar. In: **VI Simpósio Brasileiro de Geofísica**, Resumos Expandidos, Porto Alegre-RS, paper SBGF_4692.

ROCKETT, G.C.; TELLES, P.; BARBOZA, E.G.; GRUBER, N.L.S. & SIMÃO, C.E. Análise espaço-temporal dos ventos no extremo norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, *submitted*.

ROCKETT, G.C.; HESP, P.; BARBOZA, E.G. Evolution of the Itapeva dunefield over the last decades (Torres-RS, Brazil). *In preparation*.

SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.V.; OLIVEIRA, C.P.L. & SEELIGER, M. 2000. Long-term changes of coastal foredunes in the Southwest Atlantic. **Journal of Coastal Research**, 16(4), p. 1068-1072.

SILVA, A.B. 2015. **A herança geológica, a geomorfologia e a estratigrafia da barreira complexa de Passo de Torres, planície costeira sul-catarinense**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 192p.

- TOMAZELLI, L.J. 1990. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase no sistema eólico.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 270p.
- TOMAZELLI, L.J. 1994. Morfologia, Organização e Evolução do Campo Eólico Costeiro do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 21(1), p. 64-67.
- TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G. & ROSA, M.L.C.C. 2008. Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos de Cidreira e Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 35, p. 47-55.
- TSOAR, H. 2001. Types of Aeolian Sand Dunes and Their Formation. In: BALMFORTH, N.J. & PROVENZALE, A. (eds.). **Geomorphological Fluid Mechanics**. Springer, Lecture Notes in Physics, v. 582, chapter 17, pp.403-429.
- UGRI, A. 2004. **Mudanças em escala histórica das dunas costeiras do extremo sul do Brasil.** Rio Grande. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica (Dissertação de Mestrado). 86p.
- 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., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., HORN FILHO, N.O., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, 4: 79-97.
- VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, n.8, p. 1-45.
- WALKER, A.S. Eolian Landforms. 1986. In: SHORT, N.M.; BLAIR, R.W.Jr (Eds.). **Geomorphology from Space**. NASA SP-486, US Government Printing Office, Washington DC, p.447-520. Available at: http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/geomorphology/GEO_8/GEO_CHAPTER_8.shtml

CAPÍTULO 4. ESTRATIGRAFIA

Este capítulo é composto por dois artigos envolvendo as análises realizadas em subsuperfície.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BARREIRA HOLOCÊNICA DO EXTREMO NORTE DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL ATRAVÉS DE DADOS DE GEORRADAR

Resumo expandido publicado nos anais do *VI Simpósio Brasileiro de Geofísica*

Referência:

ROCKETT, G.C.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C. 2014. Caracterização da Barreira Holocênica do Extremo Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul através de Dados de Georradar. In: *VI Simpósio Brasileiro de Geofísica*, 2014, Porto Alegre-RS. VI SimBGf - Resumos Expandidos, 2014, v.6, SBGF_4692.



Caracterização da barreira holocênica do extremo norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul através de dados de georradar

Gabriela Camboim Rockett¹, Eduardo Guimarães Barboza² e Maria Luiza Correa da Camara Rosa¹

¹ Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

² Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

Subsurface data obtained from geophysical equipment Ground Penetrating Radar (GPR) have been used in studies in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil. Aiming to characterize stratigraphically the northern sector of Rio Grande do Sul Coastal Plain, GPR data were collected in the area of the Itapeva dunefield, municipality of Torres/RS, using a 200 MHz frequency antenna. Five radar facies were identified, which indicate the system progradation to the ocean direction.

Introdução

O registro sedimentar de ambientes costeiros em subsuperfície tem sido analisado por diversos autores por meio de dados geofísicos obtidos através do georradar (ex.: Shenk et al., 1993; Bristow & Jol, 2003; Havholm et al., 2003; Barboza et al., 2011; 2013, entre outros). Os dados do georradar, de alta resolução, possibilitam a distinção entre os padrões deposicionais e a delimitação e a interpretação dos diferentes depósitos identificados nas seções.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), sul do Brasil, é formada por uma sucessão de quatro sistemas deposicionais tipo laguna-barreira, que se desenvolveram durante o Quaternário, controlados por eventos glacio-eustáticos (Villwock e Tomazelli, 1995). Os três primeiros sistemas são de idades pleistocênicas e o último é de idade holocênica (Villwock e Tomazelli, 1995), estando ativo até hoje. Ao longo dos 600 km de extensão de costa, a PCRS apresenta comportamentos diferenciados decorrentes do seu processo de evolução recente, onde distintos setores com padrões progradantes e retrogradantes são identificados (Dillenburg et al, 2000). Os setores progradantes, em geral, correspondem a segmentos de costas estáveis, enquanto que segmentos retrogradantes se caracterizam por costas em processo de erosão. Diferentes feições geomorfológicas se desenvolveram durante a evolução da barreira holocênica da PCRS, sendo comuns feições como os cordões litorâneos (*beach ridges* e *foredune ridges*) e os campos de dunas transgressivos (*transgressive dunefields*), segundo Villwock (1984), Villwock e Tomazelli (1995), Hesp et al. (2005; 2007). Estudos

recentes tentam identificar relação entre as feições geomorfológicas existentes e o comportamento existente em cada setor da PCRS (Dillenburg et al., 2009; Rosa, 2012).

Diferentemente da maior parte da PCRS, o extremo norte apresenta peculiaridades geomorfológicas, tais como: morros testemunhos de afloramentos do embasamento e um campo de dunas livres com a presença de dunas reversas. Estas características incentivaram a investigação realizada neste estudo, que teve por objetivo caracterizar estratigraficamente a geometria deposicional do extremo norte da PCRS, através de dados de georradar.

Metodologia

A área selecionada para este estudo, com aproximadamente 4 km de extensão, situa-se no Município de Torres/RS, aproximadamente entre as coordenadas 29°21' e 29°26' S e 49°44' e 49°46' W, na área do Parque Estadual de Itapeva (Fig.1).

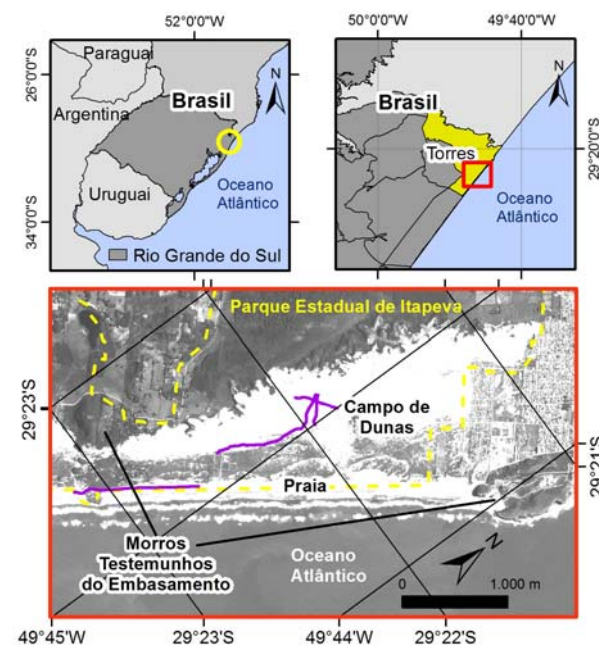


Figura 1 – Localização da área e das seções de georradar analisadas neste estudo (em roxo).

Para a investigação em subsuperfície, foram realizados trabalhos de campo para coleta de dados de georradar. As seções geofísicas paralelas à linha de costa foram coletadas na região da praia e da área da planície de deflação do campo de dunas. As seções geofísicas perpendiculares à linha de costa foram coletadas na porção central do campo de dunas, onde há uma drenagem do tipo sangradouro. O equipamento utilizado na aquisição foi um georradar da *Geophysical Survey Systems, Inc.* (GSSI), modelo SIR3000™, com uma antena de frequência central de 200 MHz. Um sistema de posicionamento GNSS foi acoplado ao georradar para controle da posição das seções adquiridas em campo. As seções analisadas neste trabalho constam, em roxo, na Figura 1. Cinco perfis com orientações distintas foram selecionados para este estudo: dois são perpendiculares (SW-NE) e três são paralelos (SE-NW) à linha de costa.

O processamento dos dados de georradar foi realizado nos *softwares* RADAN™. O primeiro processamento realizado foi o *background removal*, um filtro espacial para remoção dos ruídos sistemáticos de fundo. Após, um filtro de frequência foi aplicado para remoção de frequências mais altas e mais baixas que a frequência central das antenas (entre 300 MHz e 100 MHz). Foi aplicado, ainda, um ganho exponencial para ampliação dos sinais atenuados em profundidade. A conversão da profundidade de tempo para distância foi realizada através da constante dielétrica (k). Para a PCRS, a constante dielétrica utilizada em diversos estudos pela correlação com sondagens é a de valor 10 (ex. Dillenburg *et al.*, 2011).

O último processamento realizado foi o *stack* (estaqueamento) das seções, comprimindo a escala horizontal e facilitando as interpretações por evidenciar as inclinações das camadas (visto que algumas seções possuíam grandes comprimentos - entre 700 e 1.150 m). A interpretação dos dados seguiu os princípios da Sismoestratigrafia com ponderações devido à alta resolução (Neal, 2004). Critérios como a terminação dos refletores, a amplitude, a continuidade e a geometria, foram utilizados na interpretação.

Além disso, um projeto em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi elaborado para a integração de dados de sensores remotos de alta resolução (imagem pancromática do satélite SPOT) e dados de posicionamento GNSS, possibilitando a correta localização das seções geofísicas coletadas em campo e, assim, uma melhor compreensão do contexto da área de estudo com as interpretações realizadas nos dados de georradar.

Resultados

Cinco seções de georradar foram analisadas neste estudo: Seção 1 – coletada na praia, paralela à linha de costa, com extensão de 1.200 m; Seção 2 – coletada na planície de deflação do campo de dunas, quase paralela à linha de costa, com extensão de 800 m; Seção 3 – coletada na porção central do campo de dunas, quase paralela à linha de costa, com extensão de 400 m;

Seções 4 e 5 – coletadas na porção central do campo de dunas, na região do sangradouro, e perpendiculares à linha de costa, com extensão de 300 e 350 m, respectivamente. A profundidade máxima registrada nas seções de georradar foi aproximadamente 25 m.

Após análise e interpretação das seções, identificaram-se cinco radarfácies (Fig.2), as quais estão descritas a seguir:

- *Radarfácies I*: caracteriza-se pela perda do sinal dos refletores. Esta radarfácies representa as rochas do Embasamento. Ocorre em profundidade superior a 15 m na maior parte das seções analisadas, exceto no extremo sul da seção 1, onde a mesma ocorre a 2 m de profundidade – local onde há um afloramento de rochas, ao sul da área de estudo;

- *Radarfácies II*: possui espessuras variando entre 3 e 5 m, e refletores paralelos e relativamente contínuos inclinados no sentido do oceano. Esta radarfácies foi interpretada como o registro do ambiente de *shoreface* inferior;

- *Radarfácies III*: possui espessuras variando entre 6 e 10 m, e refletores contorcidos e descontínuos. Esta radarfácies foi interpretada o registro do ambiente de *shoreface* superior;

- *Radarfácies IV*: possui espessura variável entre 4 e 5 m e apresenta refletores contínuos de baixo ângulo inclinados no sentido do oceano. Esta radarfácies foi interpretada como o registro do ambiente de *foreshore/backshore*;

- *Radarfácies V*: acima da radarfácies IV identificou-se uma radarfácies com espessuras bem menores, entre 2-3 m, e refletores com mergulho em sentido oposto (para o continente). Esta radarfácies foi interpretada como o registro do ambiente eólico, e o sentido dos refletores é indicativo da migração das dunas que são observadas atualmente na superfície.

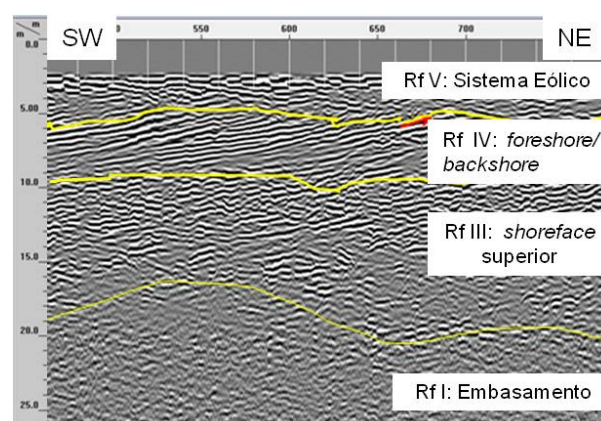


Figura 2 – Segmento de uma seção de georradar de 200 MHz, onde é possível a visualização de quatro das cinco radarfácies identificadas e a interpretação dos ambientes. As linhas amarelas representam os limites entre as radarfácies.

Em uma região mais ao sul da área de estudo, Hesp et al. (2005) caracterizaram a barreira arenosa holocênica entre os municípios de Tramandaí e Torres como uma barreira prográdante, composta por múltiplas fases de lençóis de areias com cristas de precipitação que migraram no sentido do continente.

O padrão de empilhamento dos pacotes sedimentares identificados indica a progradação do sistema no sentido do oceano. Através dos dados analisados foi estimada uma espessura sedimentar máxima de 22 m para a área de estudo.

Discussão e Conclusões

As características das radarfácies identificadas neste trabalho são similares as radarfácies já identificadas em outros estudos realizados na PCRS (ex. Silva et al., 2010; Barboza et al., 2011; Rosa, 2012).

Os dados analisados indicam a progradação do sistema no sentido do oceano, permitindo constatar que nesta região a costa encontra-se em regressão. Os resultados obtidos neste trabalho corroboram os estudos realizados em áreas adjacentes (Barboza et al., 2011, 2013; Silva et al., 2010; Lima, 2012).

Os dados de georradar adquiridos com antena de 200 MHz não possuem resolução espacial suficiente para o detalhamento da arquitetura deposicional do sistema eólico presente na área de estudo. Apesar da identificação de refletores inclinados no sentido SW sobre depósitos do sistema praial, e aqui interpretados como pertencentes ao sistema eólico, não foi possível detalhar a geometria destes depósitos. Este fato deve-se à dimensão destes estratos eólicos, que são mais delgados. Portanto, para o seu detalhamento são necessários dados com melhor resolução, que podem ser obtidos através de antenas de maior frequência.

A radarfácies I, interpretada como pertencente ao Embasamento, ocorre em profundidades que variam entre 2 e 22 m nas seções analisadas, indicando a proximidade do embasamento à superfície. Estes dados corroboram uma análise preliminar realizada em três seções de georradar, também de 200 MHz, adquiridas na mesma área (Rockett et al., 2013).

Furos de sondagem estão previstos a fim de testar as interpretações e calibrar as profundidades dos estratos identificados. Além disso, a coleta de novos dados de georradar com antenas de frequências maiores será realizada para cobrir outros setores dessa região e caracterizar, de forma detalhada, a geometria dos depósitos eólicos.

Agradecimentos

G.C. Rockett agradece ao CNPq pela Bolsa de Doutorado.

Referências

- Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Dillenburg, S.R. & Tomazelli, L.J. 2013. Preservation Potential of Foredunes in the Stratigraphic Record. *Journal of Coastal Research*, v. SI 65, p.1265-1270.
- Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Hesp, P.A., Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J. & Ayup-Zouain, R.N. 2011. Evolution of the Holocene Coastal Barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) - a new approach with GPR data. *Journal of Coastal Research*, v. SI 64, p.646-650.
- Bristow, C.S. & Jol, H.M. 2003. An introduction to ground penetrating radar (GPR) in sediments. London, Geological Society, Spec.Publications, 211(1): 1-7.
- Dillenburg, S.R., Roy, P.S., Cowell, P.J. & Tomazelli, L.J. 2000. Influence of Antecedent Topography on Coastal Evolution as Tested by the Shoreface Translation-Barrier Model. *Journal of Coastal Research*, 16(1): 71-81.
- Dillenburg, S.R.; Barboza, E.G.; Tomazelli, L.J.; Hesp, P.A.; Clerot, L.C.P. & Ayup-Zouain, R.N. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A. (eds). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Springer, p.53-91.
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G. & Rosa, M.L.C.C. 2011. Ground Penetrating Radar (GPR) and Standard Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. SI 64, p. 651-655.
- Havholm, K.G. et al (07 co-authors). 2004. Stratigraphy of back-barrier coastal dunes, Northern North Carolina and Southern Virginia. *Journal of Coastal Research*, 20(4): 980-999.
- Lima, L.G. 2012. Estratigrafia e evolução holocênica de uma barreira costeira transgressiva-regressiva, litoral norte do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil). 128 p., Porto Alegre. Link: <http://hdl.handle.net/10183/72230>
- Neal, A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, 66 (3-4): 261-330.
- Rockett, G.C., Barboza, E.G. & Rosa, M.L.C.C. 2013. Estimativa da Espessura Sedimentar e Relações Estratigráficas na Região da Planície de Deflação do Campo de Dunas de Itapeva/RS, Através de Dados de Georradar. In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Natal/RN. Resumos.
- Shenk, C.J., Gautier D.L., Olhoeft, G.R. & Lucius, J.E. 1993. Internal structure of an Aeolian dune using ground-penetrating-radar. *Spec. Publ. Ass. Sediment*, 16: 61-69.

Silva, A.B., Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C & Fracolossi, F.G. 2010. Caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície no setor meridional da Planície Costeira Sul de Santa Catarina. Gravel, 8(1): 1-7.

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. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas, 8: 1-45.

4.2 GROUND PENETRATING RADAR APPLIED TO THE CHARACTERIZATION OF THE ITAPEVA DUNEFIELD, TORRES, BRAZIL.

Artigo publicado na revista *Journal of Coastal Research*

Referência:

ROCKETT, G.C.; BARBOZA, E.G., AND ROSA, M.L.C.C. 2016. Ground Penetrating Radar applied to the characterization of the Itapeva Dunefield, Torres, Brazil. In: Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and McCarroll, R.J. (eds.), Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). *Journal of Coastal Research*, Special Issue, No. 75, pp. 323-327. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

Ground Penetrating Radar applied to the Characterization of the Itapeva Dunefield, Torres, Brazil.

Gabriela C. Rockett[†], Eduardo G. Barboza^{*§}, Maria Luiza C.C. Rosa^{**§}

[†] Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brazil

[‡] Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brazil

^{**} Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brazil

[§] Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO. Porto Alegre, Brazil



www.cerf-jcr.org



www.JCRonline.org

ABSTRACT

Rockett, G.C.; Barboza, E.G., and Rosa, M.L.C.C. 2016. Ground Penetrating Radar applied to the characterization of the Itapeva Dunefield, Torres, Brazil. In: Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and McCarroll, R.J. (eds.), *Proceedings of the 14th International Coastal Symposium* (Sydney, Australia). *Journal of Coastal Research*, Special Issue, No. 75, pp. 323-327. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

Subsurface data obtained from Ground Penetrating Radar (GPR) have been used in studies in various coastal plain environments. GPR applied to dune characterization and stratigraphy is well described in the literature, and enables the distinction between different depositional patterns and their delimitation. This study aimed to characterize the stratigraphy of the Itapeva dunefield, located at the municipality of Torres, north of the Rio Grande do Sul (Brazil) coastal plain, using subsurface data. This dunefield contains aeolian forms that differ from other dunefields in Rio Grande do Sul: namely, reversing dunes. The 150 and 400 MHz frequency antennas were used to collect subsurface data in dunes located in the central portion of the dunefield, with a linked GNSS system to obtain positional data. GPR data were processed, and the geospatial data were integrated to satellite images in a geographic information system. Results show that at least two different dune packages are present in the Itapeva dunefield, indicating two different depositional phases.

ADDITIONAL INDEX WORDS: *Geotechnologies, reversing dunes, stratigraphy*

INTRODUCTION

Coastal environment sedimentary subsurface records have been analyzed by many authors around the world, using geophysical data collected from Ground Penetrating Radar (GPR) methods (e.g. Shenk et al., 1993; Bristow & Jol, 2003; Havholm et al., 2004; Barboza et al., 2011; 2013, and others). High resolution GPR data allows a distinction between depositional patterns and consequently delimitation and interpretation of different deposits identified in the radar profiles. GPR have been applied to dune stratigraphic characterization in New Zealand, United States, Spain, Saudi Arabia, for example (Van Dam et al., 2003; Girardi and Davis, 2010; Gómez-Ortiz et al., 2009; Adentunji et al., 2008). In Brazil, some studies have been developed both in the north and south regions, by Oliveira et al. (2008), Buynevich et al. (2010) and Barboza et al. (2013), for example.

The Coastal Plain of Rio Grande do Sul

The Coastal Plain of Rio Grande do Sul (southern Brazil) is formed by a succession of four well-preserved lagoon-barrier depositional systems, that have been developed during the Quaternary, controlled by glacial-eustatic events (Villwock & Tomazelli, 1995). The first three lagoon-barrier systems are Pleistocenic, and the last is Holocene (Villwock & Tomazelli, 1995). Along its 600 km length, the coastal plain of Rio Grande

do Sul shows different behaviors due to its recent evolution: progradational and retrogradational patterns can be identified in distinct sectors of the coast (Dillenburg et al., 2000). Prograded sectors, in general, are stable coastal sectors, whereas regressive sectors are characterized by erosion processes.

Different geomorphological features have been developed during the Holocene barrier evolution in the coastal plain of Rio Grande do Sul. According to Villwock (1984), Villwock and Tomazelli (1995) and Hesp et al. (2005; 2007), the most common coastal features are beach ridges, foredune ridges and transgressive dunefields. Recently, studies have been directed towards identifying relations between geomorphologic features and the coastal behavior in each different sector of this coastal plain (Dillenburg et al., 2009; Rosa, 2012).

Studies in the northeast region of Rio Grande do Sul coastal plain and adjacent areas in Santa Catarina state show that this coastal sector is progradational (Barboza et al., 2011; Lima, 2012; Rockett et al., 2014; Silva et al., 2010).

Study Area Environmental Settings

The northern portion of Rio Grande do Sul coastal plain is less than 20 km wide and is formed by sedimentary deposits roughly aligned in a NE-SW direction. NE winds are the most frequent in this region, followed by S winds (Tomazelli, 1993). Located in the northern portion of Rio Grande do Sul state

DOI: 10.2112/SI75-065.1 received 15 October 2015; accepted in revision 15 January 2016.

*Corresponding author: gabriela.rockett@ufrgs.br

©Coastal Education and Research Foundation, Inc. 2016

coastal plain, the Itapeva dunefield is part of the municipality of Torres (Fig. 1). This area is different than other regions in Rio Grande do Sul coastal plain, since in this northern portion there are some geomorphological peculiarities, such as the Serra Geral Formation embasement outcrops, the Mampituba river outfall and a dunefield with reversing dunes (Tomazelli *et al.*, 2008). These characteristics, associated with the presence of relevant ecosystems contributed to the creation of a conservation unit for diversity preservation: the “Parque Estadual de Itapeva” (“Itapeva State Park”), with a total area of about 10 km² (SEMA/Rio Grande do Sul, 2006). The Itapeva dunefield is located inside this conservation unit.

In this context, this study aimed to characterize the stratigraphy of the Itapeva dunefield, focusing on the reversing dunes, using Ground Penetrating Radar subsurface data and satellite images.

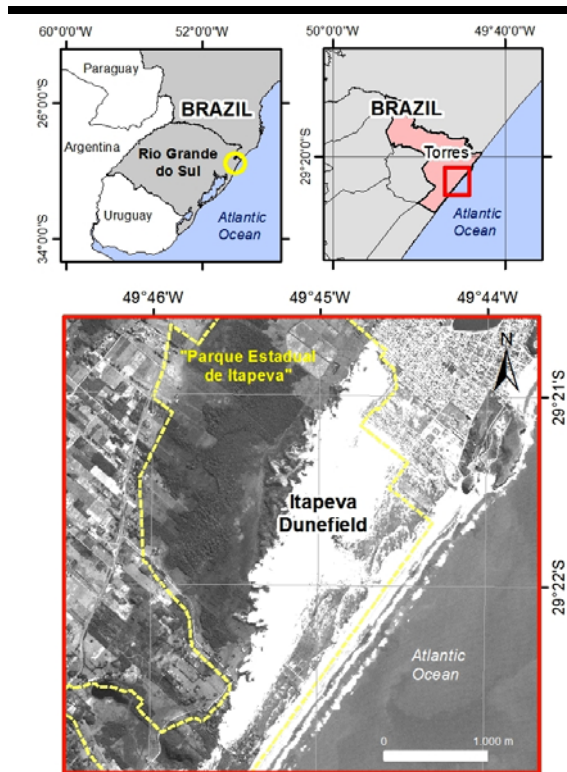


Figure 1. Location of study area: Itapeva Dunefield, Torres, Rio Grande do Sul state, Brazil.

METHODS

In order to understand the dunefield dynamics, previous data were first analyzed including satellite images and previous GPR data (Rockett *et al.*, 2014). For this study, GPR data collection was performed in the field using 150 MHz and 400 MHz frequency antennas, with a linked Global Navigation Satellite System (GNSS) to obtain the positional data. Geophysical equipment used to collect data were the SIR3000™ model from Geophysical Survey Systems, Inc. (GSSI) – 150 MHz central

frequency aerial antenna and 400 MHz central frequency contact antenna.

Four geophysical sections were analyzed in this study covering a 23 meter high and approximately 280 meters long reversing dune, located in the central portion of the Itapeva dunefield. The reversing dune crest is perpendicular to the coastline. GPR sections were collected at the same two alignments: in a cross section over the dune crest orientation and from east to west, along the crest of the dune (see GPR sections location in Fig. 2). Each section was collected with a different frequency antenna, in order to allow the identification of differences in the geophysical registers (Tab. 1).

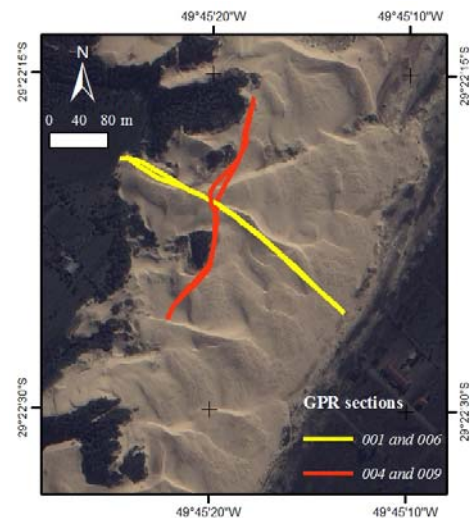


Figure 2. Spatial location of the GPR sections analyzed in this study. (Background satellite image: IKONOS RGB composition, 2006)

Table 1. GPR profiles analyzed in this study.

Profile Number	Direction	GPR section length	Antenna Frequency
004	NE-SW	337,6 m	400MHz
009	NE-SW	346,1 m	150 MHz
001	SE-NW	378 m	400 MHz
006	SE-NW	475 m	150 MHz

GPR data processing were performed using two radar softwares: RADAN™ (Geophysical Survey Systems, Inc. - GSSI) and PRISM 2.5 (Radar Systems, Inc.). The first data processing was the background removal, a spatial filter for removing background systematic data noise. After this, a frequency filter was applied for removal of frequencies higher and lower than the central antenna frequency (Ormsby bandpass filter). Furthermore, an exponential gain to expand the attenuated signals in depth was applied.

The dielectric constant (k) was used for time to distance depth conversion. For Rio Grande do Sul Coastal Plain, the k value used is 10, according to studies that analyzed GPR data and drill holes (Dillenburg *et al.*, 2011).

After GPR section processing, topographic correction was necessary for correct data analysis. GNSS data were processed by triangulation with other stations from the Brazilian Network

for Continuous Monitoring of GNSS Systems. Then, a table was generated, with the geodetic coordinates for each point collected in the GPR sections alignment, in order to make the topographic corrections. The datum used was WGS-84.

Data interpretation followed seismic stratigraphy principles, with adaptations due to the high resolution of GPR data, according to Neal (2004). The criteria used for interpretation of seismic reflectors were: terminations, amplitude, continuity and geometry.

A project was built in a Geographic Information System (GIS), in order to integrate satellite images data and the GNSS positioning data. The integration of data in a GIS allowed the location of GPR sections and provided a better understanding of the study area context, supporting the GPR data interpretation.

RESULTS

Four GPR sections were analyzed in this study. The geophysical profiles taken over one reversing dune at Itapeva dunefield show a number of reflectors of varying intensity and geometry (Fig. 3). The analysis of the GPR data results in the identification of architectural elements related to different sand deposits of the dune. GPR data collected with a 150 MHz antenna reached 25 meters in depth, and data from the 400 MHz antenna reached 20 meters.

In the 150 MHz profiles, it is possible to identify a continuous and irregular reflector approximately from 5 to 7.5 meters depth below the dune surface. The same reflector is not as clear, but also appears in the 400 MHz section. In the dune crest transversal GPR sections (004 and 009) it is possible to identify the same continuous irregular reflector. The interpretation for this reflector, which is not horizontal but irregular, is that it is a 2nd order surface, indicating a dune above another dune. At least one 2nd order surface was identified in the GPR sections. This surface is the limit of two phases of dunes.

The stratigraphic record shows exactly what is observed on the surface in the Itapeva dunefield: complex and distinctly orientated reversing dunes developing on the top of other reversing dunes (Fig. 3). Successions of the same aeolian radarfacies can be observed in all sections, and there are differences between them in orientation. In general, GPR data show internal structures variations, due to the profiles orientation.

In both 150 MHz and 400 MHz profiles, high angle continuous reflectors dipping landward were identified in the NW portion of the sections 001 and 006. This dunefield behavior is observed in the field, in many portions of its west boundary.

What else is observed in the field and in the satellite images, is many large reversing dunes and other smaller dunes, which have distinct orientation slipfaces according to the predominant wind direction during the year. The orientation can be observed in the stratigraphic record. Fig. 4 shows reflectors with different angles on the top of an active reversing dune. This dune is limited by the 2nd order surface. The same reversing behaviour and different angles are observed above the 2nd order surface, on the top of the dune record, above 5 meters depth. These internal structure variations allow identification and delimitation of 3rd order surfaces in the dune.

DISCUSSION

On the basis of the available data (GPR profiles) analyses, and according to the literature, GPR antenna frequency is directly proportional to data resolution, and therefore more structural details can be found. In the case of this study, high frequency antenna data make it difficult to identify the limits of surfaces in this aeolian system.

In the 150 MHz GPR sections it was easier to define bounding surfaces. Results show that at least two different dune packages are present in the Itapeva dunefield, indicating two different depositional phases, resulting in a complex superposition of reversing dunes. 2nd order surfaces separate different dune phases.

In the field it is possible to observe the aeolian dynamics, and the superposition of dunes. Subsurface records show variations in internal aeolian structures, indicating variations of migration direction of small sand bodies or dunes. In fact, the wind dynamics in this region are peculiar, due to the close presence of the Serra Geral high hills, and the confined space in which the whole dunefield is located, making for a confined dunefield development.

CONCLUSIONS

In the Itapeva dunefield's subsurface GPR profiles, internal structure variations can be identified in the reversing dunes. In comparison to other dunefields in the Rio Grande do Sul coastal plain, a complex dunefield has been developed, driven by a bidirectional wind pattern. GPR data reached a maximum of 25 meters depth, allowing subsurface characterization of the reversing dune located in the central part of the dunefield. It was possible to identify in the GPR data different strata that are the geological record of the aeolian dynamics observed in fieldwork at the dunefield. 2nd and 3rd order surfaces are present in the Itapeva aeolian deposits.

A set of dune packages were identified in GPR data. Considering that in the Itapeva dunefield there are reversing dunes higher than the one analyzed in this study, it is possible that other aeolian dune packages could be found in deeper profiles.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank CNPq for research grants, and Patrick Hesp for a little editing assistance. Rockett thanks CNPq for her PhD scholarship.

LITERATURE CITED

- Adetunji, A.Q., Al-Shuhail, A. and Korvin, G. 2008. Mapping the internal structure of sand dunes with GPR: A case history from the Jafurah sand sea of eastern Saudi Arabia. *The Leading Edge*, 27: 1446-1452.
- Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C.; Dillenburg, S.R. & Tomazelli, L.J. 2013. Preservation Potential of Foredunes in the Stratigraphic Record. *Journal of Coastal Research*, v. SI 65, p.1265-1270.

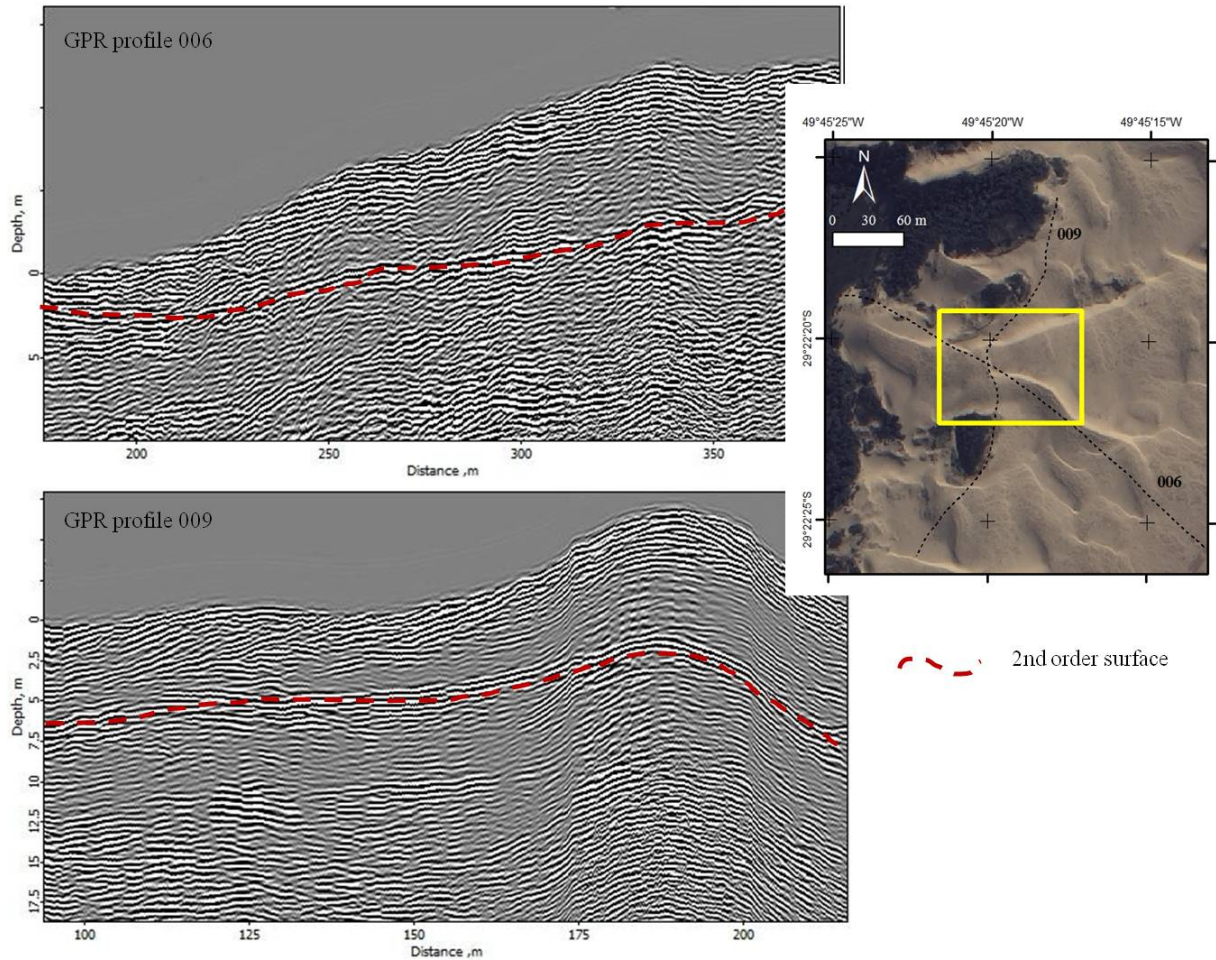


Figure 3. 150 MHz GPR sections in different orientations showing subsurface record of 2nd order surface (red dashed line) and satellite image showing the dunes superposition (detail of GPR profiles position in surface in the yellow box)

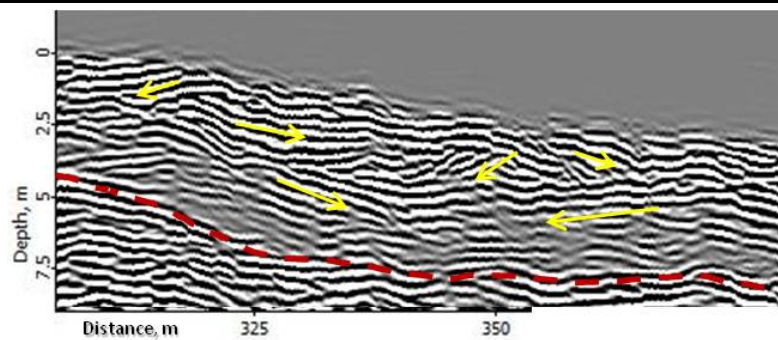


Figure 4. Detail of GPR profile 009 (150 MHz): different reflector angles (yellow arrows) and 2nd order surface (dashed red line).

- Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C.; Hesp, P.A.; Dillenburg, S.R.; Tomazelli, L.J. & Ayup-Zouain, R.N. 2011. Evolution of the Holocene Coastal Barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) - a new approach with GPR data. *Journal of Coastal Research*, v. SI 64, p.646-650.
- Bristow, C.S. & Jol, H.M. 2003. An introduction to ground penetrating radar (GPR) in sediments. London, Geological Society, *Spec.Publications*, 211(1): 1-7.
- Buynevich, I.V.; Souza Filho P.W.M.; Asp, N.E. 2010. Dune advance into a coastal forest, equatorial Brazil: a subsurface perspective. *Aeolian Research*, 2, 27-32.
- Dillenburg, S.R.; Tomazelli, L.J. & Barboza, E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, v.203, n.1-2, p.43-56.
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G. & Rosa, M.L.C.C. 2011. Ground Penetrating Radar (GPR) and Standard Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. SI 64, p. 651-655.
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Hesp, P.A., Clerot, L.C.P. & Ayup-Zouain, R.N. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A. (Org.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, v.107, p.53-91.
- Girardi, J.D. and Davis, D.M. 2010. Parabolic dune reactivation and migration at Napeague, NY, USA: Insights from aerial and GPR imagery. *Geomorphology*, 114(4): 530-41.
- Gómez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., Rodríguez, I., Sánchez, M.J. and Montoya, I. 2009. The internal structure of modern barchan dunes of the Ebro River Delta (Spain) from ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 68(2): 159-70.
- Havholm, K.G., Ames, D.V., Whittecar, G.R., Wenell, B.A., Riggs, S.R., Jol, H.M., Berger, G.W & Holmes M.A. 2004. Stratigraphy of back-barrier coastal dunes, Northern North Carolina and Southern Virginia. *Journal of Coastal Research*, 20(4): 980-999.
- Hesp, P.A.; Dillenburg, S.R.; Barboza, E.G.; Tomazelli, L.J.; Ayup-Zouain, R.N.; Esteves, L.S.; Gruber, N.L.; Toldo Jr., E.E.; Tabajara, L.L.C.A., and Clerot, L.C.P. 2005. Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 77, 493-508.
- Hesp, P.A.; Dillenburg, S.R.; Barboza, E.G.; Clerot, L.C.P.; Tomazelli, L.J., and Ayup-Zouain, R.N. 2007. Morphology of the Itapeva to Tramandaí transgressive dunefield barrier system and mid- to late Holocene sea level change. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 407-414.
- Lima, L.G. 2012. Estratigrafia e evolução holocênica de uma barreira costeira transgressiva-regressiva, litoral norte do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Federal University of Rio Grande do Sul, Doctorate Thesis, 128 p.
- Neal, A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-Science Reviews*, 66(3-4):261-330.
- Oliveira Jr., J.G., Medeiros, W.E., Tabosa, W.F. and Vital, H. 2008. From barchan to domic shape: evolution of a coastal sand dune in northeastern Brazil based on GPR survey. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26(1): 5-20.
- Rockett, G.C.; Barboza, E.G., and Rosa, M.L.C.C. 2014. Caracterização da Barreira Holocênica do Extremo Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul através de Dados de Georradar. *Resumos Expandidos do VI Simpósio Brasileiro de Geofísica*, (Porto Alegre, RS), paper SBGF_4692.
- Rosa, M.L.C.C. 2012. Geomorfologia, estratigrafia de seqüências e potencial de preservação dos sistemas Laguna-Barreira do Quaternário Costeiro do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Federal University of Rio Grande do Sul, Doctorate Thesis, 246p.
- Shenk, C.J.; Gautier D.L.; Olhoeft, G.R., and Lucius, J.E. 1993. Internal structure of an Aeolian dune using ground-penetrating-radar. *Spec. Publ. Ass. Sediment*, 16, 61-69.
- SEMA/RIO GRANDE DO SUL – Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 2006. Plano de Manejo do Parque Estadual de Itapeva. Porto Alegre: SEMA. 274p.
- Silva, A.B.; Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C, and Fracolossi, F.G. 2010. Caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície no setor meridional da Planície Costeira Sul de Santa Catarina. *Gravel*, 8(1): 1-7.
- Van Dam, R.L., Nichol, S.L. and McLean, R.F. 2003. GPR stratigraphy of a large active dune on Parengarenga Sandspit, New Zealand. *The Leading Edge*, 865-881.
- Tomazelli, L.J. 1993. O Regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, 20(1): 18-26.
- Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R., Barboza, E.G. and Rosa, M.L.C.C. 2008. Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos de Cidreira e Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 35: 47-55.
- 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., and Tomazelli, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, 8: 1-45.

CAPÍTULO 5. GESTÃO COSTEIRA

Este capítulo é composto pelo artigo no qual as análises realizadas envolvem a temática gestão costeira.

5.1 GESTÃO INTEGRADA DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NA ZONA COSTEIRA - PARQUE ESTADUAL DE ITAPEVA, TORRES-RS, BRASIL

Artigo submetido à *Revista de Gestão Costeira Integrada*

[JICZM] Submission Acknowledgement

1 mensagem

Editor <rgci.editor@gmail.com>

22 de outubro de 2016 11:45

Para: Gabriela Camboim Rockett <gabriela.rockett@gmail.com>

A seguinte mensagem foi enviada em nome de Revista de Gestão Costeira Integrada.

Gabriela Camboim Rockett:

Thank you for submitting the manuscript, "INTEGRATED MANAGEMENT OF CONSERVATION UNIT IN COASTAL ZONE – ITAPEVA STATE PARK, TORRES-RS, BRAZIL" to Journal of Integrated Coastal Zone Management. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL: <http://www.aprh.pt/ojs/index.php/rgci/author/submission/55>
Username: grockett

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Editor
Journal of Integrated Coastal Zone Management

Revista de Gestão Costeira Integrada
<http://www.aprh.pt/ojs/index.php/rgci>

**GESTÃO INTEGRADA DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NA ZONA COSTEIRA -
PARQUE ESTADUAL DE ITAPEVA, TORRES-RS, BRASIL**

**INTEGRATED MANAGEMENT OF CONSERVATION UNIT IN COASTAL ZONE –
ITAPEVA STATE PARK, TORRES-RS, BRAZIL**

Gabriela Camboim ROCKETT^{1,2}, Luana PORTZ^{2,5}, Samanta da Costa CRISTIANO^{1,2},
Eduardo Guimarães BARBOZA^{1,3}, Nelson Luiz Sambaqui GRUBER^{2,3,4}

¹ *Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO), Instituto de Geociências (PPGGEO), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500 Bloco I Prédio 43113 Sala 207 - Porto Alegre - RS - Brasil CEP 91501-970 Caixa Postal 15001.*

² *Laboratório de Gerenciamento costeiro (LABGERCO) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil CEP 91501-970 Caixa Postal 15001.*

³ *Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus do Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001*

⁴ *Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500. Prédio 43113 - Sala 203 - Campus do Vale CEP: 91501 900 - Porto Alegre - RS - Brasil.*

⁵ *Research group in Environmental Management and Sustainability. Faculty of Environmental Sciences. Universidad De La Costa. Calle 58 #55-66, 080002, Barranquilla, Atlántico, Colombia.*

ABSTRACT

The National System of Conservation Units was created in order to preserve fragile environments and that need to be protected in Brazilian territory. In Torres municipality, located in the northern coast of Rio Grande do Sul state (RS), there are beaches with singular scenic attractivity in southern Brazilian coast, due to natural characteristics, and five Conservation areas/units. The Itapeva State Park (Parque Estadual de Itapeva – PEVA -, in Portuguese), where this study was conducted, was created in 2002, in order to protect dunefields, swamps and native vegetation in the RS coastal zone, however, anthropic pressure and its consequences continues until today. In this study a diagnosis of the environmental impacts in the north limit of the PEVA conservation unit was carried out, as well as the local community characterization and its relationship with the environment in which they live, and a survey of existent management actions in the city was conducted, in order to subsidize the conservation unit management. The methods used were interviews, field observations and analysis of documents. Among the observed impacts stands out: disposal of solid waste, water contamination due to lack of sewage collection network, sand removal, flooding due to ongoing intervention of water course and groundwater outcropping, and vehicles movement on the beach. Despite urban infrastructure problems reported in the interviews, local people like the place they live because of the characteristics related to the environment, and most respondents are frequenter of Torres beaches. For 58% of respondents the existence of the PEVA is good. However, they criticize the instability of

living inside the PEVA conservation unit limits, with the possibility of removal. Existent management actions in the municipality are dunes and beaches management (from the “Orla Project”), urban planning (PEVA Management Plan, Municipal Environmental Licensing, Master Plan of The Municipality, PEVA Strategic Plan for Land Regularization) and environmental education actions (projects: “Praia Limpa”, “Torres - minha história, nosso mundo!” and “Guardiões da Praia”). Even with the control and supervision to prevent new buildings, the enclosure of the northern boundary of PEVA could partly solve other environmental impacts diagnosed. Another important measure for the area conservation is the development of a beach use ordering plan for the beach close to PEVA, since there is no way to separate the beach environment from the adjacent environments. It is necessary integrated management actions to sort the uses of the beach close to PEVA (with restricted vehicle access and facilitation of pedestrian access to the beach), which should be conducted together with education actions for sustainable tourism in the region. For the conservation of the environments protected by PEVA, it is necessary the integration of municipal and state levels in the management actions, which should have as guiding point the knowledge and the needs of the local population.

Key words: Coastal dunes, Integrated management, conservation unit

RESUMO

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação foi criado visando conservar ambientes frágeis e que necessitam ser protegidos no território Brasileiro. O município de Torres, localizado no litoral norte do Rio Grande do Sul, possui praias com atratividade cênica singular no sul do país, por suas características físicas naturais, e cinco áreas protegidas. O Parque Estadual de Itapeva (PEVA), onde se desenvolveu esse estudo, foi criado em 2002 a fim de proteger o campo de dunas, banhados e a mata nativa da zona costeira do estado, porém a pressão antrópica e suas consequências continuam até hoje. Neste estudo foi realizado um diagnóstico dos impactos ambientais na região norte do PEVA, caracterização da comunidade local e sua relação com o ambiente em que vivem, e o levantamento das ações de gestão existentes no município, a fim de subsidiar a gestão da UC. Os métodos utilizados foram entrevistas, observações de campo e análise de documentos. Dentre os impactos constatados visualmente destaca-se: disposição de resíduos sólidos, contaminação hídrica por falta de rede coletora de esgoto, remoção de areia, alagamento pela intervenção em curso d'água e freático aflorante, e a circulação de veículos na praia. Apesar dos problemas de infraestrutura urbana relatados nas entrevistas, os moradores gostam do local onde vivem por características ligadas ao meio ambiente, sendo que a maioria é frequentador das praias de Torres. Para 58% dos entrevistados a existência do PEVA é boa. Contudo, foi criticada a instabilidade de morar no local pelo fato de grande parte das residências em que se efetuaram as entrevistas estarem dentro do PEVA, com possibilidade de remoção. As ações de gestão existentes no município consistem em Manejo de Praias e Dunas (através do Projeto Orla), o Ordenamento Urbano (através do Plano de Manejo do PEVA,

Licenciamento Ambiental Municipal, Plano Diretor Municipal e Plano Estratégico de Regularização Fundiária) e ações de Educação Ambiental (com os Projetos Praia Limpa, "Torres - minha história, nosso mundo!" e "Guardiões da Praia"). Mesmo com o controle e a fiscalização para impedir novas obras, o cercamento do limite norte do PEVA poderia solucionar em parte os demais impactos ambientais diagnosticados visualmente. Outra medida importante para a conservação da área é o desenvolvimento de um plano de ordenamento do uso da faixa de praia adjacente à UC, visto que não há como dissociar a faixa de praia dos ambientes adjacentes. São necessárias ações de gestão integrada para ordenar os usos da faixa de praia adjacente ao PEVA (com o acesso de veículos restrito e a facilitação do acesso de pedestres à praia) as quais devem ir ao encontro de um trabalho de educação para o turismo sustentável na região. Conclui-se que para a conservação dos ambientes protegidos pelo PEVA, é necessária a integração das esferas estadual e municipal nas ações de gestão, que devem ter como ponto norteador o conhecimento e as necessidades da população local.

Palavras-chave: Dunas costeiras, Gestão integrada, Unidade de conservação.

1. INTRODUÇÃO

A intensa ocupação da região costeira brasileira vem acarretando na destruição de ecossistemas e ambientes de importância ecológica, geológica e paisagística. No litoral do Rio Grande do Sul (RS) não é diferente, sendo o setor norte o mais intensamente ocupado e afetado por problemas decorrentes desta ocupação (Strohaecker, 2007; Tomazelli *et al.*, 2008; Portz, *et al.*, 2010; Portz, *et al.*, 2014). A fim de conservar ambientes frágeis e que necessitam ser protegidos, o governo brasileiro instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (República Federativa do Brasil, 2000), que é constituído pelo conjunto de Unidades de Conservação (UC) criadas por ato do poder público (federal, estadual ou municipal). Desde as primeiras iniciativas de proteção de ambientes no Brasil, são comuns as relações de conflito entre as populações locais e os órgãos gestores ou dos interesses protecionistas (Gama *et al.*, 2005; Almudi & Kalikoski, 2010; Ferreira, 2004). UC cercadas por áreas urbanizadas sofrem com a pressão antrópica, que gera reflexos no meio físico e no meio socioeconômico, dificultando o planejamento, a gestão e ações de manejo mais eficazes (Gama *et al.*, 2005).

O município de Torres, localizado no extremo norte da planície costeira do RS, é uma região com características peculiares e possui cinco (5) UC em seu território político-administrativo (Figura 1). O município de aproximadamente 160 km² e 17 km de orla estende-se desde o Rio Mampituba, ao norte, até a praia Paraíso, ao sul (limite com o município de Arroio do Sal). Atualmente, a costa do município encontra-se totalmente ocupada ou já loteada, com exceção das áreas de UC (Parque Estadual de Itapeva e Parque da Guarita) e uma pequena porção ao

sul do município. Conforme Cristiano *et al.* (2016), apesar de composto totalmente por praias urbanas, Torres é o município do litoral do RS com praias de maior atratividade cênica para o turismo, devido as suas características físicas naturais relevantes, com ocorrência de afloramentos rochosos, formando falésias e embaiamentos.

O processo de urbanização do município (consultar SI-I), com o crescimento rápido dos empreendimentos imobiliários (“boom”) na década de 80 e a consolidação do turismo impulsionaram o surgimento de diversos bairros nas periferias da cidade. Alguns dos novos bairros foram formados por invasões em áreas definidas como de proteção ambiental (APA) ou particulares, que surgiram sem nenhum controle por parte do Poder Público no que se refere ao planejamento urbano (Pereira, 2004).

Em relatório elaborado para o órgão ambiental estadual (FEPAM), Tomazelli (2001) indicava o campo de dunas de Itapeva como um dos prioritários para a conservação na planície costeira do RS. Em 2002 foi criado o Parque Estadual de Itapeva (PEVA), UC de proteção integral com aproximadamente 1.000 ha (Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2002), criada com o objetivo básico de conservar os recursos naturais existentes na formação Mata Atlântica do RS, e as espécies silvestres (fauna e flora) dos ecossistemas de dunas, banhados, mata paludosa e mata de restinga. Atualmente esta área constitui-se como um dos últimos setores costeiros com o gradiente ecossistêmico praia, dunas e lagoas preservado do litoral norte do RS. A UC PEVA está muito próxima do Parque da Guarita, que também abriga uma faixa de praia adjacente, e de uma drenagem que se origina no limite norte do PEVA e desagua na Praia (Riacho Doce).

Por localizar-se próximo a maior área urbanizada do município (Figura 1) e por possuir faixa de praia em seus limites diretos, a UC PEVA sofre constantemente pressão pelo adensamento urbano e especulação imobiliária, além dos impactos gerados pelo turismo no verão. A população fixa da cidade é de 12.668 habitantes (IBGE, 2010), sendo estimado para o período de verão um aumento em mais de 100.000 pessoas.

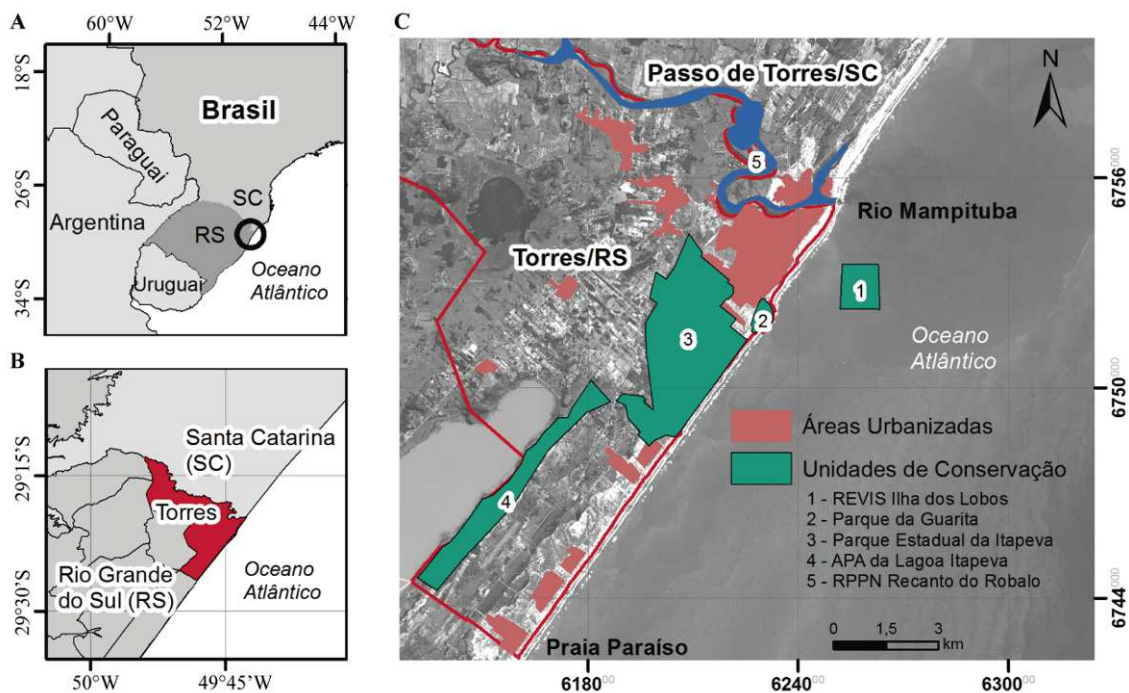


Figura 1 - Contexto locacional da região estudada: (a) localização no do sul do Brasil; (B) localização do município de Torres; (c) identificação das Unidades de Conservação e áreas urbanizadas de Torres. Fontes: Limites territoriais - IBGE (2015); Unidades de Conservação - MMA (2015); Áreas Urbanizadas - baseado em IBGE (2005; 2011) e mapeadas em imagens CBERS-2B em escala de 1:100.000.

Dado o processo de desenvolvimento urbano-ambiental da região, este estudo obteve um diagnóstico dos impactos ambientais na região norte do PEVA, estabelecendo a relação da população residente no entorno imediato do limite norte do Parque, e das ações de gestão existentes a nível municipal e estadual em Torres, dando subsídios para propostas de gestão para a conservação dos ambientes costeiros na UC.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente estudo foi realizado através das seguintes etapas: (i) diagnóstico dos impactos ambientais presentes no PEVA e seu entorno imediato; (ii) caracterização dos moradores presentes dentro do limite norte do parque, e sua percepção do ambiente, e (iii) diagnóstico de ações de gestão já empregadas na região. As informações levantadas nestas três etapas foram integradas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que deu subsídio às análises espaciais e às propostas de gestão.

2.1. Diagnóstico dos impactos ambientais

O diagnóstico dos impactos ambientais foi realizado através de observações de campo entre os anos de 2014 e 2015 e revisão bibliográfica. Por *impacto ambiental*, neste trabalho entende-se a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente pela ação/atividade humana e que afetam direta ou indiretamente a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; ou a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

2.2. Caracterização do perfil dos moradores e sua relação com o ambiente

A caracterização do perfil dos moradores e sua relação com o ambiente foi avaliado através da construção do perfil dos moradores que residem dentro do limite norte da UC, através de entrevistas com perguntas semiestruturadas (fechadas e abertas), durante três dias consecutivos no mês de junho de 2015. A estimativa através de imagens de satélite é de aproximadamente 108 domicílios nesta situação, sendo entrevistados 27 domicílios deste total, aplicando-se um questionário com 41 perguntas. A amostra deste questionário encontra-se no Anexo 1, englobando temas como: 1) informações pessoais, (2) informações sobre o domicílio e (3) informações sobre o bairro e o ambiente.

2.3. Diagnóstico de ações de gestão

Nesta etapa foram investigadas todas as ações e medidas de gestão tomadas na região com relação às dunas costeiras, existentes no nível federal, estadual e municipal. Para obter tais informações foram realizadas entrevistas com a população, com o gestor do PEVA, bem como, entrevistas com funcionários das secretarias municipais e representantes de organizações não governamentais (ONGs) atuantes em Torres, além de buscas em documentos de órgãos públicos, bibliotecas e internet.

3. RESULTADOS

3.1 Impactos ambientais

Dentro do contexto urbano em que está inserido, o PEVA sofre constantemente as consequências desta proximidade. As ocupações irregulares na região situada ao norte do atual limite do PEVA resultam em impactos ambientais desde a década de 80, quando se iniciou a ocupação de áreas de dunas e do riacho, que antes estavam previstas como área de

proteção ambiental no Plano Diretor Municipal (MUNICÍPIO DE TORRES-RS, 1995) (Figura 2). O antigo curso de água natural não respeitado, não sofreu as intervenções de engenharia necessárias para o seu correto escoamento, o que acarreta em constantes alagamentos durante períodos de intensa precipitação, causando dificuldades de deslocamento aos moradores e transeuntes. Atrelado às condições naturais da área, onde o lençol freático é pouco profundo e o terreno arenoso (alta porosidade), a inexistência de rede de esgoto na região causa a contaminação direta do solo e das águas.

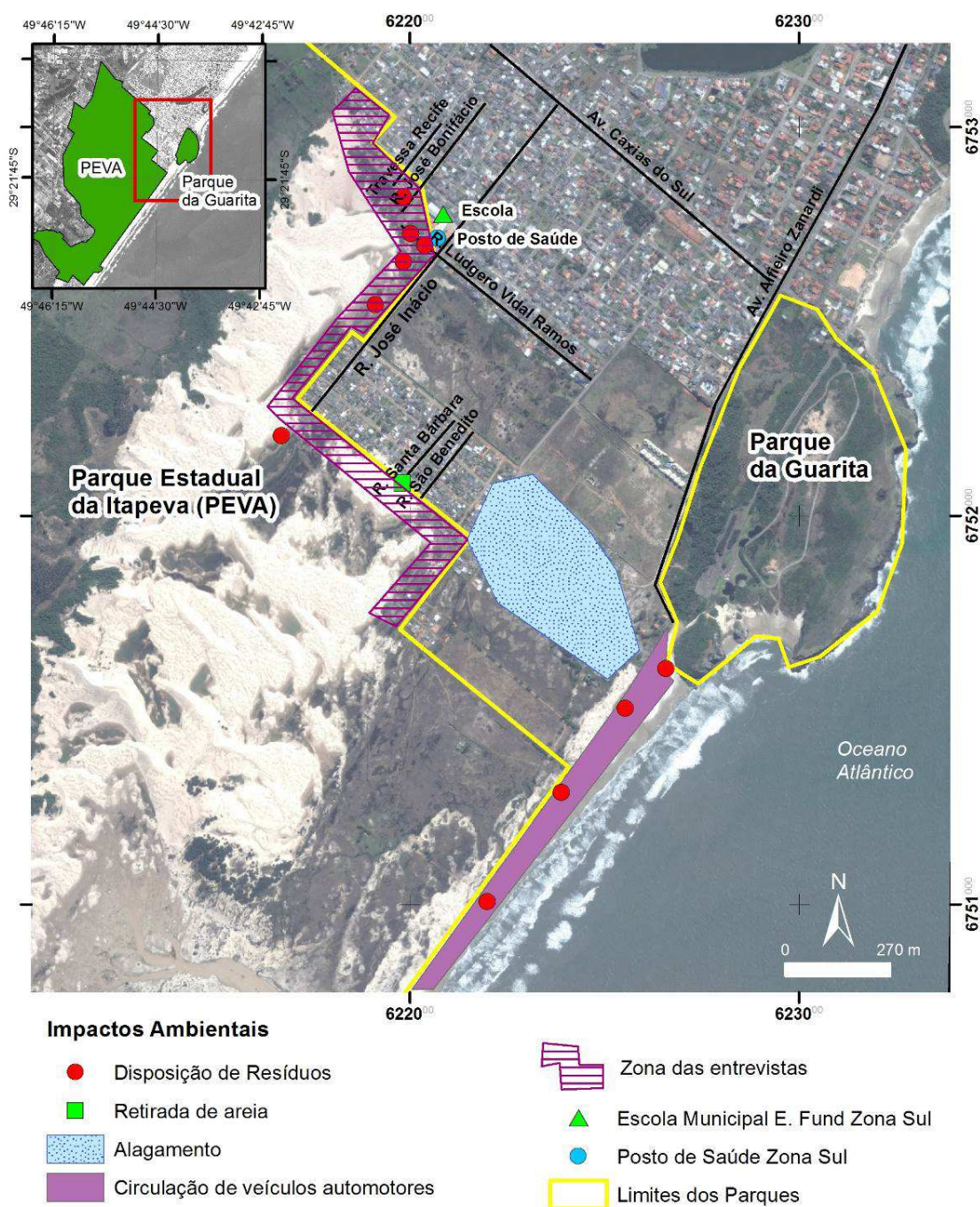


Figura 2 - Espacialização dos impactos ambientais no limite norte do PEVA e adjacências (imagem CNES/Astrium do GoogleEarth, 2013).

Outro problema frequente na região é a disposição irregular de resíduos (Figura 3A, B, D), mesmo sendo realizada a coleta seletiva três vezes por semana no bairro. É comum e frequentemente visível a disposição de resíduos de diversos tipos (eletrodomésticos, madeira, espumas, latas, galhos, entre outros) em terrenos não ocupados e na área de dunas, dentro do PEVA. A Rua Ludgero Vidal Ramos, localizada bem próxima à escola Escola Municipal de Ensino Fundamental Zona Sul e ao posto de saúde da região (posto de saúde Zona Sul) possui grande quantidade de resíduos depositados. Os pontos críticos de disposição de resíduos são as áreas de fácil acesso de carroças, ao longo ou ao final das ruas que terminam nos limites do PEVA (identificadas na Figura 2). Os resíduos na faixa de praia e dunas são dispersados principalmente durante a época de veraneio em Torres, assim como observado em outras praias do litoral norte do RS (Portz *et al.*, 2010; 2011b).



Figura 3 - Impactos ambientais no limite norte do PEVA: (a) lençol freático aflorante e disposição de resíduos; (b) carroças dispendo inadequadamente de resíduos sólidos dentro do PEVA; (c) avanço de sedimentos na Rua Santa Bárbara; (d) animais circulando livremente pelo PEVA, em meio aos resíduos e (e) tráfego e estacionamento de veículos na faixa de praia e dunas adjacentes ao PEVA.

Outro aspecto observado é a circulação livre de animais domésticos (cavalos, cachorros, gatos) dentro do PEVA (Figura 3D), que também pode gerar impactos ambientais à medida que estes podem caçar a fauna nativa, e disseminar parasitos.

O posicionamento da infraestrutura urbana próximo ao campo de dunas interfere na movimentação das dunas, resultando no avanço de sedimentos sobre as ruas e casas (Figura 3C). A remoção deste sedimento por meio de caminhões da prefeitura, mediante autorização do PEVA, reduz o estoque de sedimento do campo de dunas, assim como de possível vegetação associada.

Na faixa de praia, o principal impacto observado é o acesso livre de veículos automotores (Figura 3E), intensificado durante o verão. É possível observar veículos estacionados ou trafegando próximos ou sobre os cordões de dunas frontais, interferindo também neste ecossistema.

3.2 Perfil e percepção ambiental dos moradores do limite norte do PEVA

3.2.1 Perfil demográfico e socioeconômico da comunidade

Nos 27 domicílios avaliados, o número total de residentes é de 91 pessoas, havendo a predominância da faixa etária entre 10-19 anos (30%), seguido de adultos entre 30-39 anos (15%), 20-29 anos (14%) e 40-49 anos (14%). Em cada residência o número de moradores varia de 1 a 7 pessoas, sendo majoritariamente três pessoas (30%), duas (22%) ou quatro (22%) por residência. 70% dos entrevistados são do sexo feminino e 30% do sexo masculino.

A maioria é natural de Torres (59%) sendo os demais provenientes de diversas cidades do RS (30%) e três famílias de outro estado (11%). Os motivos das mudanças variam, os mais comuns foram por motivos de família, busca por melhores condições de vida, por trabalho, para curtir a aposentadoria e por motivos de saúde. 62% dos entrevistados possuem família que reside no mesmo bairro.

Quanto ao tipo de domicílio, prevalecem residências de alvenaria (52%) e madeira (48%), sendo que algumas moradias se apresentavam em condições precárias. Esses imóveis foram em sua grande maioria adquiridos através de contratos de compra e venda e muitas casas não possuem escritura. Dos 27 entrevistados, três relataram morar no local há mais de 16 anos, sendo que a maior parte das residências (52%) foi construída entre 2000 e 2005.

Através da análise dos dados, foi possível constatar que a maior parte dos moradores residentes nos domicílios entrevistados não concluiu o Ensino Fundamental (Figura 4A).

Entretanto, em todas as residências com presença de crianças e/ou adolescentes, as mesmas frequentavam a creche ou escola.

Os entrevistados possuem em sua grande maioria baixa renda mensal média (Figura 4B) e em alguns domicílios foi destacada a dificuldade de conseguir empregos fora do período de veraneio. Nenhuma família declarou possuir renda superior a cinco salários mínimos. No que diz respeito à ocupação dos entrevistados, 30% possuem emprego formal, 19% são donas de casa, 15% aposentados, 15% desempregados e 12% trabalham em serviços sazonais ligados ao turismo.

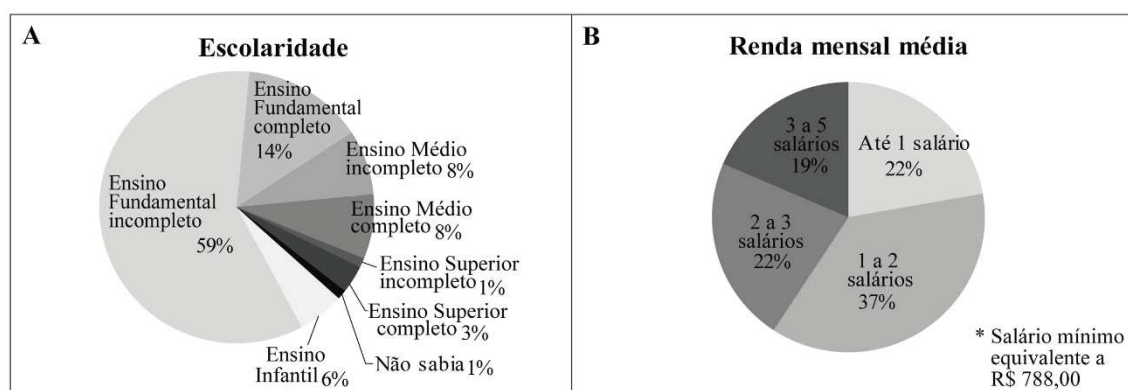


Figura 4 – Dados obtidos com as entrevistas, relativos ao perfil dos moradores do limite norte do PEVA: (a) dados referentes a escolaridade; (b) dados referentes a renda.

3.2.2 Infraestrutura e geração de impactos

O principal item destacado pelos entrevistados foi a deficiência na infraestrutura do local (29%), caracterizada pela falta de iluminação pública, calçamentos, pavimentação, áreas de lazer e a ausência de um sistema de tratamento de esgotos e drenagem urbana, o que acarreta alagamentos frequentes na região, principalmente na área do antigo Riacho Doce. Apesar dos problemas relatados, quando questionados se gostariam de morar em outro lugar, 60% dos entrevistados recusariam.

A coleta de resíduos sólidos domiciliar é realizada pela prefeitura municipal, três vezes por semana e todos os domicílios relataram que utilizam o serviço, à exceção de um que declarou queimá-los. Entretanto, mesmo com a oferta desse serviço de limpeza, há grande quantidade de resíduos descartada em locais inadequados. A coleta seletiva de resíduos (seco e orgânico) não é realizada, alguns moradores relataram que separam seus resíduos, mas os mesmos são recolhimento em um sistema único. Também foi constatado que existem moradores da região que vivem da coleta e comércio de resíduos sólidos, com foco em PET, latas e papelão, de maior valor agregado.

Os entrevistados relatam que as principais fontes de descarte irregular nas imediações e dentro do PEVA são através de outros residentes do bairro e da ação de carroceiros, no período da noite. Os mesmos reclamam da falta de fiscalização por parte dos gestores do parque e da Prefeitura.

O fornecimento de energia elétrica e o abastecimento de água são feitos por redes gerais de distribuição na maioria das residências. Entretanto, existem moradias que não possuem energia elétrica e água tratada (7%). O abastecimento de água por poço foi relatado em 19% das residências. A disposição dos efluentes líquidos é feita através de fossas em todas as residências entrevistadas.

A situação em que se apresenta o espaço físico do bairro é bastante criticada pelos moradores. Quando questionados sobre as deficiências do local os principais itens citados foram a falta de pavimentação (26,98%) e iluminação (22,22%) das ruas e a ausência de farmácias (12,69%). Várias famílias também reclamaram da falta de manutenção e fiscalização no bairro, principalmente da questão dos resíduos sólidos, que são depositados irregularmente em terrenos baldios e permanece longo período de tempo sem recolhimento, resultando em locais propícios para o desenvolvimento de pragas (ratos e mosquitos) e disseminação de epidemias. Outros itens citados foram falta de água canalizada, falta de escolas de ensino na região, inexistência de estruturas de lazer e ausência de transporte/linha fixa. Há somente uma escola (Escola Municipal de Ensino Fundamental Zona Sul) e um posto de saúde no bairro (posto de saúde Zona Sul).

3.2.3 Atitudes da comunidade local com relação ao Parque Estadual de Itapeva

Quando questionados sobre o que gostam no local é possível perceber que os principais tópicos citados pelos moradores têm relação direta com o meio ambiente. Foi destacada a tranquilidade/silêncio do lugar (36%) e a paisagem/natureza (25%). Já quando questionados sobre o que não gostam no local, as respostas variaram muito (Figura 5A). Mesmo com a deficiência na infraestrutura do local, quando questionados se gostariam de morar em outro lugar, 60% dos entrevistados recusaria.

Referente à relação dos moradores com o ambiente em que moram, a maioria dos entrevistados relatou que costuma frequentar a praia (Figura 5B), sendo as mais frequentadas a praia da Guarita (31%) e praia da Cal (31%), sendo estas as mais próximas da região onde vivem.

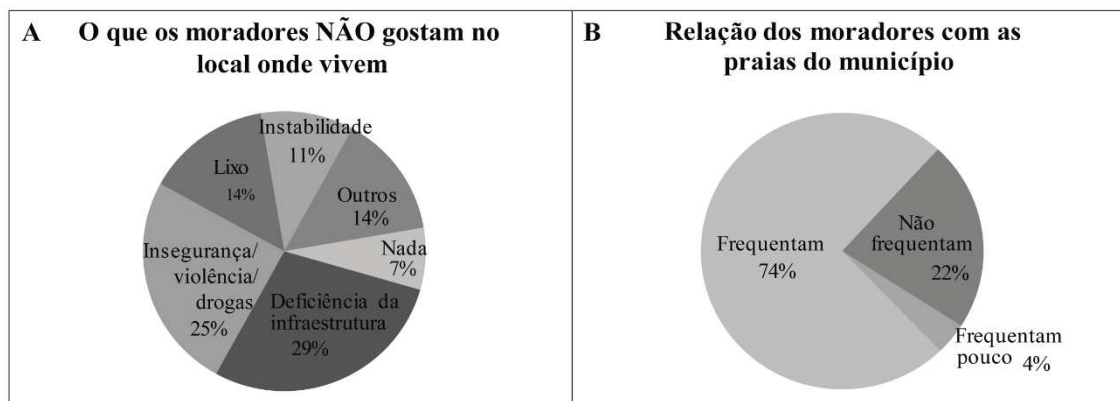


Figura 5 – Dados obtidos com as entrevistas, relativos as atitudes dos moradores do limite norte do PEVA: (a) dados referentes a suas insatisfações; (b) dados referentes a relação com a praia.

Do total de famílias entrevistadas, 21 disseram estar cientes da existência de uma UC na região, sendo que todos eles sabiam identificar se sua residência estava ou não situada dentro dos limites da UC. Para 58% dos entrevistados a existência do PEVA é considerada boa, devido à preservação do meio ambiente e das paisagens naturais do local. Outros 21% consideram a existência da UC como sendo ruim principalmente pelo fato de que muitas famílias deverão ser realocadas devido à inadequação de suas residências.

Também foi bastante criticada a instabilidade de morar no local devido ao fato de que, como grande parte das residências em que foram realizadas as entrevistas se situa dentro dos limites do parque, há a possibilidade dessas famílias serem removidas para outro lugar. Contudo, os moradores não sabem realmente se terão que se mudar ou não, e até a mudança ocorrer (se for o caso), não é possível realizar reformas na casa. O novo local da moradia seria próximo à Estrada do Mar, o que, segundo eles, dificultaria a locomoção dos moradores de casa até o local de trabalho.

São raros os trabalhos de educação ambiental realizados na comunidade, sendo que em apenas 27% das moradias foi relatado que já houve alguma atividade sobre o assunto, mas informam ainda, que não há nada contínuo. Mesmo as famílias que possuem seus filhos na escola dizem que não são feitos trabalhos desse tipo com as crianças. Entretanto, a comunidade em geral apresenta interesse nesse tema e gostaria que fossem propostas mais atividades em relação à questão, apontando a importância de saber cuidar do meio ambiente.

Sobre a relação dos moradores com as dunas foi possível perceber que a maior parte dos residentes gosta de ter as dunas próximas (81,8%) por sua beleza e tranquilidade, sendo que muitos relataram perceber seu movimento durante o ano e se intensificando em determinadas estações. Entretanto não foram relatados muitos casos do aumento na quantidade de areia que

entra nas residências. Apenas uma família declarou que sente medo que as dunas invadam sua casa.

Quando indagados sobre qual o uso que fazem das dunas, os moradores disseram que são as crianças as que mais utilizam o espaço para brincadeiras. Alguns moradores também afirmaram que fazem passeios e caminhadas pelo local ou tomam banhos nas lagoas no interior do Parque. Entretanto, muitos residentes relataram que as dunas são um local de deposição de resíduos e que há falta de fiscalização e limpeza do local.

3.3 Ações de gestão

As ações de gestão foram subdivididas em Manejo de Praias e Dunas, Ordenamento Urbano e Educação Ambiental.

3.3.1 Manejo de praias e dunas

Para a gestão dos municípios costeiros no Brasil são disponibilizados diferentes instrumentos (Portz *et al.*, 2011a; Oliveira & Nicolodi, 2012; Scherer, 2013). O município de Torres elaborou em 2002 a primeira versão do Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima - Projeto Orla (MUNICÍPIO DE TORRES, 2002), que foi substituído pelo Plano de Manejo de Dunas em 2005 (MUNICÍPIO DE TORRES & NEMA, 2006). O Projeto Orla é um instrumento estratégico, diferente do Plano de Manejo de Dunas que atua como um instrumento operativo voltado para a recuperação e conservação das dunas costeiras, estas presente em grande parte da orla do município.

No município também estão presentes outros instrumentos estratégicos e operacionais vinculados às áreas protegidas como o Plano de Manejo do Parque Estadual de Itapeva, o Plano de Uso do Parque Estadual de Guarita e a regulamentação da Reserva Biológica Ilha dos Lobos.

O principal instrumento do município, o Plano de Manejo de Dunas, não contempla proposta de ações para a área de dunas do PEVA, por este ser administrado no âmbito Estadual. Informações do PEVA é de que no período de alta temporada já se registrou aproximadamente de 5 a 6 mil veículos no espaço compreendido entre o Morro da Guarita e a Pedra da Itapeva. Tendo-se como referência este número, pode-se estimar que a faixa de praia sofreu impactos ambientais em decorrência deste fato, e, estando dentro da Zona de Amortecimento do Parque (lindeiro à Zona Primitiva no interior da UC, conforme o Zoneamento do Plano de Manejo) e

sendo um ambiente diretamente relacionado com o gradiente ecossistêmico do local, gera impactos diretos à área protegida (UC).

Na borda leste do PEVA, junto à faixa de praia, as dunas frontais encontram-se conservadas, porém, é possível observar que, apesar das placas indicativas da existência da UC e de que é proibido o acesso de pessoas e de veículos sobre as dunas, as mesmas ainda não exercem influencia sobre os frequentadores da praia junto ao Parque e não orientam as crianças a não circularem sobre dunas (Figura 6). O processo de conscientização é lento, mas as novas placas indicativas já constituem uma ação importante visando a melhor gestão da praia em frente ao PEVA.

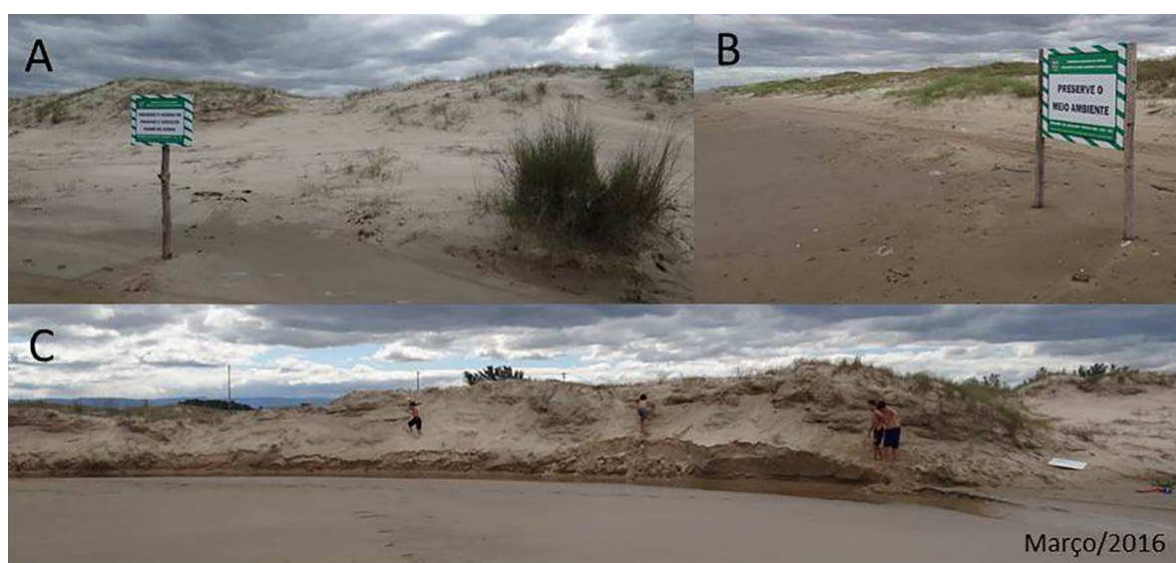


Figura 6 - Dunas frontais na praia adjacente ao PEVA: (a) placa informativa instalada pela Prefeitura Municipal no verão 2015/2016 com a indicação de “Proibido o acesso de pessoas e veículos sobre as dunas”; (b) outra placa informativa indicando “Preserve o meio ambiente”; (c) crianças brincando nas dunas frontais próximo às placas informativas.

3.3.2 Ordenamento urbano

O ordenamento urbano na área de influência do Parque (zona de amortecimento e área de entorno de 10 km) é realizado pela prefeitura municipal, sendo obrigatório o cumprimento das condicionantes e/ou restrições existentes no Pano de Manejo da UC, necessitando obter anuência do órgão gestor do Parque. Dados do PEVA mostram que foi solicitado um total de 187 anuências para o PEVA, cada uma correspondendo a um empreendimento em processo de licenciamento na Prefeitura Municipal de Torres e no órgão licenciador estadual entre 2009 até 2015. Das 12 categorias de empreendimentos identificadas, os maiores percentuais correspondem às obras hidráulicas, com 20,32%, e ao setor imobiliário, com 19,78%. Um total de 37 empreendimentos imobiliários (construção de residências unifamiliares, multifamiliares, loteamentos, construções comerciais, entre outros) foi registrado durante o

período analisado. O ano de 2013 apresentou maior crescimento neste setor, correspondendo a 48,64% dos empreendimentos imobiliários realizados no período em análise. A Figura 7 mostra os tipos de empreendimentos imobiliários, com destaque para empreendimentos residenciais uni e multifamiliares.

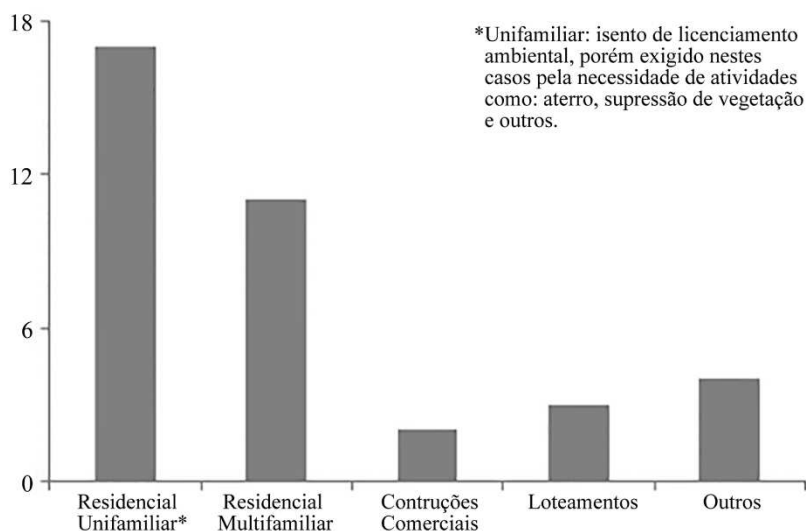


Figura 7 - Número de empreendimentos imobiliários que solicitaram anuência ao PEVA no município de Torres entre 2009 e 2015, por categoria. Fonte de dados: PEVA.

O crescimento de condomínios (residências multifamiliares) de alto padrão no município é uma realidade, tanto verticais quanto horizontais. Como exemplo, um empreendimento horizontal de alto padrão está em processo de instalação atrás do Parque da Guarita, próximo ao PEVA. Outros pedidos de licença recentes para implantação de condomínios horizontais fechados nas proximidades do PEVA estão em tramitação nos órgãos competentes.

Do ponto de vista ambiental, o gestor do PEVA acredita que, por necessitarem licenciamento ambiental (diferentemente de lotes isolados, nos quais a instituição de residências é isento de licenciamento) e avaliação dos órgãos competentes (Prefeitura municipal e anuência de UC em sua zona de influência), o licenciamento para instalação de condomínios fechados em áreas adjacentes à UC é uma maneira eficiente de controle ambiental, à medida que para a concessão da licença os órgãos competentes podem impor restrições e condicionantes à instalação do empreendimento, a fim de garantir a qualidade ambiental da área (por exemplo, exigindo a instalação de rede de esgoto, água e luz, além de conservação de parte da área, entre outros). O mesmo não se verifica quando da ocupação individual de lotes, os quais, não havendo infraestrutura municipal de saneamento básico, acabam por causar impacto ambiental direto.

No Plano Diretor Municipal (PDM) e suas alterações (MUNICÍPIO DE TORRES, 1995; 1997), uma parte da área ocupada pelo bairro situado ao limite norte do parque (de duas a quatro quadras ao sul da Avenida Caxias do Sul), foi definida como Área de Revitalização Urbana (Art.32), e a área situada entre a Praia da Guarita e a Pedra de Itapeva, excluindo-se as dunas, foi definida como Área de Urbanização Preferencial (Art. 34 e 35). Com a criação do Parque Estadual da Itapeva em 2002e sua delimitação, grande parte desta Área de Urbanização Preferencial foi destinada à Unidade de Conservação.

Porém, a pressão imobiliária nesta zona tem aumentado, com pedidos de licença ambiental para construção de prédios com mais de quatro andares, por exemplo. O PDM rege os usos e o gabarito de altura das edificações em algumas zonas da cidade, principalmente a zona central, porém, para as zonas definidas como Área de Revitalização Urbana e Área de Urbanização Preferencial não há especificação do gabarito máximo de altura permitido para edificações, dificultando o planejamento de obras nestas áreas.

Um estudo realizado em 2006 sobre qualidade das águas superficiais dentro e no entorno do PEVA, evidenciou as péssimas condições nos pontos de coleta do Riacho Doce (P3) e do curso d'água localizado ao norte do parque (desembocadura na Lagoa do Violão – P9), os quais se destacam pela quantidade muito superior de coliformes fecais em relação aos demais (340 e 3×10^5 NMP/100 ml, respectivamente - SEMA, 2006). Segundo Pereira (2004) a justificativa dada pelo poder público, na época do estudo, às altas concentração de coliformes era relacionada à falta de uma rede de esgoto na área do Riacho Doce, pelo fato de ser esta uma área de preservação ambiental.

Dentro do seu “Plano Estratégico de Regularização Fundiária” (SEMA/PEVA, 2015a), foi realizada a demarcação física da UC e georreferenciamento da poligonal, com a identificação e georreferenciamento de 51 propriedades dentro da mesma (90% da malha fundiária do PEVA), possíveis de serem indenizadas. Ressalta-se que as ocupações irregulares junto ao limite Norte da UC não constam nos levantamentos do PEVA, tendo em vista a existência de uma Ação Civil Pública que pleiteia a realocação daquelas famílias. No ano de 2014 ocorreram avanços neste quesito, ocasião na qual foram regularizados 16,1 hectares de terras da UC (SEMA, 2014). Segundo o gestor do PEVA, o governo do Estado possui atualmente parte dos recursos financeiros para o pagamento das indenizações, porém, os maiores entraves encontrados em algumas áreas dentro do PEVA são referentes à falta de documentação de alguns proprietários, necessária para que os trâmites legais sejam realizados - problema que é recorrente em UC no território nacional (Kury, 2009; Chaves, 2014).

Comumente novas famílias se instalam nas bordas das dunas, constroem casas humildes e vivem de “gato” de luz e água (obtenção irregular de serviços), com esgotamento por fossa rudimentar. Porém, o controle e impedimento de novas ocupações por parte do PEVA nos limites do Parque são realizados com frequência. Atualmente, com maior atuação dos funcionários do PEVA na área, a fiscalização com relação à instalação de novas moradias é eficaz, à medida que os funcionários possuem o conhecimento da delimitação do Parque e conseguem identificar prontamente qualquer nova instalação no local, tomando as providências cabíveis.

3.3.3 Educação ambiental

No âmbito estadual, a equipe de técnicos do PEVA desenvolve, desde 2013, um projeto de educação ambiental denominado “Projeto Verão”, o qual tem por objetivo dar acesso à população a este ambiente protegido, juntamente com informação técnica sobre o local, através de atividades de Educação Ambiental. O projeto é desenvolvido pela equipe de técnicos da UC durante a alta temporada, entre dezembro e março, que conduzem os visitantes à trilha orientada do Morro de Itapeva, bem como pelos guardas-parque que auxiliam na orientação de usuários da praia adjacente ao PEVA e fiscalizam a área durante o veraneio. De acordo com os registros da UC, o número total de visitantes no primeiro ano do Projeto (2013/14) foi de 31 pessoas (10 visitas às trilhas), enquanto que no ano seguinte foi de 144 (31 visitas às trilhas), e na última temporada 126 (27 visitas às trilhas). O projeto atende muitos turistas e também escolas do município e entorno, mediante procura dos interessados diretamente por telefone e agendamento prévio ou pessoalmente na entrada principal do PEVA.

Na última temporada, foi firmada uma parceria entre o Município de Torres e a SEMA/PEVA a fim de atender e informar de forma educativa os usuários da praia em frente à UC (SEMA/PEVA, 2015b), do qual fez parte também a colocação de placas informativas na faixa de praia por parte do município (Figuras 3A e 3B). Esta ação *in situ*, que é muito recente, age na conscientização específica dos usuários da praia adjacente ao PEVA, tanto turistas quanto moradores.

Ainda, segundo informações do gestor do PEVA, um projeto piloto de educação ambiental foi executado durante dois anos por técnicos do PEVA na escola Zona Sul, localizada no entorno imediato do limite norte do PEVA, e dentre as atividades desenvolvidas com os alunos estava

incluída uma visita ao parque. O projeto não teve continuidade devido à falta de transporte a partir do seu terceiro ano.

No âmbito municipal, a Secretaria do Meio Ambiente e Urbanismo (SAMURB) tem apoiado, desde 2013, projetos de limpezas sistemáticas das dunas e praias do município, desenvolvida por voluntários do “Projeto Praia Limpa”, da Associação dos Surfistas de Torres-AST (MUNICÍPIO DE TORRES, 2015). A limpeza se dá de forma manual mensalmente, e também há a divulgação e palestras educativas nas escolas e para a comunidade durante a temporada de verão (blitz na beira da praia), com a distribuição de materiais (lixeiras individuais, materiais de divulgação do projeto). O alvo das ações se dá nas principais e mais movimentadas praias do município (Molhes, Praia Grande, Prainha, Cal e Guarita), sendo o balanço para os três anos de projeto (2013, 2014 e 2015) é de mais de 40 toneladas de resíduos recolhidos (MUNICÍPIO DE TORRES-RS, 2015). Apesar de não ser uma ação voluntária diretamente relacionada à UC PEVA, atinge de maneira indireta a UC, à medida que ações de educação ambiental e conscientização dos usuários das praias do município são realizadas. Muitos dos colaboradores/voluntários destas ações são residentes dos bairros ao norte do PEVA, porém, a população diretamente atingida é, em sua maioria, usuários das praias situadas mais ao norte do município.

Com financiamento do Fundo Municipal de Cultura (da Secretaria Municipal de Cultura e Esporte), o Projeto "Torres - minha história, nosso mundo!" (<http://torresminhahistorianossomundo.blogspot.com.br/2016/09/saida-de-campo-ao-parque-jose.html>) foi desenvolvido na escola municipal de E. Fundamental Zona Sul no ano de 2015, no qual oficinas com foco na educação patrimonial e ambiental da região, com saídas de campo ao Parque da Guarita, foram trabalhadas com os alunos, além da publicação da Cartilha de Educação Patrimonial e Ambiental (Brocca & Gedeon, 2016), a ser distribuída gratuitamente e que podem ser utilizada em futuras oficinas.

O PEVA conta com ações de educação ambiental promovida por organizações não governamentais (ONGs) que atuam no município e desenvolvem projetos no âmbito da educação e sensibilização ambiental, como por exemplo a ONG Onda Verde, com o Projeto “Guardiões da Praia”, que, dentre outras atividades, proporciona aos alunos de ensino fundamental de escolas do município visitas guiadas ao PEVA, além de ações de limpeza no rio Mampituba em conjunto com a AST e secretarias municipais.

4. DISCUSSÃO

A análise dos impactos presentes na região do PEVA e da percepção dos moradores do entorno quanto a sua posição, neste caso de estudo, indica que seus valores, percepções e atitudes são distintas. Os moradores locais nem sempre apresentam o mesmo ponto de vista sobre a conservação deste ecossistema e sobrepõem suas necessidades diárias de infraestrutura a existência desta área de preservação.

A partir da análise das entrevistas realizadas, foi possível perceber que os problemas sociais e ambientais que ocorrem na região em estudo, são fruto principalmente da carência de infraestrutura, da deficiência de manutenção e fiscalização da área e da falta de conhecimento da população quanto à importância da conservação do ambiente do PEVA. Também, a insuficiência na comunicação entre os gestores do parque e a população local faz com que não se disseminem informações relevantes sobre o Parque e o ambiente, o que agrava a relação.

Segundo Costa (2002), a ocupação humana em UCs é incompatível com os objetivos de conservação. A criação de UCs não implica qualquer posse governamental sobre elas, assim, existe a necessidade de desapropriação da área, no Brasil, por exemplo, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, refere-se às tipologias com necessidade de desapropriação, como as unidades de proteção integral. O mesmo autor ainda afirma que, sem dúvidas, as desapropriações de áreas situadas nos limites de uma UC constituem o maior problema na implantação definitiva da mesma.

Constata-se que, de maneira geral, os problemas sociais e ambientais diagnosticados na área de estudo (norte do PEVA) em 2003 por Pereira (2004), bem como a percepção dos residentes com relação ao ambiente em que vivem (perfil dos moradores, insatisfação dos mesmos com relação às deficiências estruturais do bairro/região, carência de infraestrutura de esgoto e drenagem urbana na região - ocasionando alagamentos e dispersão de doenças -, consciência da maioria dos entrevistados de que residem em área de preservação, preocupação da grande maioria com a limpeza do local/dunas, maioria possui opinião de que é importante a existência da UC para a região, maioria acha importante ações de educação ambiental para moradores/crianças do bairro) são os mesmos ou muito similares aos constatados neste estudo, realizado 12 anos depois. Pouco se fez na esfera municipal com relação ao bairro/região localizado neste limite.

4.1 Ordenamento territorial do PEVA e da área de entorno

A expansão urbana no limite norte do PEVA está contida em virtude da delimitação do perímetro do Parque e da fiscalização constantes. Desta forma, qualquer novo morador é abordado rapidamente e informado que a área se trata de uma UC, não sendo possível fixar moradia na área.

Mesmo com o controle e a fiscalização para impedir o assentamento de novos moradores, o cercamento do limite norte do PEVA poderia solucionar em parte os demais impactos ambientais diagnosticados sobre o sistema de dunas e interdunas, com a contínua disposição inadequada de resíduos, remoção de material sedimentar, além do pisoteamento e predação por animais (vide Apêndice D). Esta demanda foi levantada em 2005 pelo representante da Associação dos Moradores do Bairro Dunas (Heidrich *et al.*, 2005), bem como consta no Plano de Manejo do Parque (SEMA, 2006). Em conjunto com o cercamento, os poderes estadual/PEVA e municipal devem elaborar estratégias conjuntas de forma que os catadores consigam destinar seus resíduos adequadamente. Ações de manejo de dunas são necessários para a contenção do avanço de sedimentos sobre as ruas, principalmente na Rua Santa Bárbara e região próxima (sobre as casas).

Entre os impactos presentes na área de estudo, a contaminação por esgotos domésticos, em virtude da falta de uma rede de esgoto, representa uma necessidade urgente. Este afeta diretamente os ambientes do Parque e torna a região de praia inadequada para uso de banhistas. Este fator, juntamente com os resíduos sólidos, foi considerado como o principal fator negativo pelos usuários de praia (Cristiano *et al.*, 2016)

Outra medida importante para a conservação da área é o desenvolvimento de um plano de ordenamento do uso da faixa de praia adjacente à UC, considerando que não há como dissociar a faixa de praia aos ambientes imediatamente adjacentes (gradiente ecossistêmico), como a área intermarés e a área de dunas frontais, pois os ecossistemas são diretamente relacionados. São necessárias ações de gestão integrada para ordenar os usos da faixa de praia sobre jurisdição municipal e estadual.

A praia adjacente ao PEVA deve ser entendida na sua função ambiental, como uma extensão dos ecossistemas limitados pelo Parque. O sistema praia-dunas frontais já foi amplamente estudado e descrito na literatura (Wright & Thom, 1977; Wright & Short, 1984; Psuty, 1988; Sherman & Bauer, 1993; Hesp, 2000), e não podem ser dissociados. Neste sentido, uma das questões prioritárias de gestão é o disciplinamento do acesso de veículos para a faixa de praia. O município de Torres possui uma legislação vigente sobre demarcação de usos na orla

marítima (Decreto nº 166/2014; MUNICÍPIO DE TORRES, 2014), porém, não existe nenhum item específico no decreto que seja relacionado a esta questão. O tráfego de veículos na praia e nas dunas causa danos ambientais diversos, conforme já reportado na literatura como a compactação de areia e suas consequências na flora, fauna e para transporte eólico; contaminação por vazamento de combustível; conflitos de uso da praia entre usuários/turistas e veículos, gerando riscos de acidentes; além da acentuação da disposição inadequada de resíduos e a degradação da paisagem costeira (Palmer & Leatherman, 1979; Anders & Leatherman, 1987; Rickard *et al.*, 1994; Stephenson, 1999; Portz *et al.*, 2010; Viena *et al.*, 2004; Spence, 2014; Cristiano *et al.*, 2016).

O acesso de veículos à faixa de praia deve ser restrito a veículos autorizados (veículos oficiais em serviço e demais autorizados para fins específicos), e a facilitação do acesso à praia aos usuários deve ir ao encontro de um trabalho de educação para o turismo sustentável na região adjacente ao PEVA. Visando o menor impacto, o acesso à praia deve ser restrito aos pedestres, com disponibilização de uma área de estacionamento próxima ao acesso da Rua Alfieiro Zanardi (acesso norte), com vagas limitadas, e na área de acesso ao sul da praia. Como exemplo semelhante, encontra-se a restrição de acesso de veículos à praia da Guarita, com a cobrança por uso de estacionamento, gerando a adaptação dos usuários ao longo do tempo e resultando na melhoria do ambiente para a biota e para o turismo. A falta de implementação de projetos desenvolvidos para este setor, como a instalação de um estacionamento na Praia de Fora, área adjacente ao PEVA (A FOLHA, 2014) e o plano de uso da praia elaborado pela Secretaria do Meio Ambiente do município em 2013, é apontada como uma das questões que dificulta a redução dos impactos levantados neste estudo de caso. A pressão imobiliária na região do entorno imediato do limite norte do PEVA, é grande e, visto a falta de regramento para estas áreas no PDM vigente (as quais atualmente possuem usos distintos do previsto no PDM), constata-se que é urgente a necessidade de que a nova versão do PDM seja discutida e aprovada, a fim de que sejam estabelecidas as regras para o ordenamento territorial desta área nobre do município, próxima de dois Parques Estaduais que resguardam paisagens ambientalmente, geologicamente e ecologicamente significativas e únicas da costa brasileira.

No Quadro 1 são apresentados uma síntese com relação aos problemas ambientais diagnosticados visualmente nas adjacências do PEVA, propostas de ações para remediação/solução dos impactos e o órgão responsável pelo processo.

Quadro 1 – Síntese de impactos ambientais identificados por visualização e ações propostas para manejo/remediação.

IMPACTO IDENTIFICADO	AÇÕES PROPOSTAS	RESPONSÁVEIS
Alagamentos*	- Projeto de drenagem urbana/saneamento básico.	Prefeitura Municipal
Contaminação do subsolo/lençol freático pela falta de rede de esgoto	- Projeto de infraestrutura urbana/saneamento básico/rede de esgoto.	Prefeitura Municipal
Disposição inadequada de resíduos no limite norte do PEVA*	- Instalação de barreira física delimitando o PEVA, que dificulte/iniba a disposição de resíduos/entrada de carroças e pedestres. - Placas informativas ao final de arruamentos para terminem dos limites do Parque. - Disponibilização de local adequado para disposição dos resíduos das carroças.	Prefeitura Municipal; SEMA/PEVA
Disposição inadequada de resíduos na faixa de praia adjacente ao PEVA	- Disponibilização de lixeiras na praia. - Placas educativas permanentes na praia. - Ações de educação ambiental na praia durante o período de veraneio.	Área da União, com gestão da Prefeitura Municipal
Circulação de animais domésticos dentro do PEVA (cachorros, gatos, cavalos)	- Instalação de barreira física delimitando o PEVA (cerca e placas) que dificulte a entrada de animais de grande porte. - Ação da vigilância sanitária para o recolhimento de animais abandonados. - Campanha de conscientização para os donos de animais domésticos.	Prefeitura Municipal e SEMA/PEVA Prefeitura Municipal; SEMA/PEVA; ONGs
Remoção ilegal de areia do PEVA	- Instalação de barreira física delimitando o PEVA (cerca e placas), que dificulte ações ilegais	SEMA/PEVA
Avanço das dunas sobre ruas e casas	- Manejo de dunas (região da Rua Santa Bárbara)	SEMA/PEVA
Circulação de veículos automotores na faixa de praia adjacente ao PEVA	- Restrição de acesso de veículos à praia. - Destinação de área para estacionamento de veículos, próximas às entradas de acesso à praia (acessos norte e sul). - Disponibilização de acesso para pedestres (sinalizado) via Rua Alfieiro Zanardi (acesso norte) e no acesso ao sul da praia. - Sinalização e melhoramento da infraestrutura de acesso de pedestres (já existente) via Parque da Guarita.	Prefeitura Municipal
Expansão de empreendimentos imobiliários	- Licenciamento Ambiental	Prefeitura Municipal e órgão licenciador estadual (FEPAM).

* impactos também citados pelos moradores nas entrevistas

4.2 Educação ambiental como fator de conservação e de apropriação do PEVA

Para a conservação do PEVA, além dos fatores de infraestrutura e fiscalização, são necessárias ações de educação ambiental e conscientização no local, visando informar os frequentadores da importância da conservação da praia e sua relação com a conservação da UC, semelhante

ao que ocorre no Parque da Guarita. Assim como estreitar as relações dos moradores do entorno com o PEVA, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais gerados por sua posição irregular.

Importantes projetos de educação ambiental estão sendo desenvolvidos no município de Torres, em especial o Projeto Praia Limpa, e o Projeto Verão, com ações voltadas aos usuários de praia durante os meses de verão, neste caso apenas o setor junto à praia adjacente ao PEVA é alcançado. Esta ação pode subsidiar o planejamento de ações futuras junto a este setor, sendo necessário para tanto, o monitoramento da efetividade do Projeto ao longo dos anos, através de um diagnóstico referente à ação dos turistas após a ação de educação ambiental. Estas ações devem ser contínuas, juntamente as ações de gestão integrada referentes ao ordenamento do uso da praia adjacente ao PEVA.

O projeto de educação patrimonial e ambiental desenvolvido recentemente com alunos da escola Zona Sul (Projeto “Torres - minha história, nosso mundo”, financiado pela Secretaria Municipal de Cultura e Esporte) configura importante instrumento de conscientização da população da região, rumo à valorização do patrimônio da cidade. O Projeto teve como produto final um material didático (Brocca & Gedeon, 2016) muito consistente e interessante que pode e deve ser utilizado como instrumento de ações futuras de gestão (oficinas guiadas por educadores ambientais) no município, as quais devem ser estimuladas pelo poder público e expandidas a todas as escolas, a fim de que o conhecimento sobre a região e consciência ambiental atinjam o maior número de famílias, visando a preservação.

As ações de educação ambiental dentro do PEVA são mais limitadas, uma vez que o acesso ao Parque é permitido apenas mediante o contato direto dos interessados com o PEVA, desta forma, o acesso da população ainda é restrito. Aliado a este fator, ocorre um baixo nível de divulgação da existência e das ações do Parque, tanto pela direção do Parque, quanto pelo município, demonstrando pouca integração entre as esferas.

Em visita ao centro oficial de informações turísticas do município (Casa do Turista), verificou-se que não existe material impresso referente ao PEVA, e tampouco pessoal treinado para prestar qualquer tipo de informação/orientação sobre o Parque e sua possibilidade de visitação. Neste viés, constata-se que, para uma efetiva gestão e conscientização quanto aos ambientes protegidos pelo PEVA, é necessária a *integração* da gestão municipal com a gestão estadual, a fim de que a população do próprio município e turistas tenham a oportunidade de conhecê-lo.

Em se tratando de ambientes costeiros, os quais são frágeis e de extrema importância ambiental, ecológica e econômica, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (República Federativa do Brasil, 1988) já determina a gestão integrada das zonas costeiras como sendo o único caminho para o desenvolvimento sustentável destes ambientes. No caso do PEVA, estando a UC sob administração estadual, porém inserida totalmente em um único município (Torres), considera-se que é uma questão menos complexa do que quando comparado a casos nos quais diversos municípios abrangem uma UC estadual.

A apropriação e identificação com o lugar deve ser despertada nos usuários da praia e na população residente no entorno do PEVA, pois este é o ponto-chave na conscientização ambiental. Faz-se necessário também atuar junto à comunidade do entorno. Através da democratização da informação sobre o PEVA e a sua importância ecológica, a população que convive diretamente com o ambiente protegido pela UC poderá, dentro deste processo, atuar ativamente na sua conservação. Um exemplo é a formação de guias locais, que possam guiar turistas pelos Parques e praias do município, assim como atuarem em ações junto às escolas municipais, estaduais e particulares, gerando renda e estimulando a conservação da natureza.

Através deste estudo de caso já se constatou que a população do entorno (moradores dentro do limite norte do PEVA), em geral, cuida do ambiente em que vivem, facilitando as ações de inserção desta comunidade em uma administração conjunta. Os entrevistados apontaram a comunidade local (bairro e região) pela degradação ambiental, como exemplo, os resíduos depositados nas dunas geralmente vem por carroceiros que moram na região/bairros, e, não tendo onde descartar o material que não irão reciclar/vender, depositam nas áreas “baldias” mais próximas ao bairro em que vivem. Conforme Brito & Câmara (2002), para o sucesso de uma UC, sua população de entorno, a comunidade local e as autoridades devem estar envolvidas na questão ambiental participando conjuntamente desse processo. Neste contexto, a melhoria da qualidade da infraestrutura do bairro e a promoção da identidade da comunidade com as UC presentes na região são ações fundamentais para que haja a proteção efetiva destes ambientes.

5. CONCLUSÃO

Os problemas urbano-ambientais em Torres tiveram origem na expansão desordenada e rápida da cidade, a partir da década de 70. Desde então, com o aumento do turismo de lazer e sua sazonalidade, a economia local é instável e a excessiva demanda por serviços urbanos durante a alta temporada (abastecimento de água, coleta de lixo, esgoto) não consegue ser suprida pelo

governo, ocasionando um desequilíbrio nesta época do ano. Além dos problemas causados pelo turismo de lazer, que é a base econômica da cidade, problemas ambientais causados por falta de infraestrutura urbana também são observados, especialmente nos bairros periféricos que circundam a área de proteção ambiental onde hoje é o PEVA.

Primeiramente, a principal constatação deste trabalho é que para a conservação dos ambientes protegidos pela UC PEVA, é necessária a integração das esferas estadual e municipal nas ações de gestão. É preciso ponderar que, independente das esferas administrativas que regem os espaços, para a conservação de um bem maior para a humanidade (como os ambientes naturais) a gestão integrada é essencial. Desta forma, o engajamento político e integração das Secretarias diretamente relacionadas com a questão ambiental no município (Meio Ambiente e Urbanismo, Turismo, Educação e Cultura) são necessários e urgentes, tendo em vista a vocação turística da cidade, o que é um ponto motivador por si só. Propostas isoladas não são eficazes para o objetivo principal da UC: conservar o ambiente. No entanto colaboram com pequenos ganhos, como a inibição de novas ocupações irregulares no entorno do Parque.

Uma das principais ações necessárias é o diálogo da esfera estadual com as secretarias municipais, no intuito de juntos planejarem o papel de cada uma neste processo, integrando e percebendo a população local como agentes do espaço, essenciais para o atingimento do objetivo final. As ações das diferentes esferas devem ter sempre como ponto norteador o sentimento de pertencimento da população local com relação ao lugar onde habitam. Claro que para isso, as obras de infraestrutura necessárias devem também estar como pauta primordial para o desenvolvimento das demais ações. A relação dos moradores com o ambiente em que habitam, se positiva, contribuirá para a diminuição dos impactos ambientais e aumento da conservação e preservação das áreas naturais e protegidas do seu entorno.

A conservação de paisagens significativas deve ser estimulada, tanto para a população local quanto para os turistas, a fim de conciliar a qualidade ambiental destes espaços com a utilização sustentável dos mesmos. A falta de planejamento e ações de gestão costeira a nível municipal prejudica, além do ambiente costeiro em si, o desenvolvimento de uma consciência ambiental, que deveria ser a base para o turismo do município, conforme também explicitado no trabalho de Cristiano *et al.* (2016). Ações de gestão visando à qualidade ambiental do município, com a implementação de infraestrutura adequada (esgotamento sanitário, placas educativas, locais para disposição de resíduos) nos bairros adjacentes ao limite norte do PEVA (o qual gera impacto ambiental nos ecossistemas protegidos adjacentes), a educação ambiental baseada no ambiente local em escolas do município e com a população local (como

o Projeto “Torres - minha história, nosso mundo”), são os primeiros passos rumo à melhoria da qualidade de vida da população e qualidade ambiental da região. O Projeto de Educação ambiental que já foi desenvolvido pelo PEVA na escola do limite norte em anos anteriores deveria ser retomado, e a visita ao PEVA poderia ser feita por sua porção norte, para evidenciar os impactos ambientais, além dos ecossistemas e a necessidade de conservação. Ao se criar uma trilha ao norte do PEVA, o acesso seria facilitado, de modo que o transporte automotor não se fizesse necessário, e os objetivos de conscientização e vivência das crianças com o ambiente degradado seria evidenciado. Com ações integradas das Secretarias de Obras, de Meio Ambiente e Urbanismo, de Turismo, de Cultura e de Educação, um planejamento turístico focado no Turismo Ecológico pode ser traçado, em conjunto com a gestão do PEVA e do Parque da Guarita, dando a Torres um novo viés, o ecológico e cultural, com a valorização dos seus ambientes naturais aliada à conscientização ambiental – que deve ser o foco das visitas turísticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos que contribuíram para este estudo, com fornecimento de dados, disponibilidade para responder as entrevistas, fornecimento de informações e discussões acerca do ambiente, das ações existentes e atual situação do Parque e do Município, no âmbito da gestão costeira. Especialmente ao Gestor do PEVA, Paulo Grubler e biólogo Rivaldo da SEMURB/Torres-RS. Agradecemos também ao biólogo Jonas Brocca e historiador Leonardo Gedeon, cidadãos atuantes na luta por melhorias na cidade, pelas discussões e ideias trocadas. Por fim, aos colaboradores dos trabalhos de campo, Aline Kunst e Marina Refatti Fagundes, essenciais para a coleta e organização dos dados. Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências/PPGGEO-UFRGS e ao CNPq, pela bolsa de Doutorado.

REFERÊNCIAS

- A FOLHA. (2014) - *Praia da Itapeva: acesso proibido ou regrado?* Publicado em 29 dez. 2014. Disponível em: http://www.afolhatorres.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=6017:praia-da-itapeva-acesso-proibido-ou-regrado&catid=31:catmeioamb&Itemid=31
- Almudi, T.; Kalikoski, D.C. (2010) - Traditional fisherfolk and no-take protected areas: The Peixe Lagoon National Park dilemma. *Ocean & Coastal Management*, 53:225-233. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2010.04.005

- Anders, F.J.; Leatherman, S.P. (1987) - Disturbance of beach sediment by off-road vehicles. *Environmental Geology*, 9(3):183-189. DOI: 10.1007/BF02449950
- Arteaga Melgoza, M.H. (2001) - *Reflexos do impacto turístico no processo de urbanização: o estudo de caso de Torres, RS*. 222 p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Brito, F.A.; Câmara, J.B.D. (2002) - *Democratização e Gestão Ambiental*. 332p., Vozes, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN: 8532621813.
- Brocca, J.; Gedeon, L. (2016) - *Torres: minha história, nosso mundo*. 27p., Prefeitura Municipal, Torres, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Chaves, T.S. (2014) - *Regularização Fundiária em Unidades de Conservação no Rio Grande do Sul*. 30p. Monografia de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. (1986) - *Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986*. Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, páginas 2548-2549. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.
- Costa, P.C. (2002) - *Unidades de Conservação: Matéria-prima do Ecoturismo*. 163p., Aleph, São Paulo, Brasil. ISBN: 8585887699.
- Cristiano, S.C.; Rockett, G.C.; Portz, L.C.; Anfso, G.; Gruber, N.L; Williams, A.T. (2016) - Evaluation of Coastal Scenery in Urban Beaches: Torres, Rio Grande do Sul, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 16(1):71-78. DOI: 10.5894/rgci661
- Ferreira, L.C. (2004) - Dimensões Humanas da Biodiversidade: mudanças sociais e conflitos em torno de áreas protegidas no Vale do Ribeira, SP, Brasil. *Ambiente & Sociedade*, 7(1):47-66. DOI: dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2004000100004
- Gama, S.V.G.; Dutra, F.F; Xavier, T.F. (2005) - *Os vetores de pressão em unidade de conservação urbana: a problemática ambiental da APA e do Parque do Mendanha – zona oeste do Rio de Janeiro (RMRJ)*. 10p., X Encontro de Geógrafos da América Latina, **Anais...** Universidade de São Paulo/USP. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Impactoambiental/07.pdf>
- Governo do Estado do Rio Grande do Sul. (2002) - *Decreto Estadual nº 42.009, de 12 de dezembro de 2002*. Cria o Parque Estadual de Itapeva e dá outras providências.
- Heidrich, A.L. et al. (2005) - *Diagnóstico sócio-econômico e ambiental da unidade de conservação do parque estadual de Itapeva [recurso eletrônico]*. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Geociências/Departamento de Geografia. Relatório Técnico. 1 CD-ROM.
- Hesp, P.A. (2000) - *Coastal Dunes: form and function*. Massey University, CDNV Technical Bulletin, n.4. 28p. Nova Zelândia.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2005) - *Áreas Urbanizadas do Brasil - 2005*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/geografia_urbana/areas_urbanizadas/default.shtm
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) - *Censo Demográfico 2010*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011) - *Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil*. 176p., Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN: 9788524042195.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) - *Downloads: Geociências: Organização do Território: Malhas municipais*. Arquivos georreferenciados online. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm
- Kury, K.A. (2009) - *Regularização Fundiária em Unidades de Conservação: o caso do Parque Estadual do Desengano/RJ*. 203p. Dissertação de Mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2015) - *Dados Georreferenciados (online)*. Ministério do Meio Ambiente, Áreas Protegidas, Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, Brasília, DF, Brasil. Acesso em: jul. 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>
- Município de Torres-RS. (1995) - *Lei nº 2.902, de 12 de Julho de 1995*. Sanciona e promulga o projeto de lei nº 2949/95 de 26/06/95 que dispõe sobre o Plano Diretor de Torres e dá outras providências.
- Município de Torres-RS.(1997) - *Lei nº 3.135, de 16 de outubro de 1997*. Sanciona e promulga o projeto de lei nº 3183/97, de 23/09/97, oriundo do poder legislativo que altera a lei nº 2902/95 de 12/07/95 que dispõe sobre o Plano Diretor de Torres e dá outras providências.
- Município de Torres-RS. (2014) - *Decreto nº 166, de 12 de maio de 2014*. Declara as áreas de lazer, recreação, pesca, surf e banho, das praias do município de Torres, em atenção a lei estadual nº 14.285, de 2013, que determina a obrigatoriedade de demarcação da orla marítima nos municípios.
- Município de Torres-RS. (2002) - *Projeto Orla: Plano de intervenção na orla de Torres-RS*. 89p. Torres, RS, Brasil.
- Município de Torres-RS& NEMA-Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental (2006) - *Plano de Manejo das Dunas Costeiras do Município de Torres - RS*. 33p. Torres, RS, Brasil. Não publicado.
- Município de Torres-RS. (2015) - *Relatório do Plano de Manejo e Conservação de Dunas de Torres – PMCDT*. Relatório interno. Julho de 2015. 22p. Não publicado.
- Oliveira, M.R.L.; Nicolodi, J.L. (2012) - A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla: Uma análise sob a ótica do poder público. *Revista da Gestão Costeira Integrada* (ISSN 1646-8872), 12(1):89-98.
- Palmer, J.F.; Leatherman, S.P. (1979) - *Off-road vehicle usage on federally managed coastal parklands*. University of Massachusetts/UM, National Park Service Cooperative Research Unit/NPSCRU, Report n.46,59p.,Amherst, MA, Estados Unidos.
- Pereira, R.C. (2004) - *Áreas de proteção ambiental no litoral norte do Rio Grande do Sul: um estudo de caso sobre o bairro Riacho Doce e o Parque Estadual de Itapeva, Torres – RS*. 129p., Dissertação de Mestrado, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, Brasil.
- Portz, L.C.; Manzolli, R.P.; Gruber, N.L.S.; Correa, I.C.S. (2010) - Turismo e degradação na orla do Rio Grande do Sul: conflitos e gerenciamento. *Desenvolvimento e Meio*

- Ambiente* (ISSN: 1518-952X), 22:153-166, Curitiba, Brasil. Disponível em: revistas.ufpr.br/made/article/download/20351/13512
- Portz, L.; Manzolli, R.P.; Corrêa, I.C.S. (2011a) - Tools for Environmental Management Applied to the Coastal Zone of Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11(4):459-470.
- Portz, L.C.; Manzolli, R.P.; Ivar do Sul, J.A. (2011b) - Marine Debris on Rio Grande do Sul North Coast, Brazil: Spatial and Temporal Patterns. *Revista da Gestão Costeira Integrada* (ISSN 1646-8872), 11(1):41-48, Lisboa, Portugal. Disponível em: http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-187_Portz.pdf
- Portz, L.C.; Gruber, N.L.S.; Strohaecker, T.; Manzolli, R.P. (2014) - Iniciativas de manejo de dunas frontais como medida de controle de erosão no estado do Rio Grande do Sul. In: César Goso. (Org.). *Nuevas miradas a la problemática de los Ambientes Costeiros. Sur de Brasil, Uruguay y Argentina*. 1 ed. Montevideo, p. 9-26.
- Psuty, N.P. (1988) - Sediment budget and dune/beach interaction. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0208), SI 3:1-4, Coconut Creek, Estados Unidos.
- República Federativa do Brasil. (1988) - *Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988*. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7661.htm
- República Federativa do Brasil. (2000) - *Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000*. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.
- Rickard, C.A.; Mclachlan, A.; Kerley, G.I.H. (1994) - The effects of vehicular and pedestrian traffic on dune vegetation in South Africa. *Ocean and Coastal Management*, 23(3):225-247. DOI:10.1016/0964-5691(94)90021-3
- SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. (2006) - *Plano de Manejo do Parque Estadual de Itapeva*. 274p. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul, Departamento de Florestas e Áreas Protegidas-DEFAP, Fundação Zoobotânica-FZB, Porto Alegre, Brasil.
- SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. (2014) - *Parque de Itapeva avança no processo de regularização fundiária de sua área conservada*. Publicado em 09/12/2014. Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=4&cod_conteudo=8996
- SEMA/PEVA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul/Parque Estadual de Itapeva. (2015a) - *Plano estratégico de regularização fundiária: Parque Estadual de Itapeva*. Parque Estadual de Itapeva, 16p. Torres, RS, Brasil. Documento interno. Não publicado.
- SEMA/PEVA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul/Parque Estadual de Itapeva. (2015b)- *Projeto Verão PEVA - Sensibilização e Educação Ambiental: temporada de veraneio 2015/2016*. Parque Estadual de Itapeva, 5p. Torres, RS, Brasil. Documento interno. Não publicado.
- Scherer, M. (2013) - Gestão de praias no Brasil: subsídios para uma reflexão. *Revista de Gestão Costeira Integrada* (ISSN 1646-8872), 13(1):3-13.
- Sherman, D.J.; Bauer, B.O. (1993) - Dynamics of beach-dune interactions. *Progress in Physical Geography* (ISSN: 0309-1333), 17(4): 413-447. DOI: 10.1177/030913339301700402

- Spence, H. (2014) - Technical Article No. 10.2: Effects of vehicles on sand dunes. In: *Restoration of Coastal Sand Dunes Using Native Plants, a Technical Handbook*. Coastline Consultants Ltd. 12p, Dune Restoration Trust of New Zealand, Nova Zelândia. ISSN: 2230-6919. Disponível on-line em: <http://www.dunetrust.org.nz/resources/publications>
- Stephenson, G. (1999) - Vehicle impacts on the biota of sandy beaches and coastal dunes: a review from a New Zealand perspective. *Science for Conservation* (ISSN: 1173-2946), 121:48p., New Zealand Department of Conservation, Wellington, Nova Zelândia. Disponível em: <http://www.doc.govt.nz/Documents/science-and-technical/sfc121.pdf>
- Strohaecker, T.M. (2007) - *A Urbanização no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul: contribuição para a gestão urbana ambiental do município de Capão da Canoa*. 399p., Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Tomazelli, L.J. (2001)- *Sistematização dos conhecimentos existentes sobre as dunas móveis do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: relatório final*. Fundação Estadual de Proteção Ambiental-RS/FEPAM, Relatório final, 25p. Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/programas/gerco_norte.asp.
- Vieira, H.; Calliari, L.J.; Oliveira, G.P. (2004) - O Estudo do Impacto da Circulação de Veículos em Praias Arenosas Através de Parâmetros Físicos: Um Estudo de Caso. *ENGEVISTA* (ISSN: 2317-6717), 6(3):54-63, Niterói, RJ, Brasil. Disponível em: http://www.uff.br/engevista/3_6Engevista4.pdf
- Wright, L.D.; Short, A.D. (1984) - Morphodynamics variability of surf zones in Australia. In: Komar(ed.), *CRC Handbook of coastal processes and erosion*, pp.35-64, CRC Press, Boca Raton, FL, Estados Unidos. ISBN: 9780849302084.
- Wright, L.D.; Thom, B.G. (1977) - Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography* (ISSN: 0309-1333), 1(3): 412-459. DOI: 10.1177/030913337700100302

Supporting Information I (SI-I) **Contexto socioespacial do município de Torres/RS, Brasil**

O processo de urbanização do município de Torres/RS iniciou como um núcleo de povoamento e de defesa da região sul do Brasil, em 1820 (Falcão, 2000). O início do turismo no município data de 1910, com o deslocamento da população do Planalto à costa, atraídos pelas belezas naturais e a valorização do mar, o que acarretou no início da expansão urbana do município. Nesta época foi construído em Torres o primeiro complexo turístico do litoral gaúcho: o “Balneário Picoral”. Investimentos em transporte e infraestrutura cresceram nas décadas de 30 e 40, possibilitando o maior acesso de pessoas ao município, e na década de 50 Torres já era conhecida como cidade turística. A criação do Parque Estadual José Lutzemberger (Parque da Guarita) ocorreu nesta década, valorizando a economia da região e incentivando a preservação da natureza (Falcão, 2000). A ampliação da cidade e investimentos em infraestrutura urbana, como, calçamento de ruas e estradas, construção de escolas, hospital e o novo prédio da prefeitura se deu no período pós-guerra, bem como o início dos empreendimentos privados em loteamentos para fins de veraneio (Falcão, 2000; Graciano, 2004).

A partir da década de 70, com a abertura da rodovia RS-290 (*freeway*) e maior acesso à cidade, houve a expansão de empreendimentos imobiliários, e a construção de prédios de grande altura na cidade. Nesta década o turismo firmou-se como um dos sustentáculos econômicos de Torres, atuando como uma alavanca de crescimento para a cidade (Graciano, 2004), gerando mudanças na economia com o crescimento do setor terciário e diminuição do setor primário. A década de 80 caracterizou-se pelo “boom” imobiliário na cidade, com a predominância de turistas estrangeiros (argentinos e uruguaios) no Brasil e o aumento de empreendimentos imobiliários e avanço da construção civil, gerando por consequência o aumento do fluxo sazonal no município. O grande crescimento das áreas de hotéis, residências uni e multifamiliares e edifícios mistos (residencial e comercial) do final da década de 70 até o início da década de 90 é expressivo (Falcão, 2000; Graciano, 2004). A atuação dos construtores clandestinos resultou no fenômeno das migrações internas ocorridas em Torres a partir dos anos 70. Atraídos pela expansão do turismo e da construção civil, pessoas de localidades vizinhas começaram a se deslocar para Torres no intuito de se fixarem na cidade e lá obterem emprego. Neste contexto, um processo de segregação social e formação de bairros periféricos ocorreu a partir da década de 70 em Torres (Graciano, 2004).

No início da década de 90 a população do município atingiu 37.474 mil habitantes (IBGE, 1991), e a necessidade de ordenamento do território gerou o início das discussões do governo municipal, junto à comunidade, para elaboração do Plano Diretor do município. O zoneamento da cidade, com a definição de áreas prioritárias para os diversos fins e regramentos específicos, inclusive a preservação ambiental, foram definidos em 1995 pela Lei 2.902 (MUNICÍPIO DE TORRES-RS, 1995). Dentre outras áreas de proteção ambiental definida no Plano Diretor, estava a “faixa de mato, dunas e banhados que se prolongam desde o Curtume até o Morro da Itapeva, grutas e cascatas” (Art. 31, Inciso I).

Ao mesmo tempo em que a expansão urbana e o turismo sazonal aumentavam (com aumento da população flutuante), os problemas urbanos e ambientais se acentuaram, pela sobre-saturação da infraestrutura e incapacidade da mesma de atender à demanda (Arteaga Melgoza, 2001; Graciano, 2004).

REFERÊNCIAS:

- Arteaga Melgoza, M.H. (2001) - *Reflexos do impacto turístico no processo de urbanização: o estudo de caso de Torres, RS*. 222p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Falcão, M. (2000) - A dinâmica espacial da cidade de Torres/RS, entre 1970 e 1998. *Boletim Gaúcho de Geografia*, 26:158-172. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/39643/26528>
- Graciano, C.T. (2004) - *A Torres de concreto: da expansão turístico-urbana dos anos 70 à crise dos anos 90, um estudo sobre o processo de urbanização em Torres/RS*. 216p., Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1991) - *Censo Demográfico 1991*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censodem/default_censo1991.shtm
- MUNICÍPIO DE TORRES-RS. (1995) - *Lei nº 2.902, de 12 de Julho de 1995*. Sanciona e promulga o projeto de lei nº 2949/95 de 26/06/95 que dispõe sobre o Plano Diretor de Torres e dá outras providências.

CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 ANÁLISE INTEGRADORA

Visando contribuir para o conhecimento evolutivo do campo de dunas de Itapeva/RS e adjacências e entender os processos que ali ocorrem para subsidiar a gestão dos ambientes costeiros da região, foram desenvolvidos estudos e apresentados nos artigos que compõem esta Tese, os quais seguiram uma ordem lógica.

No artigo intitulado “*Análise espaço-temporal dos ventos no extremo Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*”, fez-se uma análise espaço-temporal dos ventos no extremo norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, evidenciando diferenças latitudinais e sazonais nos ventos da região, onde ficou evidenciada a maior ocorrência de ventos provenientes do quadrante N-E nas três estações meteorológicas analisadas e que ventos de maiores intensidades são provenientes de S e SW. Ventos de intensidades elevadas e frequentes provenientes do quadrante N-E ocorrem durante a primavera/verão (estação de Torres). Foi evidenciado também a atuação significativa dos ventos do quadrante S-W com capacidade de remobilizar sedimentos durante todas as estações do ano, enquanto que ventos intensos do quadrante N-E ocorrem com maior frequência durante a primavera/verão. O padrão bimodal de ventos de maiores intensidades corrobora as feições eólicas encontradas no campo de dunas de Itapeva, onde dunas reversas fazem parte da paisagem.

No artigo intitulado “*Evolution of the Itapeva Dunefield over the Last Decades (Torres-RS, Brazil)*” foi realizada a análise e descrição das mudanças espaciais no campo de dunas de Itapeva e seu entorno nos últimos 60 anos, através de dados climatológicos (ventos e chuvas) e de sensoriamento remoto. As principais mudanças espaciais observadas foram: aumento da cobertura vegetal, dos canais de drenagem (sangradouros) e da área urbanizada, e diminuição da área de dunas. Aliado aos dados históricos de vento e chuvas, constatou-se que os fatores climáticos são os grandes responsáveis pelas mudanças morfológicas identificadas na área (aumento das chuvas e da cobertura vegetal, e diminuição da velocidade média dos ventos), em conjunto com a ação antrópica (remoção de sedimento do sistema), estando atualmente o campo de dunas de Itapeva em processo de estabilização. Ainda, os resultados mostram o grande potencial de deriva de areia pela ação dos ventos provenientes de S, bem como de NE na região, corroborando a reversibilidade das principais e maiores formas eólicas presentes na região, bem como a direção da deriva resultante (*Resultant Drift Direction* –

RDD) na escala do campo de dunas para NW, o que pode ser observado na série temporal de imagens de sensoriamento remoto analisadas. Com estas análises, este artigo também sugere que a origem dos sedimentos para formar o campo de dunas de Itapeva durante o Holoceno é principalmente a praia de Itapeva, impulsionados pelos ventos de S, os quais possuem grande potencial de deriva (*Drift Potential - DP*) juntamente com a menor precipitação pluviométrica durante o inverno, e também devido à geomorfologia da região (Morro das Furnas ao norte) aliada ao transporte de sedimentos costeiros (de S para N).

O artigo “*Itapeva Dunefield Geomorphology*” abrange a identificação, caracterização e descrição das principais feições eólicas presentes atualmente no campo de dunas de Itapeva, e apresenta o mapa geomorfológico da área e adjacências. As principais formas deposicionais eólicas presentes atualmente na região são: dunas reversas, *bush pockets*, dunas em U, cristas de precipitação e *nebkhas*. Lençóis de areia transgressivos vegetados e dunas frontais também estão presentes na região. Formas eólicas erosionais, como *blowouts*, ocorrem na região de dunas frontais e associadas aos *bush pockets*. Além disso, o monitoramento anual das faces ativas de dunas reversas em três diferentes regiões do campo de dunas foi realizada, e mostraram a baixa mobilidade das mesmas, e a variação sazonal da movimentação das cristas, as quais não seguem um padrão dentro do campo de dunas, evidenciando uma possível dinâmica eólica local.

Concluídas as análises climatológicas e geomorfológicas (em superfície), realizou-se uma análise estratigráfica (em subsuperfície) na região, visando à compreensão do comportamento da barreira holocênica neste setor da costa RS, ao sul do Rio Mampituba. Os resultados constam no resumo expandido apresentado no *Simpósio Brasileiro de Geofísica* em 2014, intitulado “*Caracterização da barreira holocênica do extremo norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul através de dados de Georradar*”, que mostra o padrão de empilhamento dos pacotes sedimentares identificados (cinco radarfácies, interpretadas como sendo: rochas do embasamento e ambientes de *shoreface* inferior, *shoreface* superior, *foreshore/backshore* e ambiente eólico no topo), os quais indica que neste setor da costa a barreira holocênica encontra-se em progradação. Além disso, com a identificação do embasamento das seções de georradar coletadas, estimou-se uma espessura sedimentar máxima de 22 m para esta área. O confinamento do pacote sedimentar neste setor da costa, evidenciado nos resultados deste artigo, aliado às análises do artigo apresentado no capítulo 3.2, permitiu-nos inferir que esta característica geológica existente neste setor da costa do RS

contribuiu para a retenção de maior umidade no solo e conseqüentemente contribuiu no estabelecimento rápido da vegetação nesta região nas últimas décadas, dando início ao processo de estabilização do campo de dunas de Itapeva. A caracterização estratigráfica das dunas reversas presentes neste campo de dunas também foi realizada, e os resultados constam no artigo intitulado “*Ground Penetrating Radar applied to the Characterization of the Itapeva Dunefield, Torres, Brazil*”, publicado no periódico *Journal of Coastal Research* em 2016. Os registros de georradar mostram refletores contínuos de alto ângulo mergulhando na direção do continente, corroborando o movimento em escala de campo de dunas (*dunefield scale movement*) para NW. Ainda, os refletores com diferentes ângulos no topo da duna reversa analisada evidenciaram a reversibilidade das cristas no registro geofísico.

Após as análises do meio físico, foram realizadas análises para a compreensão do contexto socioambiental do limite norte do PEVA, caracterização dos moradores e sua relação com o ambiente em que vivem, diagnóstico de impactos ambientais e de ações de gestão existentes na região, o que deu subsídios a propostas de gestão para a conservação das dunas e dos ecossistemas naturais da região (enfocando o Parque Estadual da Itapeva). Os resultados foram apresentados no artigo intitulado “*Gestão Integrada de Unidade de Conservação na Zona Costeira - Parque Estadual de Itapeva, Torres-RS, Brasil*”, submetido ao periódico *Revista de Gestão Costeira Integrada*, e, dentre os diversos resultados, mostram os problemas sociais e de infraestrutura existentes na região estudada (área adjacente ao limite norte do PEVA) e que acabam por impactar diretamente o ambiente. Foram identificados visualmente diversos impactos ambientais na área, e para cada um, fez-se proposição de ações de manejo, sendo que algumas ações simples já ajudariam na remediação de alguns impactos, como o cercamento do PEVA, por exemplo, que auxiliaria na remediação de três dos impactos listados. Além disso, o município carece de planos de gestão costeira e ordenamento da praia adjacente ao PEVA, o que prejudica a conservação do gradiente ecossistêmico inerente à zona costeira em que se situa. Ainda, a insuficiência de comunicação entre gestores e população local prejudica o entendimento da importância dos ambientes naturais da região e sua preservação. Apesar de haver algumas iniciativas, ações de educação ambiental são escassas no município, concentradas no período de verão ou sem a ampla divulgação à população. Todos estes fatores acabam por prejudicar o desenvolvimento de uma consciência ambiental num município com inegável potencial turístico ecológico. Constatou-se que, para a conservação e preservação do patrimônio natural de Torres, enfocando no PEVA (esfera

estadual) e Parque da Guarita, é necessária a integração das esferas municipal e estadual na gestão dos ambientes.

6.2 CONCLUSÕES

Neste estudo foram obtidos resultados inéditos sobre a região extremo norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, enfocando o setor costeiro de Itapeva e o campo de dunas ali presente, no que se refere a sua evolução espaço-temporal ao longo das últimas décadas e fatores que influenciaram em mudanças nas suas características geomorfológicas. Além disso, uma análise em subsuperfície também foi realizada, possibilitando a caracterização estratigráfica deste setor costeiro. Por se tratar de um ambiente costeiro que atualmente está inserido em uma Unidade de Conservação urbana, analisou-se também o contexto socioambiental em que está inserido, impactos ambientais existentes no seu limite norte (o mais afetado pela urbanização) e as ações de gestão existentes na região, a fim de dar subsídios à gestão deste espaço protegido e do patrimônio natural do município, como um todo.

Os resultados obtidos permitiram constatar que o campo de dunas de Itapeva é um ambiente resultante de um regime de ventos que, aliado ao contexto geológico em que se situa, propicia feições eólicas singulares na costa do RS. Nos vários capítulos apresentados, detectaram-se mudanças recentes nas características do setor costeiro de Itapeva, como a retração da área de dunas livres, o avanço da urbanização sobre o campo de dunas, o surgimento de redes de drenagem na área (sangradouros), o maior crescimento de vegetação e modificações nas feições eólicas presentes.

Através da análise espaço-temporal das feições eólicas presentes neste setor da costa do RS, constatou-se que o campo de dunas de Itapeva encontra-se em processo de estabilização, influenciado por fatores climáticos naturais (aumento da precipitação e diminuição da velocidade média dos ventos, propiciando condições favoráveis ao aumento da cobertura vegetal), aliado a uma influência antrópica (remoção de sedimentos do sistema pela ocupação/urbanização da área originalmente ocupada por dunas e drenagens naturais). Já as análises realizadas em subsuperfície mostraram que o setor costeiro de Itapeva é um setor progradante da costa do RS, e constitui um ambiente geologicamente confinado (pouca espessura sedimentar sobre o embasamento), no qual as variações climáticas das últimas décadas puderam ser observadas rapidamente pelas modificações nos ambientes deposicionais em superfície que ali se encontram, como por exemplo, a colonização mais rápida da

vegetação neste campo de dunas quando comparado aos demais campos de dunas da costa do RS.

Por caracterizar-se como um setor costeiro em progradação, não era esperada a presença de campos de dunas transgressivos na barreira costeira de Itapeva (Barboza & Rosa, 2014), porém, a presença das dunas na região de Itapeva está relacionada à presença de um limitador físico ao norte, o Morro das Furnas, que atua como barreira de sedimentos provenientes do transporte longitudinal oceânico, e seu posterior retrabalhamento pelos ventos atuantes na região (principalmente S e NE).

Os métodos e as ferramentas utilizadas para caracterização geomorfológica e estratigráfica da região (sensoriamento remoto e georradar) foram complementares e contribuíram para o conhecimento do meio físico, bem como as análises de dados climatológicos e as observações de campo. Os demais métodos de investigação utilizados (entrevistas, análise da legislação e outros documentos, observações e registros de campo) contribuíram para a análise socioambiental da área, e proposição de ações de gestão. Todos os dados foram organizados e integrados em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG), essencial para a gestão de dados espaciais, auxiliando nas análises realizadas e constituindo um banco de dados abrangente da área de estudo.

No âmbito da gestão, uma das principais constatações desta Tese refere-se à necessidade de integração das esferas estadual (RS) e municipal (Torres) nas ações de gestão para uma eficaz conservação e preservação dos ambientes protegidos pelo Parque Estadual de Itapeva, bem como a inserção da população local neste processo. Um planejamento turístico voltado ao Turismo Ecológico seria de grande valia para o município de Torres, o qual poderia integrar o PEVA ao Parque da Guarita em prol da conservação do seu patrimônio natural (geológico e ambiental).

Assim, este trabalho contribui de forma significativa para o enriquecimento do conhecimento sobre a geomorfologia e evolução geológica deste setor da costa do RS, bem como do contexto socioambiental em que está inserido, o que propiciou a proposição de ações de gestão para a melhor preservação dos ambientes protegidos pelo PEVA e adjacências. O Parque Estadual de Itapeva conserva uma geodiversidade ímpar na planície costeira do RS, composta por um campo de dunas reversas (único na PCRS) e afloramentos rochosos da Serra Geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AREJANO, T.B. 2006. **Geologia e evolução holocênica do sistema lagunar da "Lagoa do Peixe", litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 88p.
- BAKER, G.S.; JORDAN, T.E. & PARDY, J. 2007. An introduction to ground penetrating radar (GPR). In: BAKER, G.S. & JOL, H.M. (Eds.). **Stratigraphic analyses using GPR**. The Geological Society of America Special Paper, 432, 1-18.
- BARBOZA, E.G.; DILLENBURG, S.R.; ROSA, M.L.C.C.; TOMAZELLI, L.J.; HESP, P.A. 2009. Ground-penetrating radar profiles of two Holocene regressive barriers in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. SI56, p. 579-583.
- BARBOZA, E.G. & ROSA, M.L.C.C. 2014. Indicadores geológicos e geomorfológicos de setores em erosão na costa do Rio Grande do Sul. In: César Goso. (Org.). **Nuevas miradas a la Problemática de los ambientes costeros Sur de Brasil, Uruguay y Argentina**. 1ed.Montevideo: DIRAC Facultad de Ciencias, v.1, p. 83-98.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R.; HESP, P.A.; TOMAZELLI, L.J.. & AYUP-ZOUAIN, R.N. 2011a. Evolution of the Holocene Coastal Barrier of Pelotas Basin (Southern Brazil) - a new approach with GPR data. **Journal of Coastal Research** , v. SI 64, p. 646-650.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R. & TOMAZELLI, L.J. 2013. Preservation potential of foredunes in the stratigraphic record. **Journal of Coastal Research**, SI 65, 1265-1270.
- BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J. & AYUP-ZOUAIN, R.N. 2011b. Comportamento Regressivo/Transgressivo da linha de costa na Bacia de Pelotas durante o Holoceno Médio e Tardio. In: LÓPEZ, R.A.; MARCOMINI, S.C. (Org.). **Problemática de Los Ambientes Costeros: Sur de Brasil, Uruguay y Argentina**. 1 ed. Buenos Aires - Argentina: Editorial Croquis, 2011, v. 1, p. 15-30.
- BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R. & ROSA, M.L.C.C. 2008. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Erosão em Longo Período. **Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología**, v. 15, p. 94-97.
- CARDOSO, L.S.; SILVEIRA, A.L.L.; MARQUES, D.M.L.M. 2003. A ação do vento como gestor da hidrodinâmica na Lagoa Itapeva (Litoral Norte do Rio Grande do Sul-Brasil). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Vol.8, n.3, p.5-15.

- CLEROT, L.C.P. 2004. **Estudo da Barreira IV na Região do Cassino, Rio Grande-RS: Evolução e Caracterização como Reservatório**. Porto Alegre. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 77p.
- DILLENBURG, S.R. 1994. O potencial de preservação dos registros sedimentares do sistema deposicional Laguna/Barreira IV na costa do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, Porto Alegre, 9, p. 1-11.
- DILLENBURG, S.R.; ROY, P.S.; COWELL, P.J. & TOMAZELLI, L.J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). **Journal of Coastal Research**, v.16, p.71-81.
- DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J. & BARBOZA, E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Marine Geology**, v.203, n.1-2, p.43-56.
- DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; HESP, P.A.; BARBOZA, E.G.; CLEROT, L.C.P. & SILVA, D.B., 2006. Stratigraphy and evolution of a prograded barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 132 -135. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.
- DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J.; MARTINS, L.R. & BARBOZA, E.G. 2005. Modificações de Longo Período da Linha de Costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. **Gravel**, Porto Alegre, n.3, p. 9-14, ISSN 1678-5975.
- DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; CARON, F. & SAWAKUCHI, A.O. The complex prograded Cassino barrier in Southern Brazil: geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea level changes in the last 7-6 ka. **Marine Geology**, *submetido*.
- DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; HESP, P. A.; CLEROT, L. C. P. & AYUP-ZOUAIN, R. N. 2009. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: DILLENBURG, S.R.; HESP, P.A. (Org.). **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, v.107, p.53-91.
- DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; ROSA, M.L.C.C. & MACIEL, G.S. 2013. Aeolian Deposition and Barrier Stratigraphy of the Transition Region between a Regressive and a Transgressive Barrier: an example from Southern Brazil. In: CONLEY, D.C., MASSELINK, G., RUSSELL, P.E. AND O'HARE, T.J. (eds.), Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), **Journal of Coastal Research**, Special Issue n.65, p.464-469, ISSN 0749-0208.
- FALCÃO, M. 2000. A dinâmica espacial da cidade de Torres/RS, entre 1970 e 1998. **Boletim Gaúcho de Geografia**, 26:158-172. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/bgg/article/view/39643/26528>

- FRYBERGER, S.G. & DEAN, G. 1979. Dune forms and wind regime. In: MCKEE, E.D. (Ed.). **A Study of Global Sand Seas**. USGS, Professional paper 1052:137-169.
- GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. 2002. **Decreto Estadual nº 42.009**, de 12 de dezembro de 2002. Cria o Parque Estadual de Itapeva e dá outras providências.
- GRACIANO, C.T. 2004. **A Torres de concreto: da expansão turístico-urbana dos anos 70 à crise dos anos 90, um estudo sobre o processo de urbanização em Torres/RS**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em História (Dissertação de Mestrado), Porto Alegre, 216p.
- GRUBER, N.L.S.; STROHAECKER, T.M.; AYUP-ZOUAIN, R.N. & FARINA, F. 2011. Subsídios à Gestão Costeira: vulnerabilidades ambientais e aspectos legais para normativas de uso e ocupação. In: LÓPEZ, R.A.; MARCOMINI, S.C. (Org.). **Problemática de los Ambientes Costeros: Sur de Brasil, Uruguay y Argentina**. 1ed. Buenos Aires: Editorial CROQUIS, 2011, v.1, p. 41-56.
- GUIMARÃES, L.S. 2005. **Morfodinâmica e Migração das Dunas Eólicas na Reserva Ecológica do Taim, Litoral Sul do RS**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Dissertação de Mestrado). 108p.
- HEIDRICH, A.L. (et al.). 2005. **Diagnóstico sócio-econômico e ambiental da unidade de conservação do parque estadual de Itapeva** [recurso eletrônico]. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Geociências/Departamento de Geografia, 2005. Relatório Técnico. 1 CD-ROM.
- HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J.; AYUP-ZOUAIN, R.N.; ESTEVES, L.S.; GRUBER, N.L.; TOLDO, E.E. JR.; TABAJARA, L.L.C.A. & CLEROT, L.C.P. 2005. Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.77, p.493-508.
- HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G.; CLEROT, L.C.P.; TOMAZELLI, L.J. & AYUP-ZOUAIN, R.N. 2007. Morphology of the Itapeva to Tramandaí transgressive dunefield barrier system and mid- to late Holocene sea level change. **Earth Surface Processes and Landforms**, 32, 407-414.
- LIMA, L.G. 2008. **Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na praia do Hermenegildo (RS)**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Dissertação de Mestrado). 78p.
- LIMA, L.G. 2012. **Estratigrafia e evolução holocênica de uma barreira costeira transgressiva-regressiva, litoral norte do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 128p.

- LOPES, R.P.; OLIVEIRA, L.C.; FIGUEIREDO, A.M.G.; KINOSHITA, A.; BAFFA, O.; BUCHMANN, F.S. 2010. ESR dating of pleistocene mammal teeth and its implications for the biostratigraphy and geological evolution of the coastal plain, Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Quaternary International**, v.212(2), p.213-222.
- MARTINHO, C.T. 2008. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 216p.
- MARTINHO, C.T; DILLENBURG, S.R. & HESP, P. 2008. Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. **Marine Geology**, v. 256, p.49–64. doi:10.1016/j.margeo.2008.09.006
- MARTINHO, C.T; DILLENBURG, S.R. & HESP, P. 2009. Wave energy and longshore sediment transport gradients controlling barrier evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, 25(2), 285–293. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208. DOI: <http://dx.doi.org/10.2112/06-0645.1>
- MARTINHO, C.T.; HESP, P.; DILLENBURG, S.R. 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. **Geomorphology**, v.117, p.14–32. doi:10.1016/j.geomorph.2009.11.002
- NEAL, A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. **Earth-Science Reviews**, 66 (3-4): 261–330.
- PEARCE, K.I. & WALKER, I.J. 2005. Frequency and magnitude biases in the ‘Fryberger’ model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. **Geomorphology**, 68: 39-55.
- PEREIRA, R.C. 2004. **Áreas de proteção ambiental no litoral norte do Rio Grande do Sul : um estudo de caso sobre o bairro Riacho Doce e o parque estadual de Itapeva**. Torres – RS. Criciúma, do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (Dissertação de Mestrado). 129p.
- ROCKETT, G.C. 2014. Sensoriamento Remoto e Georradar Aplicados à Caracterização de Sistemas Eólicos Costeiros (uma revisão). **Gravel**, 12(1), p.15-39, ISSN 1678-5975.
- ROSA, M.L.C.C. 2012. **Geomorfologia, estratigrafia de seqüências e potencial de preservação dos sistemas Laguna-Barreira do Quaternário Costeiro do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 246p.
- ROSA, M.L.C.C.; BARBOZA, E.G.; BARBOZA, E.G.; DILLENBURG, S.R.; TOMAZELLI, L.J. & AYUP-ZOUAIN, R.N. 2011. The Rio Grande do Sul (southern Brazil) shoreline behavior

- during the Quaternary: a cyclostratigraphic analysis. **Journal of Coastal Research**, v. SI 64, p.686-690.
- SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. 2006. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Itapeva**. Porto Alegre: SEMA. 274p.
- STROHAECKER, T.M. 2007. **A Urbanização no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul: contribuição para a gestão urbana ambiental do município de Capão da Canoa**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 399p.
- 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**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Tese de Doutorado). 270p.
- TOMAZELLI, L.J. 1993. O Regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, v.20 (1), p.18-26.
- TOMAZELLI, L.J. 1994. Morfologia, organização e evolução do campo eólico costeiro do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, v.21 (1), p.64-71.
- TOMAZELLI, L.J. 2001. Sistematização dos conhecimentos existentes sobre as dunas móveis do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: relatório final. Porto Alegre: FEPAM, 2001. 25p. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/programas/gerco_norte.asp.
- TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G. & STRIM, J. 2003. O sistema de dunas eólicas transgressivas do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: situação atual e definição de áreas prioritárias à preservação. In: **IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, Recife. Anais... Recife-PE. CD-ROM. 4p.
- TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R.; BARBOZA, E.G. & ROSA, M.L.C.C. 2008. Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos de Cidreira e Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 35, p. 47-55.
- TRAVESSAS, F.A. 2003. **Estratigrafia e evolução no holoceno superior da barreira costeira entre Tramandaí e Cidreira (RS)**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências (Dissertação de Mestrado). 38p.
- TRAVESSAS, F.A.; DILLENBURG, S.R. & CLEROT, L.C.P. 2005. Estratigrafia e evolução da barreira holocênica do Rio Grande do Sul no trecho Tramandaí-Cidreira. **Boletim Paranaense de Geociências**, n.57, p.57-73.
- UGRI, A. 2004. **Mudanças em escala histórica das dunas costeiras do extremo sul do Brasil**. Rio Grande. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica (Dissertação de Mestrado). 86p.

- VILLWOCK, J.A. 1984. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, southern Brazil: A Synthesis. **Pesquisas**, 16, p.5-49.
- VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, n.8, p. 1-45.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE ESTUDO



Figura 1 – Área de estudo e contexto geológico (Orientação da fotografia: NE-SW).Mai/2013.

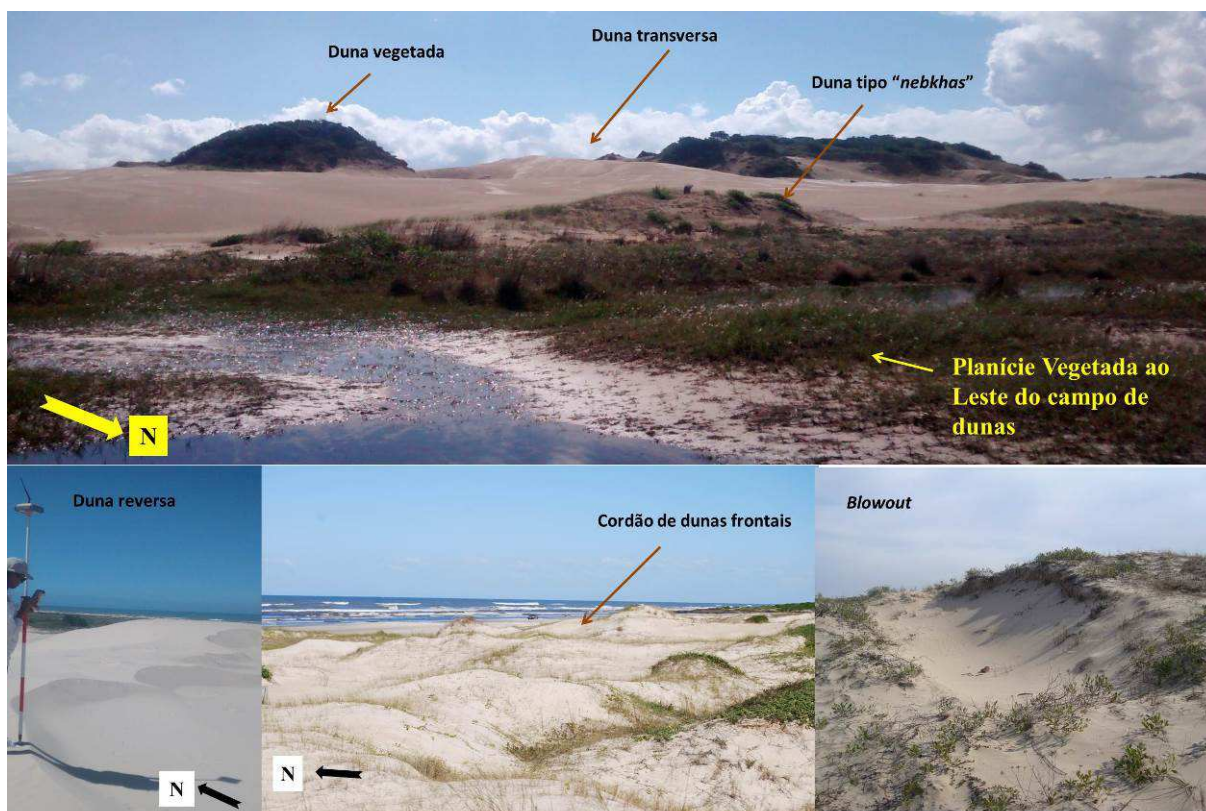


Figura 2 - Feições eólicas predominantes no campo de dunas de Itapeva



Figura 3 – Fotografia antiga da Praia da Guarita e campo de dunas de Itapeva ao fundo – sem data (orientação da fotografia: E-W). Fonte: Historiadores de Torres (no Facebook).





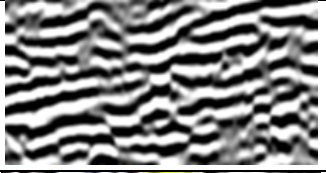

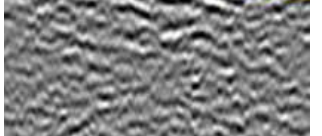
Figura 4 – Fotografia aérea oblíqua do Parque de Itapeva, em 26/julho/2016 (orientação da fotografia: SE-NW). Fonte: Thiago Nóbrega Lisboa/ONG Oceano Vivo.



Figura 5 – Fotografia aérea mostrando em primeiro plano: a Praia de Fora/Itapeva (à esq.), o Morro das Furnas (centro), a Praia da Cal (à dir.). Ao fundo: as dunas de Itapeva, a Lagoa de Itapeva e as escarpas da Serra Geral, em 26/julho/2016. Fonte: Thiago Nóbrega Lisboa/ONG Oceano Vivo.

APÊNDICE B – RADARFÁCIES IDENTIFICADAS COM ANTENA DE 200 MHZ

Quadro1 - Radarfácies (Rf) do setor costeiro da Itapeva, Torres-RS: unidades identificadas.
Ilustrações extraídas de seções adquiridas com antenas de 200 MHz.

Rf	Descrição	Interpretação	Espessura	Imagem
5	refletores migrando no sentido NE-SW	Cavas preenchidas pelo sistema eólico	~2,5 m	
4	refletores contínuos de baixo ângulo migrando /progradando em direção ao oceano	<i>Foreshore/backshore</i>	~4 à 5 m	
3	refletores contorcidos e descontínuos	<i>Shoreface superior</i>	~6 à 10 m	
2	refletores paralelos e relativamente contínuos	<i>Shoreface inferior</i>	~3 à 5 m	
1	Perda do sinal	Embasamento	--	

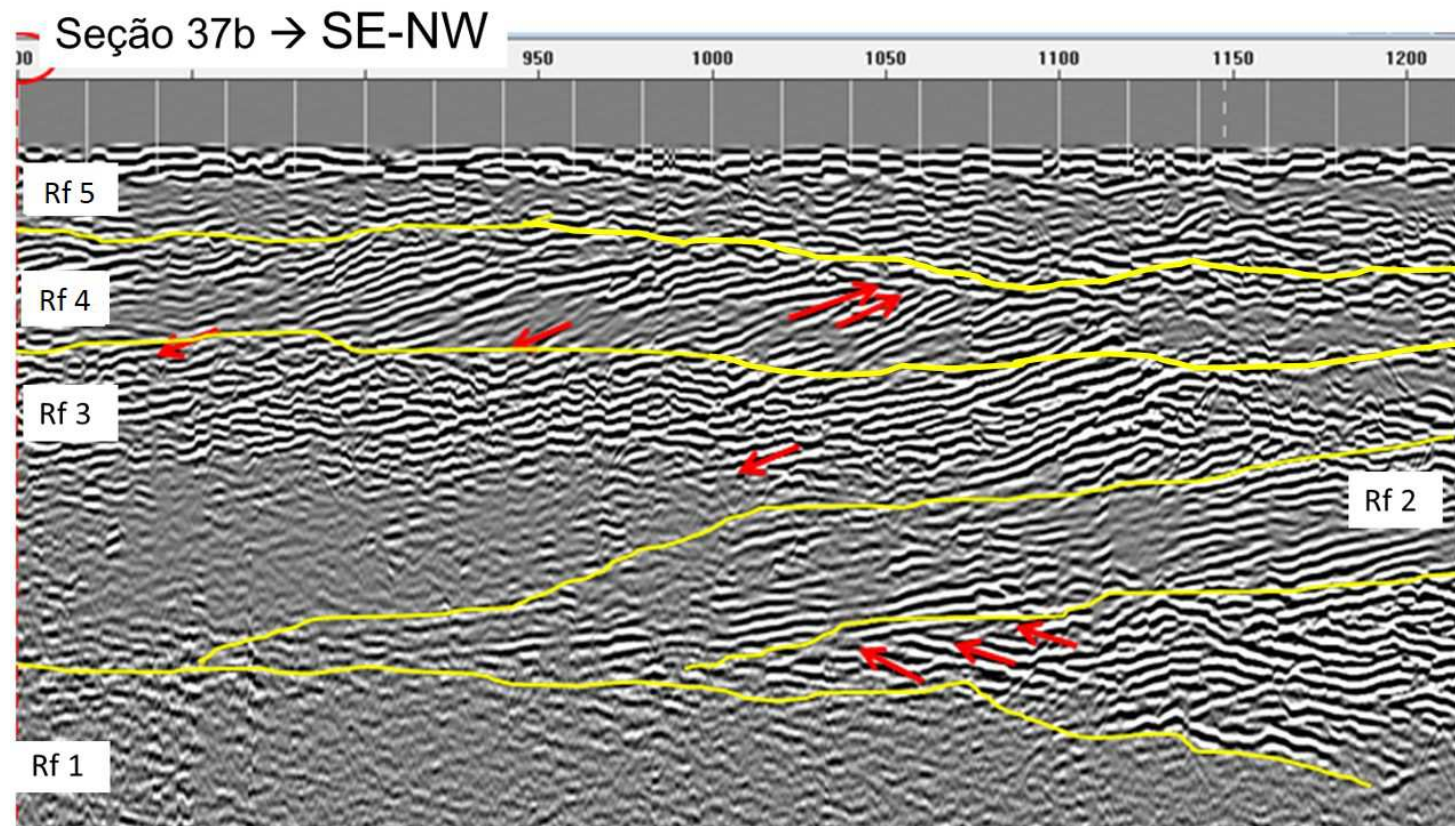


Figura 1 - Seção de georradar 37b (200 MHz) com as interpretações realizadas – linhas amarelas separam radarfácies distintas e setas vermelhas indicam terminação de refletores.

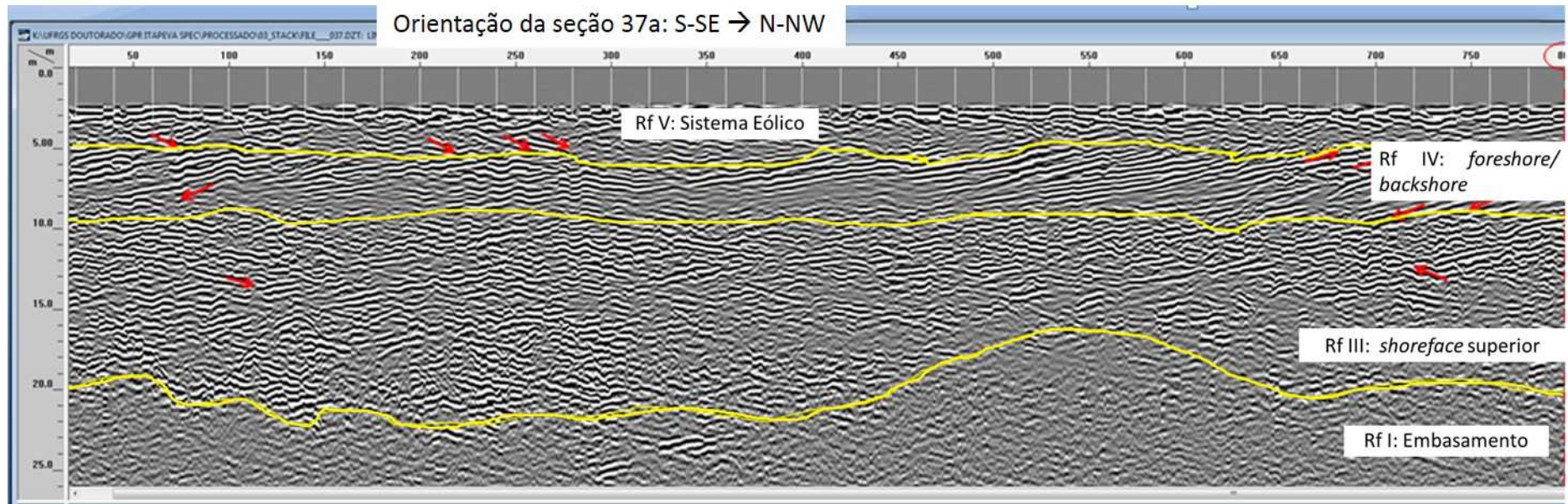


Figura 2 - Segmento de uma seção de georradar de 200 MHz (seção 37a), onde é possível a visualização de quatro das cinco radarfácies identificadas e a interpretação dos ambientes. As linhas amarelas representam os limites entre as radarfácies. O padrão de empilhamento dos pacotes sedimentares identificados indica a progradação do sistema no sentido do oceano. A espessura sedimentar máxima estimada pelos dados de georradar é de 22 m.

APÊNDICE C – REGISTRO DE IMPACTO AMBIENTAL POR PREDACÃO DE ANIMAL NATIVO – PARQUE DA GUARITA

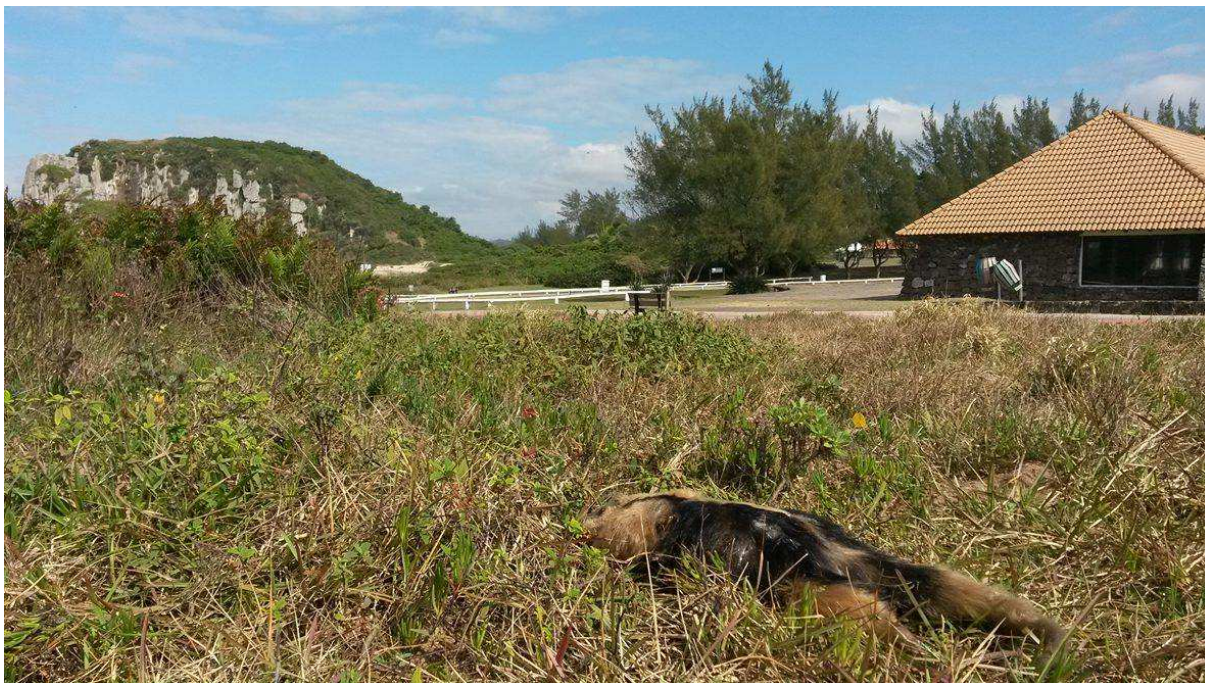


Figura 1 – Registro fotográfico de Tamanduá Mirim morto por cães dentro do Parque da Guarita, adjacente ao PEVA, em meados de agosto/2016 (orientação da fotografia: NE-SW). Fotografia de Thiago Nóbrega Lisboa/ONG Oceano Vivo.

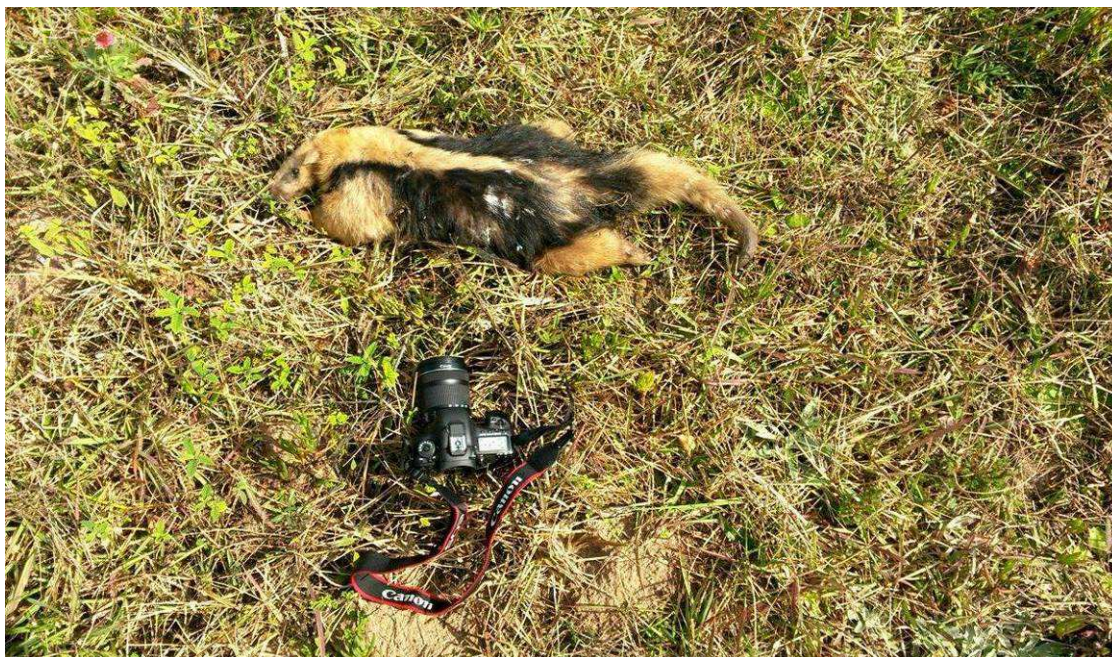


Figura 2 – Registro fotográfico de Tamanduá Mirim morto por cães dentro do Parque da Guarita, adjacente ao PEVA, em meados de agosto/2016. Fotografia de Thiago Nóbrega Lisboa/ONG Oceano Vivo.

APÊNDICE D – LISTA DE RESUMOS PUBLICADOS EM CONGRESSOS

2016

1. **Geomorfologia Eólica do Campo de Dunas de Itapeva-RS.**
Rockett, G.C.; Barboza, E.G.; Hesp, P.; Rosa, M.L.C.C. & Fagundes, M.R.
In: 48º Congresso Brasileiro de Geologia, 2016, Porto Alegre-RS. Anais do 48º Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo-SP: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016. p. ID8725.
2. **Análise da Deriva Potencial de Areia no Campo de Dunas do Parque Estadual de Itapeva-RS.**
Fagundes, M.R.; Rockett, G.C. & Barboza, E.G.
In: 48º Congresso Brasileiro de Geologia, 2016, Porto Alegre-RS. Anais do 48º Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016. p. ID8724.

2015

3. **Ocupação Urbana no Entorno do Parque Estadual de Itapeva e Impactos Ambientais.**
Fagundes, M.R.; Rockett, G.C.; Pittgliani, G.H. & Barboza, E.G.
In: XV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2015, Imbé-RS. Anais do XV Congresso da ABEQUA. Imbé-RS: CECLIMAR/IBIO/UFRGS, 2015. p.151-152.

2014

4. **Geotecnologias Aplicadas à Caracterização Geomorfológica e Geológica de Campos de Dunas: o Caso de Itapeva, RS**
Rockett, G.C.; Rosa, M.L.C.C.; Barboza, E.G. & Ayup-Zouain, R.N.
In: 47º Congresso Brasileiro de Geologia, 2014, Salvador-BA, Anais do 47º Congresso Brasileiro de Geologia, 2014. p. 737 (PAP01667)
5. **Caracterização Geológica e Geomorfológica do Campo de Dunas de Itapeva, RS, Brasil.**
Rockett, G.C.; Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C. & Gruber, N.L.S.
In: XIX Congreso Geológico Argentino, 2014, Córdoba - República Argentina, Actas del XIX Congreso Geológico Argentino, 2014. S12-36, p.1049-1050.

2013

6. **Estimativa da Espessura Sedimentar e Relações Estratigráficas na Região da Planície de Deflação do Campo de Dunas de Itapeva/RS, Através de Dados de Georradar**
Rockett, G. C.; Barboza, E.G. & Rosa, M.L.C.C.
In: XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2013, Natal-RN, Resumos de trabalhos, 2013. v.14.