

Maiara Werner Pinto

**EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA EM ESCALA HISTÓRICA DO
CAMPO DE DUNAS DO SANTINHO-INGLESES NO NORTE DA
ILHA DE SANTA CATARINA**

Dissertação submetido (a) ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pinto, Maiara

EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA EM ESCALA HISTÓRICA DO CAMPO DE
DUNAS DO SANTINHO-INGLESES NO NORTE DA ILHA DE SANTA
CATARINA / Maiara Pinto ; orientador, Antonio Henrique da
Fontoura Klein - Florianópolis, SC, 2015.
169 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa
de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. Campo de dunas Transgressivas. 3.
Morfologia. 4. Overpassing. 5. Pulso sedimentar. I. da
Fontoura Klein, Antonio Henrique . II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Geografia. III. Título.

Este trabalho eu dedicado aos meus
amados pais, que sempre me apoiam
nos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em primeiro lugar a minha família pelo amor e apoio incondicional, principalmente os meus pais, tia Nete e Carol. À Família Mercaldo por todo carinho para comigo, em especial ao Gustavo pelo apoio e atenção durante os meus anos de estudo.

Ao meu orientador, Antonio H. F. Klein, por todas as oportunidades, questionamentos, conversas enriquecedoras e pela confiança.

Ao professor Andrew Cooper por me receber na *ULSTER University*, por me acompanhar em campo, pela troca de conhecimento e engrandecimento nas discussões dos meus resultados.

Ao Ricardo Meireles pela disponibilidade e troca de conhecimento.

A todos do Laboratório de Oceanografia Costeira pela parceria durante esses anos, nos campos, com auxílios nos tratamentos dos dados e nas discussões dos resultados; em especial a Charline, Franco, José e Arthur.

O PRH-PB 240 por todo o suporte durante dois anos.

Ao Ministério do Meio Ambiente por ter financiado o projeto MMA-Riscos, o qual possibilitou o desenvolvimento deste estudo. Ao Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) pelo fornecimento de dados eólicos e precipitação. A Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), pelos dados do lençol freático. Ao Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) pelas fotografias aéreas e pelos dados de ortorretificação de imagem. E também a Secretaria de Desenvolvimento de Santa Catarina (SDS) pelo Modelo Digital de Terreno.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre as variabilidades morfodinâmicas que ocorreram no campo de dunas transgressivas do Santinho/Ingleses através da análise de dados meteorológicos de precipitação (1951-2014) e de vento (1964-2014), vetorização de fotografias aéreas/imagens de satélite (entre 1938 e 2014) e dados morfológicos (2002, 2010 e 2014). A análise de dados pluviométricos, mostra uma tendência de aumento ao longo dos anos da precipitação, com isso, uma diminuição do potencial de deriva eólica e consequente diminuição do transporte de sedimentos para dentro do campo de dunas, favorecendo à estabilização das dunas pela vegetação.

No decorrer dos doze anos o volume sedimentar do campo de dunas diminuiu em 17%, porém, foi verificado um pulso sedimentar de aproximadamente 70.000 m^3 (ciclo de dez anos), a partir das dunas frontais ao norte da praia do Santinho. Parte desse sedimento está sendo fixado pelo crescimento da vegetação e parte está migrando até a praia dos Ingleses. Contudo, a velocidade é menor que nos anos anteriores, justificando a erosão na praia dos Ingleses no período entre a entrada do pulso sedimentar até sua chegada na praia. De maneira geral, o sistema eólico como um todo, está evoluindo de um grande campo de dunas ativas para um sistema com volume menor (de $3.066.695 \text{ m}^3$ em 2002 para $2.542.653 \text{ m}^3$ em 2014) e aumento da estabilidade (47% entre 1938 e 2014). Dessa forma, o sistema se encontra em um balanço sedimentar positivo, uma vez que pelo setor norte da praia do Santinho entra cerca de $6.000 \text{ m}^3/\text{ano}$ de sedimento e desses, de $3.000\text{-}5.000 \text{ m}^3/\text{ano}$ chegam à praia dos Ingleses através do *overpassing* pelo campo de dunas.

Palavras-chave: Campo de dunas Transgressivas. *Overpassing*. Pulso sedimentar.

ABSTARCT

This master thesis presents a study of the morphodynamic variability that occurred in the transgressive dunefield of Santinho / Ingleses by analyzing meteorological precipitation data (1951-2014) and wind (1964-2014), vectorization of aerial photographs / satellite images (between 1938 and 2014) and morphological data (2002, 2010 and 2014). The rainfall data analysis shows an increasing trend over the years, thus, a decrease in the drift potential of wind and consequent reduction of sediment transport into the dunefield, favoring the dunes stabilization by the vegetation.

Over twelve years, the sediment volume of dunefield decreased 17%, however, a sedimentary pulse was checked approximately 70,000 m³ (ten-year cycle), from the fore dune in the north of Santinho beach. Part of this sediment is being fixed by the vegetation growth and part is migrating to Ingleses beach. However, the speed is lower than in previous years, justifying the erosion at Ingleses in the period between the entry of sediment pulse until it's arrival at the beach. In general, the dunefield system as a whole, is evolving from a large field of active dunes for a system with less volume (3.066.695m³ in 2002 to 2.542.653m³ in 2014) and increased stability (47% between 1938 and 2014). Thus, the system is in a positive sedimentary balance, once the northern sector of Santinho beach get in about 6.000m³/year of sediment and about 3.000-5.000m³/year arrived to Ingleses from the overpassing of dunefield.

Keywords: Transgressive dunefield. Overpassing. Sedimentary pulse.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Em verde pode ser observado sistemas dunares bem desenvolvidos por todo o mundo, e a bolinha marca o local das ilhas barreiras mais extensas. Esses por sua vez tendem a existir onde existam ilhas barreiras ou costas dominadas por ondas. Fonte: (Martínez;Psuty, 2004). 30
- Figura 2: Exemplos de morfologia de dunas frontais. Em A e B, Terraço e Cordão respectivamente, em dunas incipiente. Em C Rampa, na duna estabelacida. Fonte: Giannini (2007)...... 33
- Figura 3: Esquema da ruptura de deflação, modificado de Hesp (2002). 33
- Figura 4: Em (A), foto de Giannini (2007) de uma duna parabólica com os rastros lineares residuais e em (B), esquema da evolução das feições até a duna parabólica, modificado de Hesp (2002). 34
- Figura 5: As setas amarelas apresentam os retrocordões em Ibiraquera – SC. Foto de Giannini (2007). 34
- Figura 6: Nebkhas em meio à vegetação sem face de avalanche, em Jaguaruna-SC. Foto: Giannini (2007). 35
- Figura 7: Montes residuais em Ibiraquera-SC. Foto: Giannini (2007).. 35
- Figura 8: Em (A), cordão de precipitação sinuoso observados em Jaguaruna-SC e (B), retilíneo existente em Ibiraquera-SC. Foto: Giannini (2007). 36
- Figura 9: Exemplo de franjas de areia eólica em praia dissipativa. Foto:A) Giannini (2007);B) Renata A.R.N. 36
- Figura 10: Protodunas transversais em Imbituba-SC. Foto: Giannini (2007). 37
- Figura 11: Duna Transversal localizadas em Jaguaruna-SC. 37

Figura 12: Elemento morfológico situado à direita na parte superior da duna barcana. Foto: Giannini (2007) em Imbituba-SC.	38
Figura 13: Troca sedimentar no sistema Praia-Duna. O sedimento do banco é transferido à praia e à duna; a duna por sua vez, retorna sedimentos para a praia e zona de surfe. Modificado de: Martínez;Psuty (2004).	39
Figura 14: A geomorfologia e as características das dunas costeiras em relação à velocidade relativa do vento e a progradação das feições. Modificado de Bird (2000).	40
Figura 15: Escala de tempo pela variação espacial proposta por Sherman; Hotta (1990).	41
Figura 16: Área de estudo da presente pesquisa: Norte da Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil.	45
Figura 17: Série de dados de 34 anos a esquerda e de 1 ano a direita, registrados na Ilha do Arvoredo. Adaptado de Miot da Silva (2006). ..	47
Figura 18: Mapa geológico da planície costeira da praia do Santinho – Ilha de Santa Catarina. (Fonte: PEIXOTO, 2005).	50
Figura 19: Fluxograma simplificado da metodologia aplicada nesse estudo.	55
Figura 20: Tabela a qual Greenwaland; Schultz (1968) apresentam em seu trabalho para determinar o incremento linear, circular e esférico de acordo com o intervalo de confiança.	58
Figura 21: Exemplo da área de estudo com as categorias de vegetação, urbanização e água vetorizadas para o ano de 2013.	60
Figura 22: Polígonos criados no entorno das dunas ao longo dos anos, para obter um polígono final com uma área comum e assim calcular a porção ocupada pela cobertura vegetal no campo de dunas.	61
Figura 23: Imagem com o <i>Shapefile</i> de linha para exemplificar a demarcação das feições do campo de dunas.	62

Figura 24: Campo de dunas do Santinho/Ingleses com os marcos feitos na primeira saída de campo em maio de 2014.	64
Figura 25: Base do DGPS (à esquerda) juntamente com a antena externa (à direita), posicionada no marco mais ao Norte do Sistema Santinho/Ingleses.	65
Figura 26: Caminhamento realizado com DGPS-RTK no campo de dunas Santinho/Ingleses.	65
Figura 27: Caminhamento realizado com DGPS-RTK na duna frontal da praia do Santinho.....	66
Figura 28: Delimitação da área de estudo através do retângulo vermelho abrangendo as praias do Santinho (a Sudeste) e a praia dos Ingleses (a Norte). Os pontos em preto representam os dados altimétricos, o polígono amarelo delimita a área de interpolação para análise do volume do campo de dunas e em laranja, área interpolada para aduna frontal. .	68
Figura 29: Modelo Digital de Terreno sob a área de estudo, delimitado pelo retângulo vermelho. O polígono amarelo delimita a área de interpolação para análise do volume do campo de dunas e em laranja, para a duna frontal.....	69
Figura 30: Localização da estação meteorológica (em rosa) e pontos de reanálise na costa da região estudada.	72
Figura 31: Localização dos onde foram coletadas amostras sedimentares por Boeyinga <i>et al.</i> , (2007), as quais foram utilizadas para o cálculo do Potencial de Deriva Eólica.	73
Figura 32: Distribuição da pluviosidade para as três estações analisadas (BDC, BNDO e INMET) desde 1951 até 2014.....	77
Figura 33: Representação gráfica em caixa da quantidade de chuva associada às estações do ano e aos eventos extremos (percentil 10% dos dias mais chuvosos). As extremidades das linhas horizontais representam os valores máximos e mínimos, em uma vez e meio o intervalo interquartis, as caixas definem o intervalo interquartis e os círculos o valor médio de precipitação.....	78

Figura 34: Localização dos pontos com as séries de dados e suas respectivas rosas de vento.....	79
Figura 35: Gráfico que apresenta a porcentagem de cada direção dos ventos na série histórica, para os oito pontos analisados.	80
Figura 36: Área comum em todas as fotografias aéreas/imagens de satélite para analisar a evolução da cobertura vegetal no campo de dunas.	81
Figura 37: Distribuição área ocupada pela vegetação (em m ²) no campo de dunas, entre 1938 e 2014.....	82
Figura 38: Exemplo de início do crescimento da vegetação em uma poça, após dias de chuva em agosto de 2014. Fotografia tirada no sentido de norte para sul do campo de dunas.....	82
Figura 39: Evolução da cobertura vegetal e localização do curso d'água no campo de dunas.....	83
Figura 40: Gráfico do crescimento da urbanização (em m ²) na área de estudo, entre 1938 e 2014.	84
Figura 41: Maior crescimento na porção norte da área de estudo, assim como em áreas de riscos.....	85
Figura 42: Campo de dunas migrando para norte e iniciando a cobertura do imóvel.	86
Figura 43: Migração das feições eólicas analisadas entre 2002 (laranja) e 2003 (marrom).	88
Figura 44: Migração das feições eólicas analisadas entre 2003 (laranja) e 2004 (marrom).	90
Figura 45: Migração das feições eólicas analisadas entre 2013 (laranja) e 2014 (marrom).	92
Figura 46: Posição das cristas de dunas (em laranja a mais antiga e marrom a mais recente) coletadas com DGPS em modo RTK (configurada como topo contínuo, para aquisição a cada segundo).....	94

Figura 47: Potencial de deriva eólica encontrado para cada ponto analisado.....	96
Figura 48: Potencial de deriva analisado sazonalmente, para cada ponto de dado.	97
Figura 49: Localização dos pontos com as séries de dados e suas respectivas direções de deriva resultantes.	98
Figura 50: Erro Quadrático médio calculado para cada método de interpolação e a barra representando o desvio padrão de cada um.....	99
Figura 51: Interpolações realizadas com dados de altimetria do IPUF (2002), modelo digital de terreno da SDS (2010) e DGPS (2014).....	100
Figura 52: Feição eólica sendo visualizada de norte para sul. Destaca-se o poste adaptado para o sedimento não recobrir os fios de eletricidade, assim como resquícios de ranchos dos pescadores já destruídos por outras feições eólicas que por ali passaram.	101
Figura 53: MDT criado a partir dos dados topográficos coletados em 2014 com DGPS, na esquerda a interpolação realizada com IDW e a direita, a mesma com a imagem do Google Earth em cima.	102
Figura 54: Valores de área e volume sedimentar para a duna frontal do Santinho durante os anos de 2002, 2010 e 2014.	104
Figura 55: Análise da área e do volume da duna frontal do Santinho para três setores em 2002, 2010 e 2014.	105
Figura 56: Período do primeiro estágio de evolução do campo de dunas Santinho/Ingleses (1938-1957).	107
Figura 57: Período do segundo estágio de evolução do campo de dunas Santinho/Ingleses (1957-1978).	108
Figura 58: Período correspondente ao terceiro estágio de evolução do campo de dunas Santinho/Ingleses, desde 1978 até a atualidade.	109

Figura 59: Mapa elaborado por Farias (2011) a partir de estereoscopia, o qual apresenta um curso d'água próximo ao embasamento cristalino, não visualizado na vetorização da fotografia aérea de 1957..... 113

Figura 60: Variação da linha de costa para o norte da Ilha de Santa Catarina. Fonte: Vieira da Silva *et al.*, (*in press*)...... 120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela com todas as informações das fotografias aéreas e imagens de satélite analisadas para o presente estudo.....	57
Tabela 2: Localização das estações meteorológicas onde dados de vento e precipitação foram obtidos.	70
Tabela 3: Informações dos dados de ventos aqusitados para os oito pontos analisados.	71
Tabela 4: Classes de direções dos ventos utilizadas nas análises.....	74
Tabela 5: Resumo dos ventos dominantes e predominantes para os oito pontos analisados.	80
Tabela 6: Taxa de migração para cada feição analisada entre 2002 e 2003.....	89
Tabela 7: Taxa de migração para cada feição analisada entre 2003 e 2004.....	91
Tabela 8: Taxa de migração para cada feição analisada entre 2003 e 2004.....	93
Tabela 9: Taxa de migração para cada feição aqusitada no campo eólico, com DGPS em maio e agosto de 2014.	95

LISTA DE SIGLAS

BDC = Banco de Dados Climatológicos;
BNDO = Banco Nacional de Dados Oceanográficos;
CASAN = Companhia Catarinense de Águas e Saneamento;
CFSR = Sistema de Reanálise da Previsão Climática;
DDR = Direção de Deriva Resultante;
DGPS = *Differential Global Positioning System*;
DIMOP = Divisão de Manutenção e Operação de Poços;
DP's = Potenciais de deriva;
EQM ou RMS = Erro Quadrático Médio ou *Root Mean Square*;
IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IDW = *Inverse Distance Weighting*;
INMET = Instituto Nacional Meteorológico;
IPUF = *Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis*;
LOC = Laboratório de Oceanografia Costeira;
MDT = Modelo Digital de Terreno;
mPA = Massa Polar Atlântica;
mTA = Massa Tropical Atlântica;
NOAA = *National Oceanic and Atmospheric Administration*;
NSSDA = *National Standard for Spatial Data Accuracy*;
PA's = Pontos de Apoio;
PCs = Pontos de controle;
RBMC = Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo;
RN = Referencial de nível;
RTK = *Real Time Kinematic*;
SDS = Secretaria de Desenvolvimento Sustentável;
SMAS = Sistema de Monções da América do Sul;
WGS = *World Geodetic System*;
WW3 = *Wave Watch 3*.

LISTA DE SÍMBOLOS

$A = 0,1$ (constante estimada por Bagnold (1941));

d = o diâmetro do grão em mm.

DPI = pontos por polegada;

g = a aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$);

h = altitude elipsoidal/geométrica;

H = altura geoidal/ortométrica;

i = o valor do alcance de 1 a n ;

n = o número de pontos testes;

N = ondulação do geóide;

PM = tamanho do pixel em metros;

Q = quantidade de sedimento transportada pelo vento em um determinado tempo;

q = quantidade proporcional de sedimento transportado pelo vento em um determinado tempo;

S = escala;

t = porcentagem dos registros obtidos para a frequência das direções dos ventos;

V = ponto – médio (velocidade média do vento medida à 10m de altura);

$V_{(10)}$ = a velocidade limite crítica de impacto;

V^*t = a velocidade limiar de cisalhamento (m s^{-1});

$V't$ = a velocidade de cisalhamento;

V_i = velocidade limite de impacto à 10m de altura;

$x_{\text{check},i}$; $y_{\text{check},i}$ = as coordenadas para o ponto;

$x_{\text{data},i}$; $y_{\text{data},i}$ = as coordenadas medidas no dataset;

Z = altura padrão dos dados de vento (10 metros);

Z' = o fator de rugosidade da superfície do grão;

ρ_a = a densidade do ar ($1,22 \text{ kg/m}^3$);

ρ_s = a densidade do grão (2650 kg/m^3);

σ_c = erro do georreferenciamento propagado de forma circular.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	27
1.1 Introdução.....	27
1.2 Objetivos.....	28
1.2.1 Geral.....	28
1.1.1 Específico.....	29
1.2 Pergunta de pesquisa	29
1.3 Hipóteses	29
1.4 Revisão bibliográfica.....	29
1.4.1 Dunas Costeiras.....	29
1.4.2 Interação Praia-Duna.....	38
1.4.3 Escala de Evolução das Dunas Costeiras	40
1.4.4 Transporte Eólico de Sedimento	41
1.4.5 Potencial de Deriva Eólica	43
CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDO	45
2.1 Introdução.....	45
2.2 Clima e ventos	46
2.3 Ondas e marés.....	48
2.4 Fisiografia.....	49
2.5 Cobertura Vegetal.....	52
2.6 Histórico de ocupação	53
CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS	55
3.1 Introdução.....	55
3.2 Fotografias aéreas/imagens de satélite e georreferenciamento	55
3.3 Vetorização e cálculo da área de ocupação do sistema.....	60
3.4 Identificação das feições do campo de dunas	62
3.5 Taxa de migração do Sistema Eólico entre 1994 e 2014.....	63

3.6	Levantamento topográfico em 2014.....	63
3.7	Cálculo do volume do Sistema Santinho-Ingleses	67
3.8	Análise de dados meteorológicos e sedimentológicos secundários	70
3.9	Cálculo do Potencial de Deriva Eólica.....	74
CAPÍTULO 4.	RESULTADOS	77
4.1	Fatores Ambientais e Antrópicos	77
4.1.1	Registros de precipitação	77
4.1.2	Análise do comportamento dos ventos na costa da Ilha de Santa Catarina	78
4.1.3	Evolução da cobertura vegetal no campo eólico.....	80
4.1.4	Crescimento da urbanização na área de estudo.....	83
4.2	Geomorfologia e Transporte de Sedimentos	86
4.2.1	Descrição das feições eólicas observadas entre 1938-2014	86
4.2.2	Migração das cristas de dunas do sistema Santinho/Ingleses.....	87
4.2.3	Potencial de deriva eólica (DP) para o campo de dunas Santinho/Ingleses.....	95
4.2.4	Volume sedimentar e morfologia do Sistema Santinho/Ingleses.....	99
CAPÍTULO 5.	DISCUSSÃO	107
5.1	Modelo Evolutivo e fases morfológicas do campo de dunas	107
5.2	Relação entre os fatores ambientais e a taxa de migração do campo de dunas Santinho/Ingleses	109
5.2.1	Registros de precipitação	109
5.2.2	Padrões de vento na costa da Ilha de Santa Catarina .	110
5.2.3	Crescente cobertura vegetal sobre o campo de dunas	111
5.2.4	Urbanização na área de estudo.....	114
5.2.5	Potencial de Deriva Eólica.....	115

5.2.6	Taxa de migração das feições eólicas do sistema.....	116
5.3	Balanço sedimentar e <i>overpassing</i> do campo de dunas	118
CAPÍTULO 6.	CONCLUSÕES.....	123
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	123
Referência Bibliográfica	125
Apêndice A	137
Apêndice B	153
Apêndice C	167

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Com o passar dos anos, diversos estudos referentes às dunas têm sido desenvolvidos. O entendimento da importância e a curiosidade sobre o campo eólico fez com que diversas formas de classificação e definição, assim como os agentes que o influenciam e suas interações, despertassem o interesse nos pesquisadores para o estudo a seu respeito.

O registro do estudo mais antigo a respeito das dunas costeiras foi sobre a sua vegetação em 1835 por Steinheil (Martínez e Psuty, 2004). Bagnold em 1941 estudou esse ambiente, no entanto, nas regiões desérticas, com o clássico trabalho intitulado como *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Na grande maioria das abordagens, os autores se referiam a campo de dunas de grandes desertos interiores, raramente diferenciando as dunas costeiras das desérticas (Martinhos, 2008).

Foi a partir da década de 80, com o avanço do conhecimento sobre as dunas costeiras que começaram a surgir trabalhos mais específicos a respeito (ex.: Bigarella *et al.*, 1969; Short; Hesp, 1982; Carter 1988; Tomazelli, 1990; Giannini, 1993).

As dunas costeiras são feições eólicas que se desenvolvem através da ação do vento durante o soerguimento, transporte e deposição dos grãos (Hesp, 2002) e são comumente encontradas onde o aporte de sedimento a partir da praia é abundante (Martínez;Psuty, 2004; Carter, 1988 e Hesp, 2002). Essas por sua vez, podem apresentar variados tamanhos, desde metros (como cordões vegetados no pós-praia) à campos de dunas (quilômetros de extensão) e são encontradas em praticamente todas as latitudes, presentes em climas e biomas distintos, desde os pólos até latitudes tropicais e dos desertos às florestas tropicais (Martínez;Psuty, 2004). Assim, uma das características marcantes desse sistema é sua ampla distribuição e sua diversidade ecológica.

A formação, a evolução e as características morfológicas das dunas costeiras dependem em essência dos processos físicos pelos quais o vento soprando sobre o pós-praia em porções onde existam sedimentos secos, conseguem removê-los da superfície, transportá-los em direção ao continente e depositá-los mais adiante quando sua energia for dissipada ou quando encontrarem alguma barreira, geralmente com influência da vegetação costeira (Hesp, 2002; Bigarella *et al.*, 2004).

Na porção setentrional da Ilha de Santa Catarina, está localizada a praia do Santinho, onde se encontra um campo de dunas que está em contato com a praia dos Ingleses. Segundo Vintem (2003), essa feição eólica está migrando para o norte devido ao fato do vento sul ser mais forte na região. Boeyinga *et al.*, (2007) explica que nesse tipo de costa a qual apresenta uma direção de vento dominante, a transposição de sedimentos (o *overpassing*) no campo de dunas é frequentemente encontrado.

Os autores ainda mostram através de modelagem, que o campo de dunas exerce grande influência na praia dos Ingleses por fornecer sedimento à ela. Silva *et al.*, (2014) apresentam em seu estudo que no Santinho ocorre rotação praial e quando a mesma apresenta progradação ao norte, a praia dos Ingleses apresenta erosão, comprovando a conexão do sistema.

Como em diversas outras zonas costeiras a região vem apresentando uma crescente e rápida urbanização, principalmente em áreas próximas à praia ou em seu entorno, onde os preços mais elevados são encontrados, fazendo com que a população de baixa renda procure por locais com menores valores, como próximos as dunas (Sperb *et al.*, 2006).

As construções de moradias em áreas inadequadas implicam em diversas consequências, tanto para os moradores (fato já observado no campo de dunas estudado, onde devido a migração da duna as casas foram cobertas por areia) como para o ambiente (um exemplo é a criação de barreiras para o transporte de sedimento pelos ventos, impedindo o grão de seguir seu fluxo gerando em longo prazo um déficit de sedimento na praia de chegada).

Assim sendo, o presente trabalho apresenta uma análise das alterações na dinâmica, na cobertura da vegetação, na área urbanizada e na morfologia do sistema de dunas costeiras do Santinho-Ingleses ao longo de 76 anos, a fim de explicar os valores da taxa de migração das cristas das dunas, a variação do volume sedimentar no sistema e o consequente processo de *overpassing* na área de estudo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Analisar a evolução morfodinâmica do Sistema de dunas transgressivas do Norte da Ilha de Santa Catarina através da interpretação de fotografias aéreas/imagens de satélite, dados topográficos e meteorológicos para entender o processo de transposição de sedimentos (*overpassing*) da praia do Santinho para os Ingleses.

1.1.1 Específico

- ✓ Classificar o sistema Santinho-Ingleses de acordo com suas feições morfológicas e a cobertura vegetal;
- ✓ Quantificar o volume sedimentar que entra e sai do sistema eólico e a taxa de migração das dunas, em escala histórica;
- ✓ Verificar a relação entre a variação de volume de sedimento da duna frontal e a variação na posição da linha de costa da praia do Santinho e Ingleses.

1.2 Pergunta de pesquisa

1. Como está ocorrendo a variação da cobertura vegetal e qual sua influência na quantidade de sedimento aportados da praia do Santinho para a praia dos Ingleses?
2. A partir das feições demarcadas no campo de dunas Santinho-Ingleses, alguma dessas mais duradouras, podem ser apontadas como evidências de alterações ambientais sofridas no meio, devido a ação antrópica?
3. A morfologia do campo de dunas Santinho-Ingleses é influenciada por diversos fatores, tais como quantidade de sedimento disponível, topografia, cobertura vegetal, ventos, pluviosidade, temperatura e fatores antrópicos. Existem relações entre esses fatores? Quais as mais evidentes?
4. É notório algum padrão na migração e na variação do volume sedimentar no campo de dunas ao longo dos anos estudados?

1.3 Hipóteses

Devido ao aumento da cobertura vegetal no sistema associado a maior taxa de precipitação, o campo de dunas deve apresentar maior estabilidade, influenciando na redução da taxa de migração ao longo dos anos, consequentemente reduzindo a transposição sedimentar (*overpassing*) da praia do Santinho para a praia dos Ingleses. Entretanto esta estabilidade também é regulada por pulsos decadais de sedimentos oriundo da praia do Santinho.

1.4 Revisão bibliográfica

1.4.1 Dunas Costeiras

As dunas costeiras são feições desenvolvidas em costas onde haja um amplo aporte de sedimento inconsolidado e que possua tamanho de grão propício para o transporte eólico em direção ao interior do continente (Martínez;Psuty, 2004). Distribuídas mundialmente (Figura 1) em associação com praias arenosas, apresentam uma larga escala de

formas e dimensões relacionadas às variações espaciais e temporais na entrada de sedimento e no regime de ventos (Carter *et al.*, 1992; Pye, 1993; Hesp, 2000).

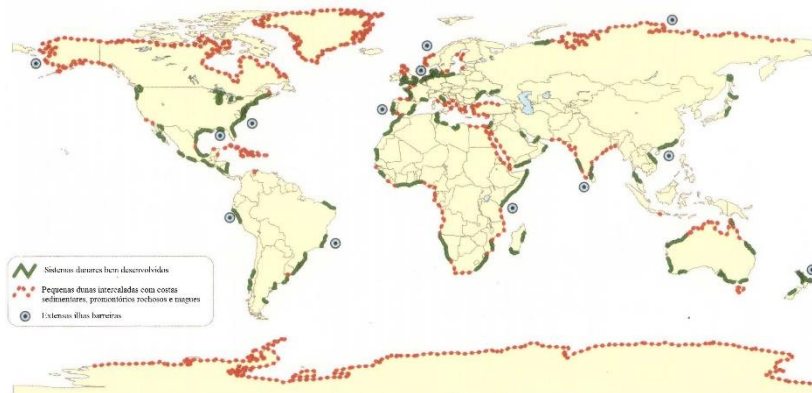


Figura 1: Em verde pode ser observado sistemas dunares bem desenvolvidos por todo o mundo, e a bolinha marca o local das ilhas barreiras mais extensas. Esses por sua vez tendem a existir onde existam ilhas barreiras ou costas dominadas por ondas. Fonte: (Martínez;Psuty, 2004).

Acompanhando a evolução dos estudos sobre as dunas costeiras ao longo dos anos, o tema foi sendo aperfeiçoado pela comunidade científica, fazendo com que novas definições e classificações surgissem, principalmente pelo fato da influência da vegetação. A qual apresenta importantes particularidades não existentes nas dunas dos ambientes desérticos (Bigarella, 1975; Bigarella *et al.*, 1969; Mckee; Bigarella, 1972).

Bagnold (1941) estabeleceu que o termo “duna” era um monte de areia capaz de se locomover, sendo independente de qualquer feição da superfície para se formar. Segundo ele, dunas formadas pela influência da vegetação e/ou outro tipo de obstáculo ou que não possuísse mobilidade, não eram dunas.

Anos depois, Carter (1988) definiu essa feição geomorfológica de uma maneira simples e clara, como sendo formas eólicas desenvolvidas a partir do acúmulo de sedimentos arenosos, onde ocorre transporte pelo vento perpendicular à costa, sendo necessário que o grão não esteja compactado pela água ou retido pela vegetação. Semeniuk *et al.*, (1989) ao desenvolverem a classificação das dunas costeiras, não levaram em conta processos de deposição e presença da vegetação. Dessa forma, se basearam na geometria das dunas e termos não

genéticos foram utilizados, por exemplo, a continuidade (constante ou interrompida), o alinhamento em relação à costa (paralelo ou oblíquo) e o relevo (ondulado ou plano).

Tomazelli (1990) mesclou critérios genéticos e descritivos para descrever as dunas costeiras e Hesp (2002) explicou praticamente o mesmo que Carter (1988), no entanto destacou a importância de se ter um aporte considerável, assim sendo, o autor define que são feições deposicionais arenosas originárias na zona costeira onde exista uma ampla fonte de sedimento inconsolidado e com tamanho de grão suficiente para ser transportado pelos ventos.

Giannini *et al.*, (2005), definem os campos de dunas livres como sendo grandes massas individuais de areias em movimento, compostas por dunas eólicas simples e/ou compostas, cavalgantes ou coalescentes.

Diversas são as definições criadas para as dunas costeiras, atualmente, de forma geral, a maioria delas englobam em sua denominação uma porção de sedimento não coesivo, a qual necessita do vento para sua formação, sendo que esse deve ter força suficiente para transporta o tamanho de grão. A principal intenção em buscar variadas denominações, é deixar claro como os estudos ao longo dos anos tem sido aprimorados com relação sua formação e os principais fatores influentes na mesma para seu desenvolvimento, assim como suas variadas classificações, baseadas principalmente na presença ou ausência de vegetação.

1.4.1.1 *Classificação das feições eólicas*

Trabalhos como o de Mckee (1979) parte do princípio que a forma geomorfológica assumida pela feição é determinada principalmente pela direção e força do vento responsável, classificando as dunas eólicas através de dois atributos descritivos: reconhecimento das suas **faces de avalanches** e sua **forma** (proveniente da direção do vento dominante, ou dos ventos envolvidos).

Tomazelli (1990), mesclou critérios genéticos e descritivos chegando a quatro grandes classes: as das **dunas vegetadas** (onde os sedimentos aportados da praia apresentam interação com a vegetação costeira, migrando pouco, podendo ser consideradas fixas ou parcialmente fixas), as **dunas livres** (ou não vegetadas, onde os diferentes tipos estão diretamente relacionados com a maior ou menor disponibilidade de sedimento), **depósitos eólicos mantiformes** ou **lençóis de areia** (não apresentam desenvolvimento morfológico, ou seja, não possuem feições tais como crista ou faces de deslizamento) e as **feições associadas à deflação eólica** (geralmente localizadas na faixa

inicial do campo eólico, próximas à praia, onde exista o domínio das dunas vegetadas).

De acordo com Hesp (2000; 2002), tanto a deposição, como a erosão são os fatores responsáveis pelas distintas variedades morfológicas das dunas e as classifica em quatro tipos principais: dunas frontais, ruptura de deflação (*blowout*), dunas parabólicas e campos de dunas transgressivos.

Dentre as possíveis classificações para as feições eólicas, a adotada no presente trabalho foi introduzida por Giannini *et al.*, (2005), proposta por Giannini (2007), por melhor se enquadrar nas feições observadas no campo de dunas Santinho/Ingleses.

A classificação proposta por Giannini (2007) pode ser subdividida em dois grupos, sendo baseada no critério da influência significativa da vegetação ou não. As dunas com muita influência da vegetação, são feições eólicas denominadas como semi-fixas e dunas com pouca ou nenhuma influência da cobertura vegetal, são chamadas de dunas livres.

Os depósitos eólicos não podem ser considerados independentes um dos outros, pois há uma inter-relação entre as feições de deflação, a cobertura vegetal e o lençol freático; podendo ocorrer gradativamente a passagem uma feição para outra, devido ao volume de sedimento disponível na região e também por conta da influência da vegetação. As feições eólicas **com a presença de vegetação** incluem nove exemplos principais (na ordem das porções mais proximais para as distais em relação à fonte praial), são eles:

- A) Duna Frontal (*foredunes*): são acumulações de areia em meio à vegetação acima da zona do pós-praia (geralmente em praias intermediárias e reflectivas) ou na antepraia (em praias dissipativas). Podem ser incipientes/embrionárias (durante o início da formação da duna frontal) ou estabelecidas (quando acontece o aumento na altura, na complexidade morfológica, bem como na diversidade da cobertura vegetal). As dunas frontais podem apresentar três tipos de geometria: cordão, rampa ou terraços (Figura 2)



Figura 2: Exemplos de morfologia de dunas frontais. Em A e B, Terraço e Cordão respectivamente, em dunas incipientes. Em C Rampa, na duna estabelecida. Fonte: Giannini (2007).

- B) Ruptura de Deflação (*blowouts*): definidas como feições mistas (erosivas-deposicionais), originadas através da erosão eólica dos depósitos arenosos pré-existentis seguida de redeposição local a sotavento. A relação deposição/erosão se atenua gradualmente da bacia para as paredes e essas para os lobos (Figura 3). Quando a bacia apresenta erosão e o lobo em sua maioria é deposicional, as paredes apresentam um cenário erosivo na sua parte interna e de acréscimo na externa.



Figura 3: Esquema da ruptura de deflação, modificado de Hesp (2002).

- C) Duna Parabólica (*parabolicdune*): possuem uma geometria plana característica, similar a letra U ou V, com sua convexidade voltada para sotavento. Essas por sua vez, apresentam-se similares às rupturas de deflação, no entanto nesse caso, o aporte de sedimento e a cobertura vegetal são maiores, à medida que evoluem para dunas parabólicas, a vegetação do lobo diminui e como consequência ocorre a migração mais rápida que na bacia de deflação e nas paredes. Morfológicamente, a diferença das dunas parabólicas para as rupturas de deflação está no maior alongamento das paredes, sob forma de braços ou rastros lineares residuais (Figura 4).

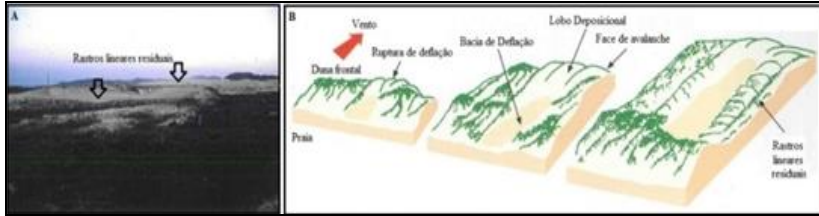


Figura 4: Em (A), foto de Giannini (2007) de uma duna parabólica com os rastros lineares residuais e em (B), esquema da evolução das feições até a duna parabólica, modificado de Hesp (2002).

- D) Rastros Lineares Residuais (*trailing ridges*): são braços alongados de dunas parabólicas ou cordões estreitos longitudinais ao vento efetivo. Originados pela colonização da vegetação nas margens externas das dunas transversais, à medida que o campo de dunas migra. Apresentam caráter deposicional com vegetação em sua face externa e caráter erosional em sua parte interna, sem vegetação (Figura 4 – A).
- E) Retrocordões (*gegenwalle ridges*): são cordões de areia em meio à vegetação depositada por ventos reversos na margem barlavento do campo de dunas, que são abandonados a medida que o campo de dunas migra para o interior (Figura 5)

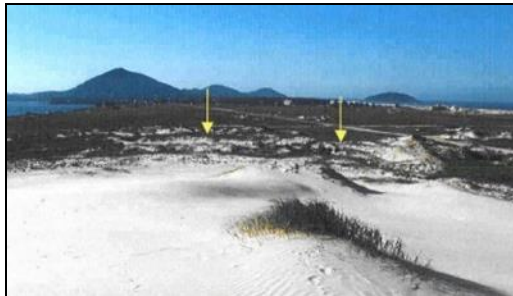


Figura 5: As setas amarelas apresentam os retrocordões em Ibiraquera – SC. Foto de Giannini (2007).

- F) *Nebkhas*: originados pela deposição eólica em meio à vegetação, se apresentam como são montículos de areia, geralmente circulares sem faces de avalanche, com rampa a sotavento suave e lisa. Nas nebkhas maiores, seu grau de assimetria pode variar de acordo com as mudanças na

velocidade e orientação do vento (Figura 6). Uma variação desse tipo de duna são as dunas de sombra (*shadow dunes*) alongadas no sentido do vento, formadas pelo obstáculo que a vegetação cria.

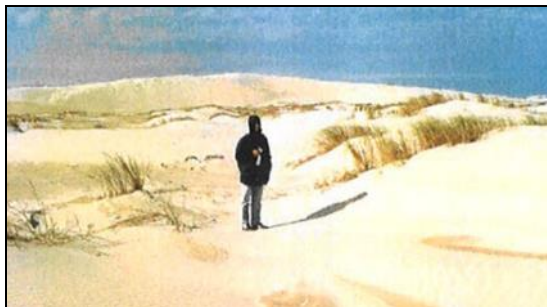


Figura 6: Nebkhas em meio à vegetação sem face de avalanche, em Jaguaruna-SC. Foto: Giannini (2007).

- G) Superfícies Interdunares (*interdunes*): são áreas onde a deflação predomina sobre a deposição eólica. Essas áreas são aproximadamente planas e situam-se entre dunas transversais ou barcanóides, periodicamente úmidas, alagadas e com vegetação pioneira esparsa.
- H) Montes Residuais (*remnant knobs*): pequenos morros de areia assimétricos, parcialmente vegetados em meio ao campo de dunas, ou seja, porções remanescentes de um depósito eólico que foi diferentemente erodido. A sotavento apresenta vegetação e deposição de sedimento em meio a vegetação, em contrapartida, no lado a barlavento ocorre erosão (Figura 7).



Figura 7: Montes residuais em Ibiraguera-SC. Foto: Giannini (2007).

- I) Cordões de Precipitação (*precipitation ridges*): ocorrem ao longo de toda a margem sotavento do campo de dunas, com baixa taxa de aporte eólico e são originados a partir de sedimentos que precipitam de vários metros de altura em meio à vegetação das dunas livres (Figura 8).

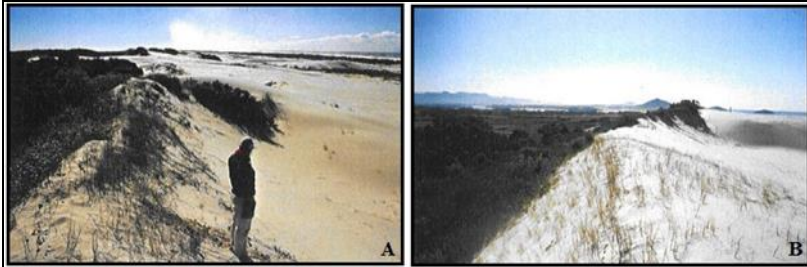


Figura 8: Em (A), cordão de precipitação sinuoso observado em Jaguaruna-SC e (B), retilíneo existente em Ibiraguera-SC. Foto: Giannini (2007).

Quanto as feições eólicas **sem a influência da vegetação**, estas podem ser classificadas em seis distintos tipos (listados a partir das porções mais proximais para as distais em relação à fonte praias):

- A) Franjas de Areia Eólica: apresentam forma de lençol ou rampa, se encontram na base das dunas frontais ou das escarpas costeiras (Figura 9). Uma vez colonizadas pela vegetação dão lugar as dunas frontais incipientes, terraço ou rampa; em caso de grande aporte eólico, podem evoluir para protodunas.



Figura 9: Exemplo de franjas de areia eólica em praia dissipativa. Foto: A) Giannini (2007); B) Renata A.R.N.

- B) Protodunas: são formas de leito eólicas com poucos metros de altura, podendo chegar a alturas métricas quando estão

junto à lençóis de areia. Não apresentam face de avalanche e são orientadas transversalmente ao vento efetivo (Figura 10).



Figura 10: Protodunas transversais em Imbituba-SC. Foto: Giannini (2007).

- C) Dunas transversais (*transverse dunes*): são mega formas de leito com orientação mais ou menos perpendicular/transversal ao vento efetivo, com crista linear aproximadamente retilínea (Figura 11).

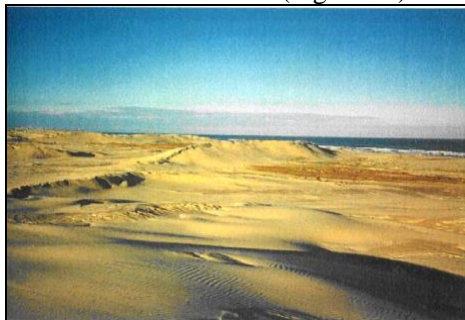


Figura 11: Duna Transversal localizadas em Jaguaruna-SC.

- D) Cadeias Barcanóides (*barchanoid chains*): consistem em um conjunto de dunas barcanas, com formato de meia-lua, concavidade voltada para sotavento, lateralmente coalescentes e com crista sinuosa.
- E) Extensões Lineares (*lee projections*): correspondem a depósitos eólicos com crista linear (Figura 12) orientados paralelamente ao vento efetivo, anexos as porções côncavas mais elevadas das cadeias barcanóides (Cooper, 1958).



Figura 12: Elemento morfológico situado à direita na parte superior da duna barcana. Foto: Giannini (2007) em Imbituba-SC.

- F) Lobos Depositionais (*depositional lobes*): possuem formato parabólico e migram sobre o terreno vegetado no sentido do vento efetivo, ou seja, são frentes de avanço dos campos de dunas, variam de dezenas de metros à quilometro de extensão. Possuem formato parabólico, com convexidade apontando para o mesmo rumo do vento efetivo.

1.4.2 Interação Praia-Duna

As dunas costeiras por se localizarem na fronteira entre o oceano, terra e atmosfera, fazem parte do sistema de troca sedimentar do ambiente praiar (Short; Hesp, 1982) dissipando a energia marinha e apresentando alterações devido aos processos atmosféricos.

Carter (1988) apresentou quatro interações que ocorrem entre a praia e as dunas, associadas com erosão, entrada e saída de nutrientes e mudanças geomorfológicas, são elas: 1) movimentos dos sedimentos (da praia para as dunas e vice-versa), 2) *spray* marinho (da praia para as dunas), 3) lençol freático (das dunas para a praia) e 4) material orgânico (da praia para as dunas e vice-versa). Todos esses fatores auxiliam no desenvolvimento de diferentes tipos de dunas e de vegetação para os distintos tipos de praias.

Hesp (1999, 2000), diz que as ondas, as correntes e a declividade do perfil determinam a quantidade de sedimentos deslocados para a praia, assim como a energia do vento, direção, magnitude, amplitude de maré e o tipo morfodinâmico, auxiliam na troca sedimentar do sistema (Figura 13).

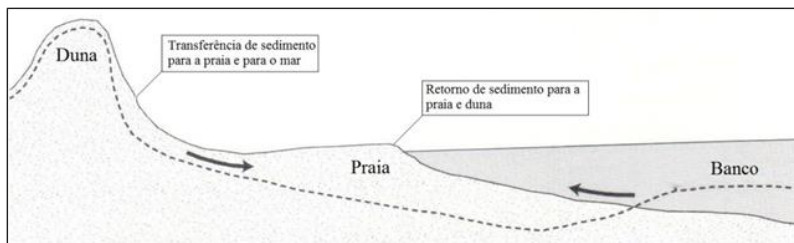


Figura 13: Troca sedimentar no sistema Praia-Duna. O sedimento do banco é transferido à praia e à duna; a duna por sua vez, retorna sedimentos para a praia e zona de surfe. Modificado de: Martínez;Psuty (2004).

De acordo com Short; Hesp (1982) a forma e a extensão das dunas dependem do tipo morfodinâmico da praia, que por sua vez, controla o aporte de sedimentos através das ondas (determinando o tipo da zona de surfe e o transporte de sedimento em direção à costa) e características morfológicas da face praial e pós-praia (responsáveis por exercer importante papel no transporte eólico de sedimentos e consequentemente, o crescimento da duna frontal).

Short (1988), explica que as dunas frontais ocorrem na porção mais superior das praias e conforme aumenta a energia da onda, aumenta seu tamanho e diminui sua estabilidade. Isso porque nos sistemas que apresentam alta energia de onda, o potencial de aporte sedimentar tende a ser maior, em sistemas de moderada energia de onda, o aporte sedimentar tende a ser menor e com isso ocorre a diminuição do tamanho da duna frontal. Nos sistemas de baixa energia de onda, o potencial de transporte sedimentar é mais baixo, assim as dunas frontais são menores ainda (Short; Hesp, 1982).

Na Figura 14, Bird (2000) apresenta de forma esquemática a evolução das dunas associadas com a intensidade do vento e a distância destas em direção à costa.

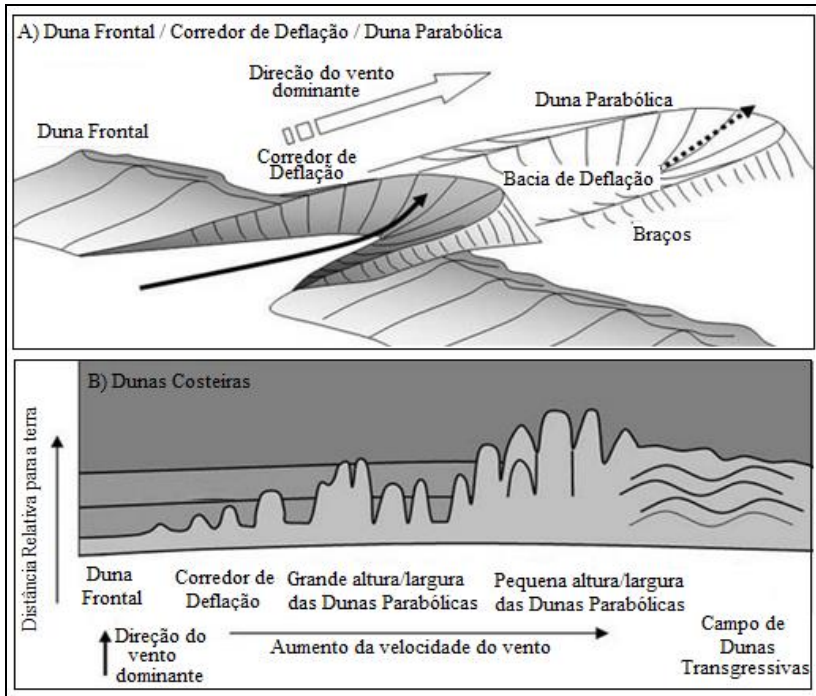


Figura 14: A geomorfologia e as características das dunas costeiras em relação à velocidade relativa do vento e a progradação das feições. Modificado de Bird (2000).

Na praia do Santinho, fica evidente a interação entre o sistema praia-duna, pelo fato desta apresentar um setor mais exposto (com dunas frontais bem desenvolvidas) e comportamento completamente diferente do setor abrigado, corroborando com as afirmativas dos autores anteriormente citados e bem descrito por Miot da Silva (2006).

1.4.3 Escala de Evolução das Dunas Costeiras

Pelo fato das dunas costeiras serem ambientes extremamente dinâmicos, segundo Sherman; Hotta (1990) apresentam mudanças em escalas temporais (horas a milênios) e espaciais (de centímetros a quilômetros) como pode-se observar na Figura 15.

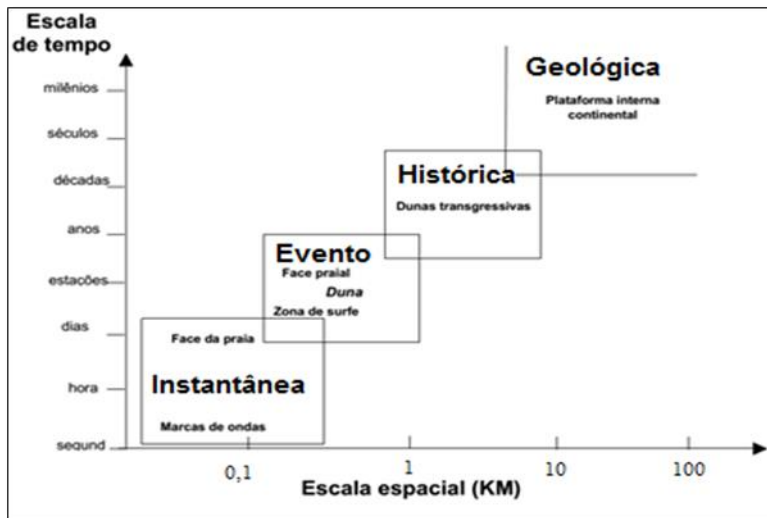


Figura 15: Escala de tempo pela variação espacial proposta por Sherman; Hotta (1990).

De acordo com Cowell; Thom (1994), os processos que envolvem a morfodinâmica costeira podem ser classificados em quatro escalas: **Instantânea**(1) são os que envolvem a evolução da morfologia durante um ciclo de algum agente primário (ventos, por exemplo); **Evento**(2) aqueles que dão origem a unidades sedimentares fundamentais/seqüências deposicionais (como as dunas frontais); **Histórica**(3) que está relacionada com a evolução da feição, sobre diversas alterações morfológicas levando as alterações nos processos responsáveis pelo transporte de sedimentos e a escala **Geológica**(4) resultantes de uma média das condições ambientais sobre milênios.

Short;Hesp (1982), explicam que são diversos os fatores ambientais agindo simultaneamente no sistema em diferentes escalas temporais e espaciais, apresentando alterações na morfologia da feição eólica ao longo dos anos.

Segundo Carter (1988), a escala histórica apresenta resultados nas dunas costeiras com processos climáticos ou ações antrópicas, assim sendo, essa escala de tempo foi escolhida para o presente estudo ser desenvolvido.

1.4.4 Transporte Eólico de Sedimento

O entendimento dos processos de construção e evolução das dunas eólicas costeiras requer o conhecimento dos fenômenos básicos

de erosão, transporte e deposição dos sedimentos pelo vento. Objetivando este conhecimento, os principais aspectos relacionados a estes processos serão apresentados.

De acordo com Carrió (2003), as principais causas da geração dos ventos, é a radiação solar e o calor despendido da superfície terrestre, sendo esses fatores regidos pelos gradientes de pressão atmosférica em grande escala. Os ventos geram processos de erosão, transporte e sedimentação, importantes no dinamismo do sistema.

O transporte eólico de sedimentos é o processo mais comum que ocorre na região subárea entre a praia e as dunas (Hesp, 1999). Dentre as variáveis que caracterizam esse transporte, Carrió (2003) destaca a intensidade, os parâmetros textuais e a composição dos materiais transportados. Tradicionalmente, os mecanismos de transporte eólico são baseados na relação entre a energia e a velocidade com que o vento atua em determinados tamanhos de grão. Dessa forma, são considerados três mecanismos: a suspensão, saltação e rolamento (Bagnold, 1941).

Os sedimentos que apresentam tamanhos muito finos ($\emptyset < 63 \mu\text{m}$) conseguem percorrer grandes distâncias suspensos pelo fluxo eólico já que sua velocidade de queda é em função do seu tamanho, segundo a Lei de Stokes. As partículas com tamanho de grão de muito fina a média ($63 \mu\text{m} < \emptyset < 500 \mu\text{m}$) são transportadas por saltação e devido a energia captada pelo vento uma vez superada a velocidade limiar de remobilização, as partículas realizam pequenos saltos para cima e ao cair novamente no substrato colocam em movimento outros grãos, mantendo o transporte e origens de micro ondulações no substrato. Os sedimentos com tamanho de grão maior que $500 \mu\text{m}$ são transportados por rolamento, percorrendo menores distâncias se comparado com os mecanismos anteriores (Carrió, 2003). Nos ambientes eólicos, podem se produzir esses três mecanismos ao mesmo tempo em função do tamanho e grão, no entanto, o transporte por saltação é o mais presente, representando $\frac{3}{4}$ do transporte total (Bagnold, 1941).

Dessa forma o efeito do tamanho dos grãos é um importante fator local a ser considerado nas análises dos processos de transporte eólico, uma vez que em praias dissipativas seu potencial é mais elevado, moderado nas intermediárias e diminuto nas refletivas, já que há um aumento no tamanho de grão das dissipativas para reflectivas (Short; Hesp (1982).

Através das características energéticas do vento e das propriedades físicas dos sedimentos, a intensidade do fluxo eólico pode ser estimada, sendo que para haver o início do movimento da partícula,

é preciso que a força de cisalhamento seja maior que do gradiente e das forças de coesão existente entre as partículas.

De acordo com Short; Hesp (1982), condições como o teor de umidade, superfícies com sedimentos úmidos, distribuição do tamanho do sedimento, declive e a morfologia da praia afetam a taxa de transporte de sedimentos.

A respeito da sedimentação dos grãos transportados pelo vento, a vegetação, a umidade, as pendentes topográficas, obstáculos do relevo, fatores antrópicos, sedimentos compactados, mal selecionados ou o comportamento irregular do vento, fazem com que o transporte seja barrado e ocorra o aprisionamento de parte dos sedimentos transportados.

A vegetação é um obstáculo semipermeável das correntes de vento e por isso, barram temporariamente os sedimentos. Esse aprisionamento vai depender do tamanho, geometria e espaçamento da vegetação, uma vez que variando a cobertura vegetal, varia a estabilidade das dunas e vice e versa (Short, 1988; Carrió, 2003).

A umidade produz coesão nos sedimentos, e com isso, o transporte eólico também é reduzido. O relevo interage com as linhas de correntes de vento podendo criar zonas de sombra, assim como um incremento na velocidade do transporte (por exemplo, nas cristas geralmente se tem maiores velocidades do que nas interdunas).

Nordstrom; Jackson (1994), explicam que as ações humanas influenciam no balanço sedimentar, modificando a forma, a localização, as características internas e a mobilidade dos depósitos. Entre as principais ações antrópicas, ele destaca: ao bloqueio do aporte sedimentar por estruturas construídas nas praias, caminhos criados por passagens de carro, motos ou pessoas, introdução de fauna silvestre, entre outros. Não obstante, existem também algumas atuações positivas, como a estabilização e conservação das dunas a fim proteger a linha de costa (Psuty, 1989).

1.4.5 Potencial de Deriva Eólica

O estudo do transporte de sedimento relacionado com a velocidade do vento tem sido analisado há anos por diversos autores. Fryberger; Dean (1979) desenvolveram o método para o cálculo do potencial de deriva de areia pelo vento, através da equação transformada e simplificada, sendo essa expressa da seguinte forma:

$$Q_{au} = k(u - u_c)^n \cdot t \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

Q = a quantidade de sedimento que o vento transportou em um determinado tempo;

u = a velocidade média/ponto médio a 10 m de altura;

u_t = a velocidade limite de impacto a 10 m de altura;

t = tempo em que o vento soprou para cada direção, ou seja, porcentagem dos registros obtidos para a frequência das direções dos ventos.

O valor numérico do Potencial de Deriva (DP) alcançado através do método de Fryberger (1979) é tido como Unidades Vetoriais (u.v.), pelo fato da velocidade do vento ser tratada como um vetor. Dessa forma, o DP é o somatório da quantidade relativa de areia potencialmente movida pelo vento (em cada direção) em um espaço de tempo.

O vetor resultante obtido a partir dos valores do cálculo do potencial de deriva de areia e da soma das diferentes direções calculadas vetorialmente, é denominado direção de deriva resultante (DDR). Ou seja, a direção na qual a areia tende a se deslocar influenciada pelos ventos provenientes de diversas direções (Tomazelli, 1990). A magnitude desse vetor é definida como potencial de deriva resultante (RDP).

A partir do potencial de deriva encontrado, Fryberger (1979) classificou os ventos superficiais de acordo com os valores encontrados, sendo: ventos de baixa energia (apresentam valores de DP até 200 u.v.) ventos de energia intermediária (entre 200u.v. – 399u.v.) e ventos de alta energia (acima de 400u.v.).

CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Introdução

O sistema das praias do Santinho e Ingleses está localizado a nordeste na Ilha de Santa Catarina e seus bairros são conectados por um cordão de dunas formadas por ventos predominantemente do quadrante Sul (Faraco, 2003). Situada a 35km do centro de Florianópolis, tendo como principal rodovia de acesso a SC-403, o bairro do Santinho é um conhecido balneário, onde várias famílias moram ou passam temporadas de verão (Figura 16).

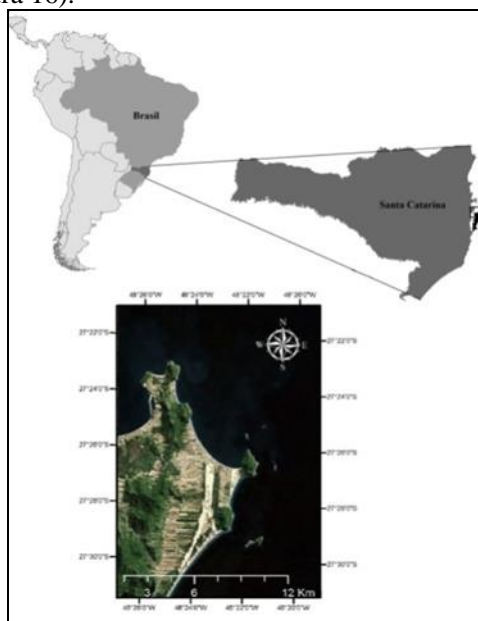


Figura 16: Área de estudo da presente pesquisa: Norte da Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil.

A praia dos Ingleses e do Santinho detém um formato assimétrico, semelhante a um arco, com uma curvatura mais acentuada em uma das suas extremidades (denominada de zona de sombra, a qual é protegida da ação das ondas), uma região central levemente curvada e a extremidade oposta à zona de sombra, com tendência retilínea. Também possui promontórios rochosos em seus extremos, caracterizando uma “praia de enseada” (Hoefel, 1998; Klein *et al.*, 2003, Klein;Menezes, 2001; Short).

De acordo com Peixoto (2005), a praia do Santinho possui 1.908 metros de extensão e 54 metros de largura, limitada ao Norte pelo Morro dos Ingleses, ao Sul pelo Morro das Aranhas, a Leste o Oceano Atlântico e a Oeste o campo de dunas estudado. Segundo Boeyinga *et al.*, (2007) este campo de dunas tem grande influência no desenvolvimento da praia dos Ingleses, pelo fato de aportar cerca de 10.000 m³/ano de sedimento à ela e mesmo assim, as praias estudadas vem sofrendo erosão ao longo dos últimos anos.

O balneário é visitado e visado pela especulação imobiliária devido às belezas naturais existentes, assim sendo, apresenta um grande crescimento da sua infra-estrutura urbana, a qual serve como um atrativo para novos moradores (Prochnov, 1999) e também aos turistas, sendo um dos balneários mais visitados em Florianópolis.

2.2 Clima e ventos

Universalmente as mais utilizadas, as classificações climáticas de Köppen (1931) baseiam-se principalmente nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação. O autor classificou o clima do Estado de Santa Catarina como mesotérmico úmido (sem estação seca), incluindo dois subtipos:

- ✓ Cfa – Clima subtropical com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média do mês mais quente acima de 22°C. Apresenta verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida;
- ✓ Cfb – Clima temperado propriamente dito; temperatura média do mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média do mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida.

Nimer (1989), corroborando com Köppen (1931), ainda explica que o clima no estado é controlado pela atuação das Massas Tropical Marítima do Atlântico e Polar Marítima.

A Massa Tropical Atlântica (mTA), originada no anticiclone semifixo subtropical Atlântico alcança o Estado com ventos de norte, ocorrendo em 80% do ano. A Massa Polar Atlântica (mPA), originadas nas altas latitudes, chega ao Estado com ventos de sul, que atuam em cerca de 20% da circulação local (Monterio; Furtado, 1995). Sendo que

algumas frentes frias podem gerar ciclones extratropicais, explica Peixoto (2005).

Vintem (2003) mostra em seu estudo que os ventos provenientes de sul são mais fortes e mais frequentes, na Ilha de Santa Catarina. Segundo as análises de Peixoto (2005), durante o verão, o vento norte tem a sua maior porcentagem (38%). No outono, os ventos que predominaram foram norte (34%), sul (14%) e sudeste (14%). Na primavera, predominaram os ventos norte (25%) novamente e sul (21%). No inverno os ventos de sul (25%) foram os que mais ocorreram. E conclui que existe uma sazonalidade destes parâmetros climáticos, tendo-se nos meses de temperaturas mais elevadas, as maiores pluviosidades e as menores pressões. Nos meses mais frios, o contrário é verdadeiro.

Miot da Silva (2006) atribui o predomínio e a intensidade dos ventos a época do ano, ou seja, durante as estações frias o avanço da Massa Polar Atlântica é intensificada e associada à ventos fortes de sul enquanto que seu recuo durante as estações quentes favorece os ventos de nordeste.

A autora apresenta em seu trabalho resultados para os ventos na região corroborando com outros autores, no entanto comenta que para a série de dados de 34 anos registrados na Ilha do Arvoredo, ao norte da área de estudo, o vento sul é dominante e prevaletente. E na série de um ano dos dados de vento, mais recente, prevaleceram os de norte-nordeste (Figura 17).

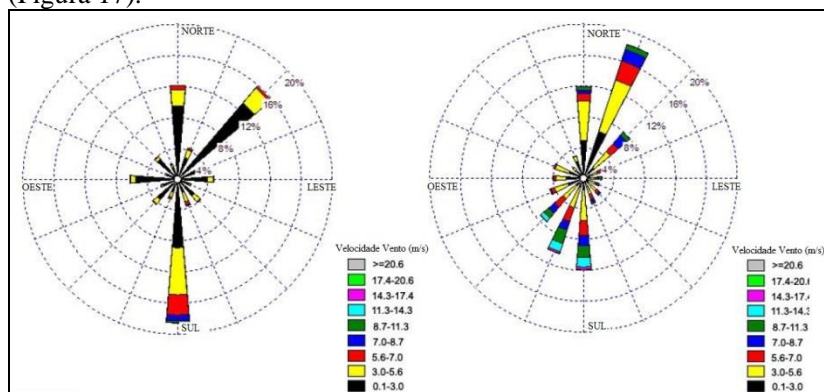


Figura 17: Série de dados de 34 anos a esquerda e de 1 ano a direita, registrados na Ilha do Arvoredo. Adaptado de Miot da Silva (2006).

O entendimento do clima ao longo do ano na região se faz importante devido ao fato dessa influenciar diretamente no padrão de

ventos para a região. Uma vez que com a Massa Tropical Atlântica ocorre o predomínio de ventos de norte e com a Massa Polar Atlântica, os ventos sul, ficando evidente a relação direta entre o clima e os ventos, que por sua vez definem a direção de migração do sistema, assim como no seu potencial de deriva.

2.3 Ondas e marés

Dados aquisitados de um ondógrafo fundeado em águas profundas, a 80km da Ilha de Santa Catarina mostram que ao longo do ano prevalecem ondulações de sul com período em torno de 12 s e vagas de leste com período de 8 s (Araujo *et al.*,2003).

Condições de alta energia de onda geralmente provem das ondulações de sul e sudeste (podendo ser encontradas durante o ano todo) sendo que as maiores ondulações ocorrem no inverno e as menores no verão (Araujo *et al.*,2003).

Na Ilha de Santa Catarina o regime de micro marés (< 2m) é predominante, apresentando amplitude máxima de 1,4m e um regime semidiurno (DHN, 2006). De acordo com Trucollo (1998), durante as marés meteorológicas, podem ser observadas as maiores variações do nível do mar devido à passagem de sistemas frontais ciclônicos, ou frentes frias, acompanhadas de fortes tempestades vindas de sul e sudeste (principalmente nos meses de outono e inverno).

Como resposta às forçantes astronômicas e meteorológicas, o nível do mar está continuamente variando (Mariotti; Franco, 2001). Trucollo (1998) comenta que essas forçantes meteorológicas na região sul-sudeste são notadas devido à variação do nível do mar em relação à tensão do vento longitudinal à costa e justifica isso, pela plataforma continental ser rasa, larga e possuir orientação da linha de costa igual à dos ventos predominantes.

A orientação da linha de costa implica na maneira com que as ondulações entrarão na costa, e com isso, a quantidade de sedimento que aportarão à praia e conseguinte à duna frontal. Em condições de alta energia de onda, geralmente as ondulações de sul e sudeste são encontradas, no entanto, as maiores ondulações ocorrem no inverno e as menores durante o verão. Uma vez que o potencial de deriva eólica também apresenta menores valores no verão, todos esses estão relacionados.

2.4 Fisiografia

Segundo Suguio (1992), a Ilha de Santa Catarina é caracterizada como sendo tipicamente costeira, apresentando aspectos fisiográficos e estruturais muito semelhantes com os definidos para a região continental, fazendo com que o autor pudesse afirmar que a Ilha e o continente próximo estiveram unidos na época em que o Oceano Atlântico encontrava-se em uma localização mais abaixo da atual, pelo menos 20 metros.

Sua geologia é constituída por duas províncias principais: o Embasamento Cristalino (mais antigo) representado pelo Escudo Catarinense e pela Formação Serra Geral e a outra, são os depósitos sedimentares mais recentes compostos por sedimentos de origem continental, transicional e marinha. Do ponto de vista geomorfológico a Ilha possui uma série de maciços rochosos interligados por áreas planas de sedimentação costeira (Caruso Jr, 1993).

Martin *et al.*, (1982) explicam em seu trabalho que foram as oscilações do nível médio do mar, no Quaternário, a base para a ocorrência dos principais depósitos marinhos nas planícies costeiras. Os terraços marinhos pleistocênicos ocorrem de 8-2m acima no nível médio do mar e datam aproximadamente 120.000 anos AP (Martin *et al.*, 1986).

Angulo *et al.*, (1999) para analisar a variação do nível relativo médio do mar durante o Holoceno, fizeram cerca de 30 datações ao longo da costa de Santa Catarina, através de gastrópodes marinhos incrustados no limite máximo da zona de inframaré, que indicaram o paleonível máximo de $2,1\text{m} \pm 1\text{m}$ mais alto que o atual, alcançado em 5.410 ± 80 anos AP (-916 - 5.597 anos cal AP).

Caruso Jr (1993) cita em seu trabalho que no depósito eólico do Holoceno pode ser observado um importante campo de duna ativo (Santinho-Ingleses), que tem seu início no setor central da praia do Santinho e segue para o norte chegando à praia dos Ingleses.

Esse por sua vez (localizada ao norte da Ilha) é geneticamente distinto da praia do Santinho (situada a leste da Ilha), explica Caruso Jr (1993). A leste, ocorre o predomínio de tómbolos e arcos praias alternados e ao norte, esporoes arenosos, feições deposicionais de cristas de praia progradante, são predominantes. Para o autor, duas são as possibilidades que justificam o processo de progradação da costa durante o Holoceno: pequenas oscilações negativas do nível relativo do mar e o balanço sedimentar em função dos processos costeiros.

Hesp (2000) explica que a estrutura geológica do local, tem relação direta com a distribuição dos sedimentos costeiros e também

com a evolução paleogeográfica até os dias atuais. Peixoto (2005) destaca que a praia do Santinho e em seu entorno apresentam: depósito marinho praial do Holoceno recente, depósito eólico do Holoceno, depósito lagunar holocênico e depósito marinho praial recoberto por depósito eólico do Pleistoceno Superior (Figura 18).

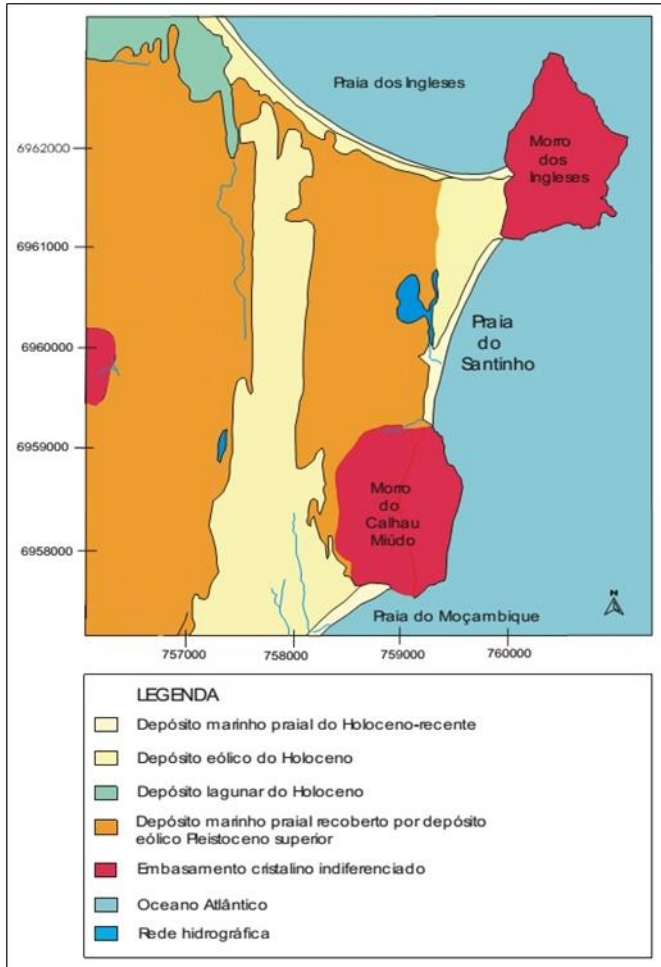


Figura 18: Mapa geológico da planície costeira da praia do Santinho – Ilha de Santa Catarina. (Fonte: PEIXOTO, 2005).

Quando considera-se a distribuição do tamanho de grão, a região norte do litoral de Santa Catarina apresenta uma ocorrência de areia média (0,230mm a 0,363mm) nas praias e fina (0,125mm a 0,250mm) nas dunas costeiras (Bigarella *et al.*, 1969).

Horn Filho (2006) mostrou em seu trabalho que a região do Santinho apresenta heterogeneidade granulométrica, com predomínio de areia fina (tamanho médio de 0,178mm), sedimentos moderadamente selecionados, com assimetria aproximadamente simétricos a negativa, sendo classificada como distribuição mesocúrtica. Esses sedimentos segundo o autor foram e estão sendo depositados entre maciços rochosos e núcleos isolados do embasamento cristalino.

A praia dos Ingleses, segundo o mesmo autor, apresenta homogeneidade granulométrica com predomínio de areia fina (tamanho médio de 0,197mm), sedimentos bem a muito bem selecionados, aproximadamente simétricos, variando de mesocústica a platicúrtica.

Nessa planície, existem remanescentes pleistocênicos, com pedogênese em estágio avançado advindo de solos bem drenados, com morfologia a qual originalmente deveria ser aplainada, porém, não são devido à ação antrópica. As superfícies dos depósitos lagunar-lacustre/flúvio-lagunar-lacustre predominam na área, os quais se encontram separados dos depósitos marinho-praias por cordões de dunas fixas e vegetadas (Horn Filho, 2006), assim como dunas livres, as quais migram continuamente para o norte.

Giannini *et al.*, (2007) apresentam quatro gerações dos sedimentos do Quaternário próximas a área de estudo e pertencentes a ela duas (G2 e G4). Sendo que a Geração 1 é a mais antiga, onde há o predomínio de areias de aspecto maciço, ocorrência de grânulos e/ou pequenos seixos dispersos, sem morfologia de dunas preservadas e depósitos lateralmente descontínuos, com espessura de até dezenas de metros, com a porção superior caracterizada pela presença de paleossolos e horizontes residuais grânulos.

A Geração 2 (onde se encontra a maior parte da urbanização do Santinho) é composta por areias maciças ou estratificadas com cimentação argilo-limonítica heterogênea. Presença de paleopavimentos e paleocanais, seu aspecto geomorfológico mais marcante é a dissecação fluvial controlada por vales entre braços de dunas parabólicas alongadas, com presença de areia grossa a cascalho terrígeno ou intraclástico. A Geração 3 constitui-se de areias incoesivas, colonizadas por vegetação, com sinais extensivos de pedogênese. Possui forma de dunas e frentes parabólicas alongadas, cordões de precipitação retilíneos e rastros lineares de deflação e a Geração 4 corresponde as dunas ativas.

Mendes (2012) estudando as dunas de Santa Catarina, observou três estágios de evolução morfológica para elas, o primeiro na década de 1940-1960 onde ocorreu um aumento da saturação em areia no sistema eólico, o segundo entre 1960-1970 quando o sistema apresentou as maiores taxas de migração e o terceiro estágio ocorreu desde a década de 1980 até os dias atuais com a estabilização dos depósitos. A fisiografia da área de estudo tem relação direta com a distribuição dos sedimentos costeiros, e também com a evolução paleogeográfica. Estudos realizados no sistema apresentam quatro gerações de sedimentos do Quaternário, evidenciando o constante aporte sedimentar ao longo dos anos, assim como a evolução morfológica pela qual o campo de dunas tem passado.

2.5 Cobertura Vegetal

De acordo com Ferreira (1999), na praia do Santinho a vegetação de restinga ocorre desde as dunas frontais até os cordões de dunas fixas.

O estudo desenvolvido por Peixoto (2005) na praia do Santinho mostrou que a cobertura vegetal da praia possui 14 famílias e 28 espécies (nos três setores amostrados) e existe maior similaridade florística entre a porção central e norte da praia. A espécie que ocorreu em todas as amostragens, com alto valor na cobertura vegetal, foi a *Panicum racemosum* (P. Beauv.) Spreng.

Miot da Silva (2006), notou que a cobertura vegetal nas dunas frontais da praia do Santinho diminui de sul para o norte e explica a possível relação com o aumento da exposição à energia das ondas, assim como aos ventos. Nos meses de inverno, observou que ocorreu um aumento na cobertura vegetal e a autora relaciona esse crescimento com os maiores níveis de precipitação durante esse período.

Peixoto (2005) explica que o balanço final de sedimento influencia a cobertura vegetal total e a riqueza de espécies. Os setores com maior energia de ondas desenvolveram dunas frontais extensas, corroborando com Short (1988), que mostra a existência das correlações entre a altura da duna frontal, a morfologia praiial, o transporte de sedimento e a vegetação que nela se estabelece.

A cobertura vegetal do sistema se apresenta de forma mais estável onde há menor exposição à ação de ondas e ventos, ou seja, na porção mais a sul do sistema. Sendo que para os meses de inverno a cobertura vegetal aumentou, pelo fato das maiores quantidades de chuva ocorrerem nesse período e o transporte eólico decair.

2.6 Histórico de ocupação

No século XX com a construção da Ponte Hercílio Luz, a ocupação humana foi crescendo, algumas famílias açorianas foram para o interior da Ilha, hoje Lagoa da Conceição, Rio Vermelho e Ingleses.

Atividades como as do engenho de mandioca, açúcar e pesca, foram marcantes na cultura da população e nos anos 1960 e 1970, e foram desaparecendo devido a compra das propriedades na Ilha (Führ, 2009) e no ano de 1960, Florianópolis apresentou um grande crescimento urbano e órgãos da administração estadual e federal foram criados na cidade (Prochnov, 1999).

Logicamente, investimentos foram sendo feitos nas zonas costeiras, o setor imobiliário começou a crescer e famílias lotearam seus terrenos para vendê-los (Führ, 2009). Segundo o autor, os lugares mais propícios para a moradia na praia do Santinho, seriam no terraço marinho por ser mais antigo, estável e plano. Após a completa ocupação desse e pelos valores mais baixos passou-se a urbanizar a região sobre as dunas, gerando a desestabilização dessa, influenciando na dinâmica local, desrespeitando a lei e modificando o ambiente.

Através das imagens de satélite e das fotografias aéreas, é notória a urbanização a partir de 1978. Sperb *et al.*, (2006) em seu trabalho destacam que as novas estradas tiveram a sua origem em caminhos criados pela caminhada de pessoas na área. E comenta que são diversos os motivos pelos quais o crescimento na periferia das dunas ocorre, um deles é o preço dos lotes serem mais baixos do que nas áreas centrais ou próximas à praia, uma vez que nesses locais não apresentam as facilidades e comodidades que as áreas mais bem localizadas.

A crescente urbanização no entorno da área de estudo pode barrar parte do transporte de sedimentos que ocorre na região, prejudicando o balanço sedimentar do sistema, transformação de dunas estáveis para dunas ativas, até mesmo ocorrer o aumento da velocidade do fluxo eólico e com isso, proporcionar maior retirada de sedimentos do sistema, fazendo com que o equilíbrio seja perdido.

CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Introdução

O fluxograma a seguir (Figura 19) apresenta de forma sucinta a metodologia aplicada para o cumprimento dos objetivos propostos. Este consta de 3 etapas: 1) Obtenção das fotografias aéreas/Imagens de Satélite para o cálculo da área ocupada pela vegetação, dunas e urbanização, demarcação das cristas das dunas e cálculo da taxa de migração dessas; 2) Planejamento e coleta de dados topográficos no sistema Santinho/Ingleses para criação de um modelo digital de terreno e cálculo da variação volumétrica do campo de dunas; 3) Aquisição de dados meteorológicos para o cálculo do potencial de deriva eólica e determinação das características climatológicas da área estudada.

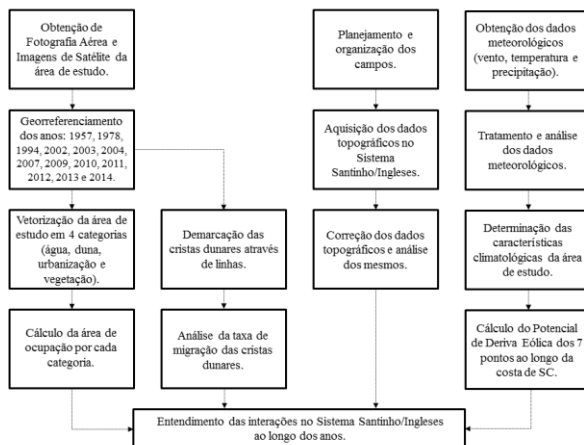


Figura 19: Fluxograma simplificado da metodologia aplicada nesse estudo.

3.2 Fotografias aéreas/imagens de satélite e georreferenciamento

A partir de 15 fotografias aéreas/imagens de satélites, foram analisados 76 anos (entre 1938 a 2014). As fotografias aéreas de 1938, 1957, 1978, 1994, 1998, 2002 e 2007, foram cedidas pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF).

As imagens de satélite dos anos 2003, 2004, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014 foram adquiridas a partir do programa Google Earth PRO e georreferenciadas através da base cartográfica do IPUF de 2002 (base cartográfica vetorial, originalmente em formato .dgn com escala 1:2.000) selecionando pontos de controle (PCs) necessários ao processo de correção geométrica das demais fotografias. Segundo Araujo *et al.*,

(2008) esses pontos devem ser feições nítidas, bem visíveis e facilmente reconhecidas, localizadas tanto na base cartográfica como na imagem a ser georreferenciada.

Para este trabalho, foram identificados pelo menos 20 pontos de controle (metodologia proposta por Araujo *et al.*, 2008) em cada imagem, com vasta distribuição espacial e os menores erros quadrático médio (EQM ou RMS, *Root Mean Square*) possíveis, automaticamente calculado pelo programa utilizado, com a seguinte equação 2.

$$EQM = \sqrt{(X_{foto} - X_{base})^2 + (Y_{foto} - Y_{base})^2}, \quad (\text{Eq. 2})$$

O Erro Quadrático Médio (EQM) corresponde à raiz quadrada da soma das diferenças entre as posições da fotografia (X_{foto} e Y_{foto}) e da base cartográfica (X_{base} e Y_{base}) elevada ao quadrado (Araujo *et al.*, 2008), dessa forma, ele exprime o erro posicional independente ao modelo criado no registro entre uma imagem e outra. De acordo com o Comitê Norte-Americano de Padronização de Dados Geográficos (FGDC-STD, 1998), no cálculo da precisão do georreferenciamento deve-se multiplicar o EQM obtido pela constante 1,7308 para se obter um nível de confiança de 95% em relação à real posição dos pontos na base cartográfica (EQM corrigido), esses valores obtidos foram utilizados como valor de incerteza para a análise (Tabela 1).

Ano	1938	1957	1978	1994	1998	2002	2003	2004	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Fonte	Secretaria de Planejamento e Estado - SPG Gestão do	Secretaria de Planejamento o e Gestão do Estado - SPG	Departament o Nacional de Produção de Mineral	Instituto de Planejamento o Urbano de Florianópolis - IPUF	CE-LESC (e IPUF)	Instituto de Planejamento o Urbano de Florianópolis - IPUF	Google Earth Pro	Google Earth Pro	Instituto de Planejamento o Urbano de Florianópolis - IPUF	Google Earth Pro	Google Earth Pro	Google Earth Pro	Google Earth Pro	Google Earth Pro	Google Earth Pro
Região	Ilha de Santa Catarina	Ilha e continente	Ilha e continente	Ilha de Santa Catarina	Ilha	Ilha de Santa Catarina	Continente	Norte da Ilha de Santa Catarina	Norte da Ilha de Santa Catarina	Norte da Ilha de Santa Catarina	Norte da Ilha de Santa Catarina	Norte da Ilha de Santa Catarina	Norte da Ilha de Santa Catarina	Norte da Ilha de Santa Catarina	Norte da Ilha de Santa Catarina
Digitalização (em dpi)	300	600	Mosaico	Mosaico	400	600	-	-	600	-	-	-	-	-	-
Escala	Escala média 1:25.000	1:25.000	-	Mosaico	1:15.000	1:8.000	61 cm (Quickbird modo pancromático)	-	1:8.000	-	-	-	-	-	-
Tamanho do pixel (m)	2,11	1,06	-	-	0,95	0,34	0,311	3,10	0,34	0,312	0,308	0,313	0,311	0,309	0,311
Ponto de visão (m)	-	-	-	-	-	-	-	1,270	-	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270
EQM corrigido	3,29	7,27	3,29	-	5,54	1,92	1,58	1,66	2,77	1,42	1,63	1,52	1,64	1,45	2,18

Tabela 1: Tabela com todas as informações das fotografias aéreas e imagens de satélite analisadas para o presente estudo.

*Para a fotografia aérea de 1994 não foi calculado o EQM corrigido pelo fato desta já estar georreferenciada e esse dado não ser informado quando fornecida pelo IPUF.

O valor da constante 1,7308 é determinado através da normativa utilizada pelo FGDS (1998), baseada na tabela segundo Greenwaltand Schultz (1968), para a estatística da acurácia do padrão de posicionamento geoespacial (Figura 20).

A tabela em questão apresenta o incremento linear, circular e esférico dos padrões de erros para os intervalos da porcentagem de probabilidade (nível de confiança). Levando em conta que o erro do georreferenciamento se propaga de forma circular, ou seja, o erro de x e y são iguais, devemos seguir a coluna sc.

§	σ _x	σ _c	σ _e	§	σ _x	σ _c	σ _e
00	0,0000	0,0000	0,0000	51	0,6903	1,1944	1,5955
01	0,0125	0,1415	0,3309	52	0,7058	1,2116	1,5790
02	0,0250	0,2830	0,6529	53	0,7225	1,2293	1,5904
03	0,0375	0,4240	0,9921	54	0,7330	1,2462	1,6030
04	0,0500	0,5657	0,5479	55	0,7454	1,2637	1,6257
05	0,0625	0,7083	0,5938	56	0,7722	1,2814	1,6436
06	0,0750	0,8513	0,6733	57	0,7998	1,2998	1,6615
07	0,0875	0,9950	0,6699	58	0,8272	1,3178	1,6797
08	0,1000	1,1394	0,7035	59	0,8239	1,3334	1,6930
09	0,1125	1,2843	0,7342	60	0,8416	1,3537	1,7104
10	0,1250	1,4290	0,7644	60,08			1,7281
11	0,1375	1,5733	0,7948	61	0,8596	1,3793	1,7351
12	0,1500	1,7173	0,8182	62	0,8779	1,3911	1,7500
13	0,1625	1,8614	0,8447	63	0,8965	1,4101	1,7730
14	0,1750	2,0054	0,8664	64		1,4282	1,7964
15	0,1875	2,1491	0,8932	64,21			1,8204
16	0,2000	2,2927	0,9162	65	0,9158	1,4490	1,8119
17	0,2125	2,4364	0,9386	66	0,9342	1,4639	1,8335
18	0,2250	2,5800	0,9605	67	0,9521	1,4831	1,8510
19	0,2375	2,7239	0,9815	68	0,9695	1,5096	1,8724
19,9			1,0000	68,21			
20	0,2500	2,8680	1,0086	69	1,0132	1,5305	1,8932
21	0,2625	3,0123	1,0230	70	1,0364	1,5518	1,9144
22	0,2750	3,1564	1,0430	71	1,0591	1,5735	1,9360
23	0,2875	3,3004	1,0627	72	1,0803	1,5956	1,9580
24	0,3000	3,4443	1,0821	73	1,1031	1,6182	1,9804
25	0,3125	3,5883	1,1012	74	1,1264	1,6414	2,0038
26	0,3250	3,7323	1,1200	75	1,1503	1,6651	2,0269
27	0,3375	3,8764	1,1396	76	1,1750	1,6894	2,0510
28	0,3500	4,0204	1,1570	77	1,2004	1,7145	2,0757
29	0,3729	4,2645	1,1751	78	1,2265	1,7402	2,1012
30	0,3953	4,5086	1,1944	79	1,2536	1,7667	2,1274
31	0,3999	4,6527	1,2110	80	1,2816	1,7941	2,1544
32	0,4229	4,7968	1,2293	81	1,3106	1,8225	2,1825
33	0,4459	4,9409	1,2493	82	1,3403	1,8519	2,2114
34	0,4399	5,0850	1,2693	83	1,3722	1,8825	2,2416
35	0,4529	5,2291	1,2903	84	1,4051	1,9145	2,2730
36	0,4677	5,3732	1,3118	85	1,4392	1,9479	2,3059
37	0,4817	5,5173	1,3330	86	1,4738	1,9830	2,3404
38	0,4959	5,6614	1,3550	87	1,5141	2,0200	2,3767
39	0,5101	5,8054	1,3772	88	1,5545	2,0593	2,4153
39,35			1,3972	89	1,5949	2,1011	2,4563
40	0,5244	5,9495	1,4094	90	1,6444	2,1460	2,5003
41	0,5390	6,0936	1,4213	91	1,6939	2,1935	2,5469
42	0,5534	6,2377	1,4333	92	1,7524	2,2440	2,5960
43	0,5681	6,3818	1,4453	93	1,8111	2,3028	2,6471
44	0,5830	6,5259	1,4574	94	1,8700	2,3701	2,7016
45	0,5978	6,6699	1,4695	95	1,9290	2,4477	2,7595
46	0,6129	6,8140	1,4816	96	2,0037	2,5373	2,8209
47	0,6280	6,9581	1,4937	97	2,1101	2,6408	2,9012
48	0,6433	7,1022	1,5058	98	2,2263	2,7571	3,1365
49	0,6585	7,2463	1,5180	99	2,3597	3,0244	3,3683
50	0,6745	7,3904	1,5302	99,73			
				99,78		3,5000	
				99,80			
				99,9	3,2905	3,7159	4,0305
				99,99	3,8905	4,2919	4,6094

Figura 20: Tabela a qual Greenwaltand; Schultz (1968) apresentam em seu trabalho para determinar o incremento linear, circular e esférico de acordo com o intervalo de confiança.

Para a acurácia horizontal, o Erro quadrático médio (RMS) é determinado por:

$$RMSE_x = \text{raiz} \left[\sum (x_{data,i} - x_{check,i})^2 / n \right], \tag{Eq. 3}$$

$$RMSE_y = \text{raiz} \left[\sum (y_{data,i} - y_{check,i})^2 / n \right], \tag{Eq. 4}$$

Onde:

x data, i, y data, i = as coordenadas medidas no dataset;

$x_{check,i}$, $y_{check,i}$ = as coordenadas para o ponto independente da acurácia;

n = o número de pontos testes;

i = o valor do alcance de 1 a n .

O erro horizontal no ponto é definido por:

$$\text{raiz}[(x_{data,i} - x_{check,i})^2 + (y_{data,i} - y_{check,i})^2], \quad (\text{Eq. 5})$$

O RMSE horizontal é dado por:

$$\begin{aligned} \text{RMSE}_r &= \text{raiz} [((x_{data,i} - x_{check,i})^2 + (y_{data,i} - y_{check,i})^2) / n] \\ &= \text{raiz} [\text{RMSE}_x^2 + \text{RMSE}_y^2] \end{aligned} \quad (\text{Eq. 6})$$

Segundo a NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy), quando o $\text{RMSE}_x = \text{RMSE}_y$:

$$\begin{aligned} \text{RMSE}_r &= \text{raiz} (2 * \text{RMSE}_x^2) = \text{raiz} (2 * \text{RMSE}_y^2) \\ &= 1,4142 * \text{RMSE}_x = 1,4142 * \text{RMSE}_y \end{aligned} \quad (\text{Eq. 7})$$

É assumido que o erro sistemático é eliminado da melhor maneira possível e acaso ele seja normalmente distribuído e independente, ou seja, em x e em y , deve-se utilizar o fator 2,4477 para acurácia de 95% de confiança (Greenwaltand; Schultz, 1968).

Quando verdadeiro, para o cálculo do valor da acurácia segundo NSSDA, usa-se:

$$\begin{aligned} \text{Acurácia}_r &= 2,4477 * \text{RMSE}_x = 2,4477 * \text{RMSE}_y \\ &= 2,4477 * \text{RMSE}_r / 1,4142 \\ &= 1,7308 * \text{RMSE}_r \end{aligned} \quad (\text{Eq. 8})$$

O cálculo do tamanho do *pixel* em metros também foi feito para saber qual a menor feição o que poderia ser analisada. Para isso, foi necessário saber a representatividade espacial do *pixel* através da divisão da escala da fotografia aérea/imagem de satélite pela resolução com que a imagem foi digitalizada (em DPI) e então novamente dividida por 39,37 (constante sugerida por Jensen, 2009).

Cálculo da resolução do *pixel* em metros para o terreno:

$$PM = \frac{\left(\frac{5}{DPI}\right)}{39,37}, \quad (\text{Eq. 9})$$

Sendo que:

PM = tamanho do pixel em metros;

S = escala;

DPI = pontos por polegada.

Na Tabela 1, são apresentados todos os dados das fotografias aéreas/imagens de satélite analisadas.

3.3 Vetorização e cálculo da área de ocupação do sistema

Com o intuito de um melhor entendimento dos processos que estão ocorrendo no Sistema Santinho-Ingleses ao longo dos anos, fez-se necessário padronizar a escala das fotografias aéreas e das imagens de satélite para todos os anos amostrados (1:2000). Com a escala definida e fixa, a vetorização em tela foi realizada, através de um programa de Sistema de Informações Geográficas, criando polígonos para as regiões ocupadas pela urbanização, vegetação, água e dunas (Figura 21).

Basicamente, são desenhados vetores sobre a imagem e no final cria-se um mapa onde os elementos geográficos são representados por dados vetoriais. Ressalta-se que a camada água foi considerado até a interface areia seca/úmida para todas as imagens e em seguida escolheu-se uma área comum à todas as imagens para comparação.

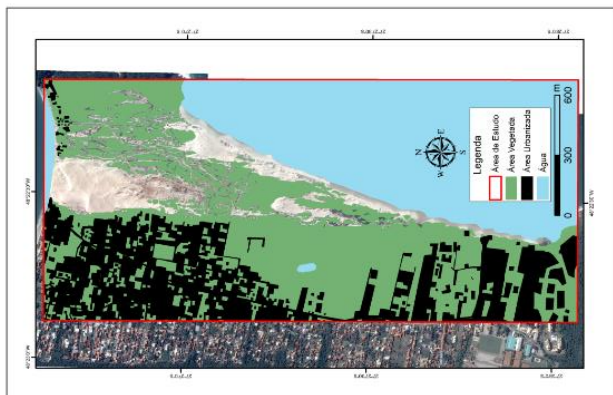


Figura 21: Exemplo da área de estudo com as categorias de vegetação, urbanização e água vetorizadas para o ano de 2013.

Com isso, foi possível melhor visualizar a evolução da urbanização, da vegetação e do campo de dunas, assim como (através uma ferramenta fornecida pelo programa) calcular a área que cada categoria ocupou entre 1938 a 2014.

Deve-se deixar claro que para a análise da cobertura vegetal, um novo polígono foi criado a partir da delimitação do entorno do campo de dunas para todos os anos, e então a área comum das quinze imagens foi escolhida (Figura 22) uma vez que se considerar a área de estudo por completo, os resultados dos cálculos não serão condizentes com os observados através da vetorização do campo de dunas ao longo dos anos.

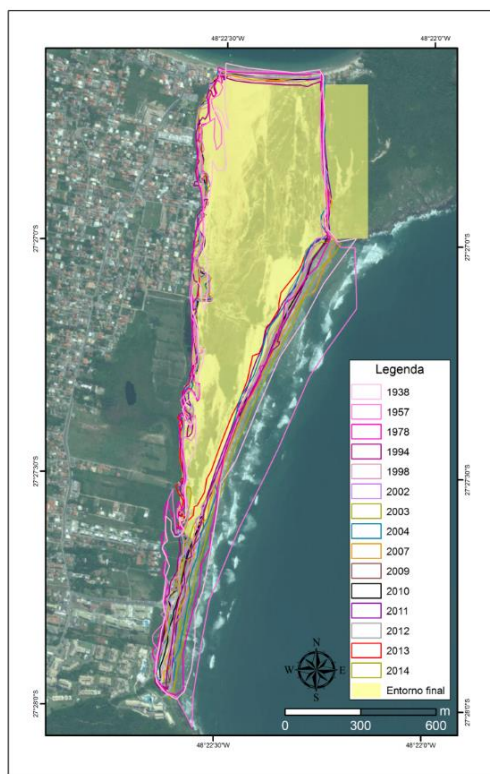


Figura 22: Polígonos criados no entorno das dunas ao longo dos anos, para obter um polígono final com uma área comum e assim calcular a porção ocupada pela cobertura vegetal no campo de dunas.

3.4 Identificação das feições do campo de dunas

Para cada fotografia/imagem, foram observadas suas feições e essas demarcadas através de uma linha com o intuito de classificar as feições do campo eólico (Figura 23). A partir de então, pode-se comparar as mudanças na geometria das dunas e entender o seu comportamento (migração e evolução do tipo de duna presente na região), durante os mais de setenta anos.

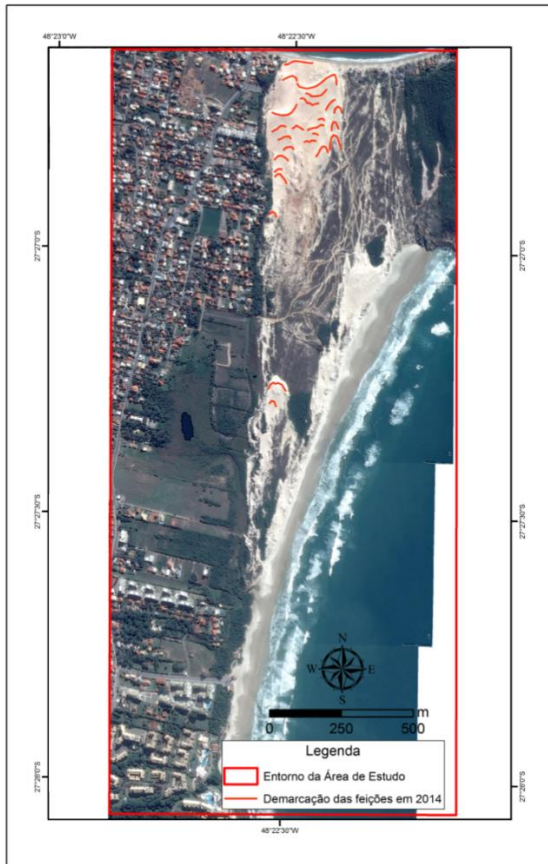


Figura 23: Imagem com o *Shapefile* de linha para exemplificar a demarcação das feições do campo de dunas.

3.5 Taxa de migração do Sistema Eólico entre 1994 e 2014

No presente item, é apresentada a metodologia de análise para a taxa de migração das feições do campo de dunas Santinho/Ingleses, a partir da variação do local da crista das dunas, dividido pelo tempo entre essa mudança (m/ano). A distância entre as feições, foi medida utilizando o programa ArcGis®10.2, com auxílio de uma ferramenta que mensura a distância.

Nos anos de 2002-2003, 2003-2004 e 2013-2014, foram utilizadas as feições demarcadas no item anterior (3.4), em imagens sequenciais, ou seja, anos os quais foram possíveis observar a existência da mesma feição.

Em 2014, ocorreram duas aquisições de dados no campo de dunas utilizando um DGPS (*Differential Global Positioning System*) em modo RTK (*Real Time Kinematic*) com intervalo de três meses (29/05/2014 e 14/08/2014). Estes ocorreram por caminhamento nas cristas das dunas com o equipamento acoplado à uma mochila. Em seguida os dados coletados foram corrigidos, posicionados no programa de Sistema de Informações Geográficas e então mensurada a distância entre as cristas como feito para as imagens de satélite.

Ressalta-se que a taxa de migração foi calculada para diferentes feições do Sistema Santinho-Ingleses (com pelo menos três medições em cada uma), devido ao fato de maiores volumes sedimentares despenderem um tempo maior para se mover em comparação com as dunas de menores volumes.

3.6 Levantamento topográfico em 2014

Para aquisição dos dados topográficos no campo de dunas, foram realizados levantamentos utilizando-se do método DGPS-RTK.

Inicialmente foi necessário transferir a cota altimétrica a partir do referencial de nível (RN) 2006 C, pertencente ao Sistema Geodésico Brasileiro, situado no centro do Bairro Ingleses, para três pontos de apoio (PA`s) em locais estratégicos do campo eólico, para evitar com que o sinal emitido pelo rádio externo do DGPS fosse interrompido durante a coleta.

Para isso, foi aquisitado por cerca de 3 horas o ponto no RN dos Ingleses (devido a distância para a Estação Geodésica pertencente a Rede Brasileira de Monitoramento (RBMC) situada na Universidade Federal de Santa Catarina). A partir desse, os pontos de apoio foram transferidos e aquisitados cerca de 40 minutos em cada um, no dia 5 de maio de 2014 (Figura 24).

O processamento dos pontos de apoio se deu através do resultado do ajustamento vetorial, através do Método dos Mínimos Quadrados com auxílio do programa da Trimble Business Center®; foram utilizados os dados de GPS da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) de Florianópolis e Imbituba disponíveis no site www.ibge.gov.br, além dos dados de rastreamento sobre o RN 2006 C.

O processamento consistiu na triangulação entre os dados recebidos pela estação móvel e as correções das observáveis armazenadas pelas bases de referência. Em síntese, os receptores instalados sobre as estações de referência armazenam as diferenças entre as coordenadas conhecidas e as coordenadas informadas por cada satélite, considerando que todos os receptores recebem sinal dos mesmos satélites ao mesmo tempo estas diferenças são usadas como correções para os demais pontos rastreados.



Figura 24: Campo de dunas do Santinho/Ingleses com os marcos feitos na primeira saída de campo em maio de 2014.

Com os pontos de apoio instalados e sua posição coletada, a base do DGPS foi instalada sob o marco1 mais ao Norte (Figura 25).



Figura 25: Base do DGPS (à esquerda) juntamente com a antena externa (à direita), posicionada no marco mais ao Norte do Sistema Santinho/Ingleses.

A antena móvel foi configurada como topo contínuo para coletar os dados a cada 0,5m durante o levantamento dos perfis, espaçados em 15m (21, 29 e 30/05/2014 à esquerda). Para os transectos, paralelos à praia dos Ingleses, foram coletados dados também espaçados em 0,5m de um ponto ao outro, a cada 30m por todo campo de dunas (14/08/2014 à direita) como pode ser observado na Figura 26.

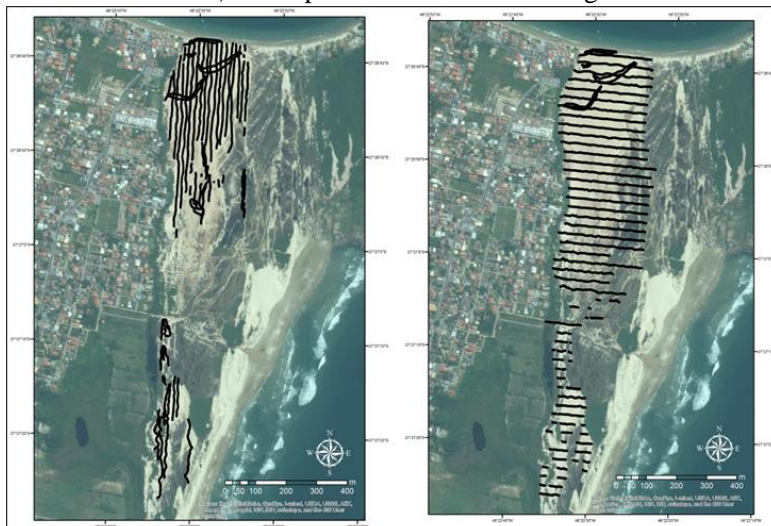


Figura 26: Caminhamento realizado com DGPS-RTK no campo de dunas Santinho/Ingleses.

Na duna frontal da praia do Santinho perfis perpendiculares à costa foram realizados a cada 30m. Adicionalmente, caminhamento na crista e na base da duna frontal também foram executados (Figura 27).



Figura 27: Caminhamento realizado com DGPS-RTK na duna frontal da praia do Santinho.

Para todos os valores de cota coletados, foram descontadas a ondulação do geóide calculada através da comparação das cotas altimétricas durante o rastreamento do DGPS sobre o RN 2006 C e a cota informada na sua monografia.

A fórmula utilizada para esse cálculo (Equação 10), foi a mesma que o modelo MAPGEO2004 de ondulações geoidais do IBGE utiliza; a qual apresentou um valor de 0,5831cm.

$$h=H+N, \quad (\text{Eq.10})$$

Sendo que:

h = altitude elipsoidal/geométrica;

H = altura geoidal/ortométrica;

N = ondulação do geóide.

A coleta dos dados topográficos, o processamento, a correção e a interpolação foram realizadas para estimar o volume do Sistema Santinho-Ingleses em 2014, e assim comparar com os resultados obtidos para os anos de 2002 e 2010.

3.7 Cálculo do volume do Sistema Santinho-Ingleses

Para o cálculo do volume foram utilizados dados de altimetria da área de estudo, obtidos em 2002 (*datum* SAD 69), a qual apresenta curvas de nível espaçadas de 1 em 1 metro. Esses dados disponibilizados pelo IPUF, foram derivados de pontos cotados a partir da restituição de fotografias aéreas em escala 1:5.000 (Figura 28).

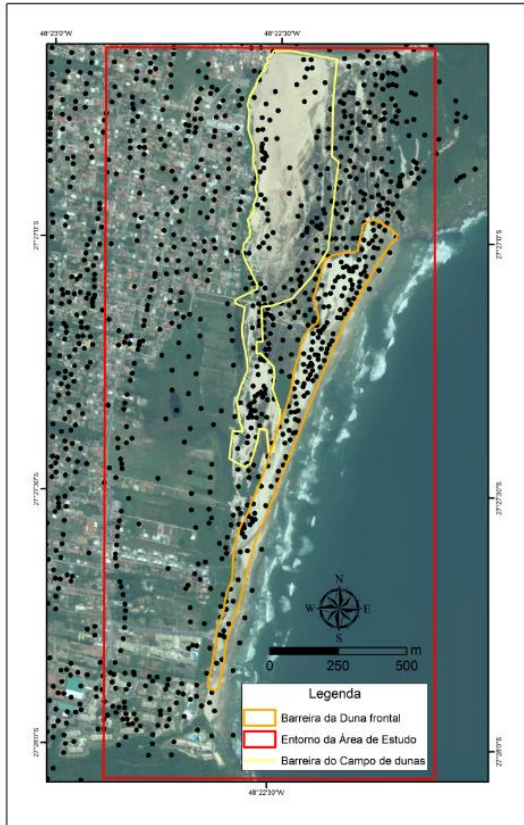


Figura 28: Delimitação da área de estudo através do retângulo vermelho abrangendo as praias do Santinho (a Sudeste) e a praia dos Ingleses (a Norte). Os pontos em preto representam os dados altimétricos, o polígono amarelo delimita a área de interpolação para análise do volume do campo de dunas e em laranja, área interpolada para aduna frontal.

Para o ano de 2010, utilizou-se um modelo digital de terreno (*datum* WGS 1984), obtido a partir de fotografias aéreas (Figura 29), disponibilizados pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, na diretoria de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina, o qual possui erros altimétricos de 0,66m (Relatório de produção final - EngeMAP, 2012).

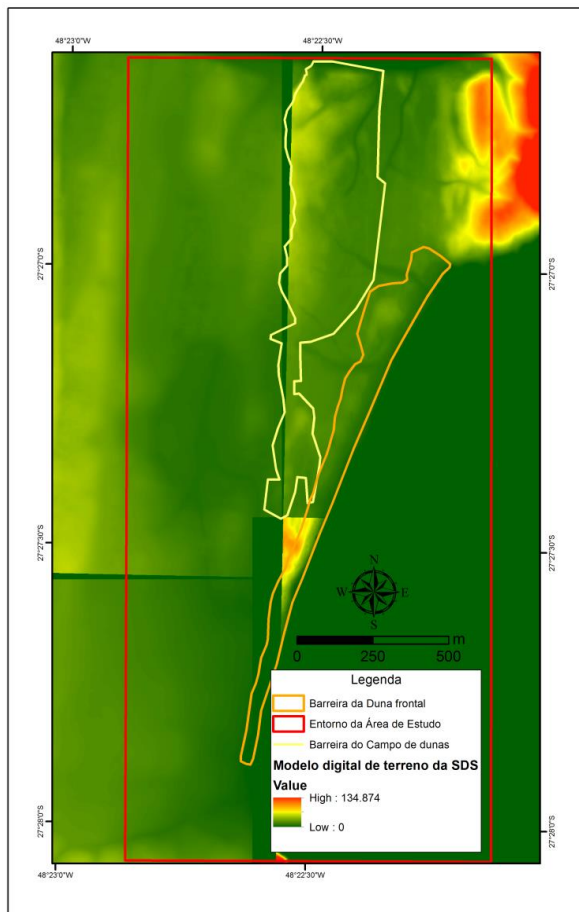


Figura 29: Modelo Digital de Terreno sob a área de estudo, delimitado pelo retângulo vermelho. O polígono amarelo delimita a área de interpolação para análise do volume do campo de dunas e em laranja, para a duna frontal.

A partir dos dados topográficos coletados em campo com o DGPS-RTK (em 2014), diversos métodos de interpolação (*Kriging*, Inverso Ponderado da Distância, Vizinhos Naturais e *Spline*) foram testados para saber qual desses apresenta o menor erro e desvio padrão.

Para isso, com o programa ArcGis@10.2 após os dados terem sido interpolados com quatro métodos (variando tamanho de célula e força da interpolação), as extrações dos valores dos pontos foram realizadas. A diferença absoluta entre os valores medidos em cada ponto (cota) e os valores gerados a partir da interpolação (*raster value*) foi calculado para conseguir o "Erro Aboluto". E através da estatística do programa se obteve os valores do erro médio e do desvio padrão.

A escolha do método, além dos valores dos parâmetros citados anteriormente, também levou-se em conta o interpolador que representasse de forma mais realística o ambiente estudado em comparação aos outros. Para o cálculo de volume do campo de dunas, a cota zero foi considerada à 1,26m em relação ao nível do mar, para obter um dado de partida semelhante à toda área.

Apesar dos dados de 2002, 2010 e 2014 serem de fontes distintas, com precisões e erros diferentes, esses foram comparados pela falta de outras fontes de informações; no entanto, sabe-se que o erro altimétrico do MDT e do levantamento topográfico foram inferiores a 1m.

3.8 Análise de dados meteorológicos e sedimentológicos secundários

Os dados de precipitação foram obtidos a partir do BNDO (Banco Nacional de Dados Oceanográficos), BDC (Banco de Dados Climatológicos) e INMET (Instituto Nacional Meteorológico). Os dados de vento foram conseguidos no BNDO e através do CFRS (Sistema de Reanálise da Previsão Climática). A localização de cada estação meteorológica é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Localização das estações meteorológicas onde dados de vento e precipitação foram obtidos.

Estação meteorológica	Norte	Leste
BNDO	27°16'92"S	48°21'90"W
BDC	27°23'45"S	48°20'18"W
INMET	27°36'03"S	48°36'20"S
CFRS_Ponto1	27°9'10"S	48°8'46"S
CFRS_Ponto2	27°37'96"S	48°9'68"W
CFRS_Ponto3	27°57'56"S	48°9'67"W
CFRS_Ponto4	27°14'12"S	48°12'74"W
CFRS_1	27°32'51"S	47°14'76"W
CFRS_2	27°31'55"S	47°51'12"W

Através do BNDO, responsável pela Estação Meteorológica da Ilha do Arvoredo foram analisados dados de pluviosidade (dias de chuva e quantidade diária em mm) e de ventos (direção e velocidade) entre 1964 e 2002, com medições três vezes ao dia. Dados anuais de precipitação foram obtidos no BDC, desde 1951 até 2014 e no INMET, do ano de 1961 até 2014.

A partir do Sistema de Reanálise da Previsão Climática, através do modelo Wave Watch 3 (WW3) da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), os dados de vento foram baixados e processados através do programa Matlab® para sete pontos distintos ao longo da costa (Figura 30). Sendo que nos pontos em amarelo, os dados foram coletados a cada três horas de 2005 a 2014; no ponto em azul, a cada seis horas de 1999 a 2014 e em laranja, também foram obtidos a cada seis horas, entre 1979 e 2001. Na Tabela 3, é possível visualizar a descrição dos dados para cada ponto de vento.

Tabela 3: Informações dos dados de ventos aqusitados para os oito pontos analisados.

Fonte	Tipo de dado	Período	Anos amostrados
BNDO	Medido	Diários 3h	1964-2002
CFRS_1	Reanálise com WW3	Diários 6h	1979-2001
CFRS_2	Reanálise com WW3	Diários 6h	1999-2014
CFRS_1_2_3_4_5	Reanálise com WW3	Diários 3h	2005-2014

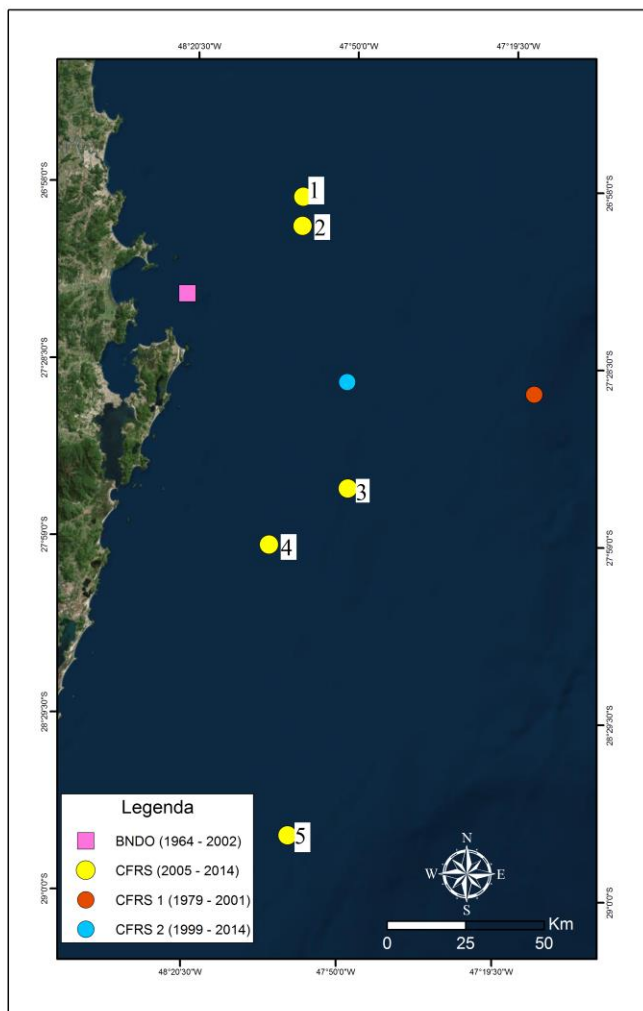


Figura 30: Localização da estação meteorológica (em rosa) e pontos de reanálise na costa da região estudada.

Os programas utilizados para as análises dos dados de precipitação foram o Microsoft Excel e também o Statistic; os dados de vento do CFRS foram baixados a partir de rotinas criadas no Matlab@ e nesse também foram rodadas rotinas para gerar as rosas de ventos dos oito pontos de dados.

Ressalta-se que o período no qual os dados foram examinados corresponde ao mesmo dos levantamentos topográficos, fotografias aéreas e imagens de satélites.

Os dados sedimentológicos utilizados foram retirados a partir do trabalho de Boeyinga *et al.*, (2007) em quadro pontos distintos do campo de dunas Santinho/Ingleses (Figura 31) e a partir desses, a média aritmética foi feita para o tamanho de grão a ser utilizado nos cálculos a seguir.

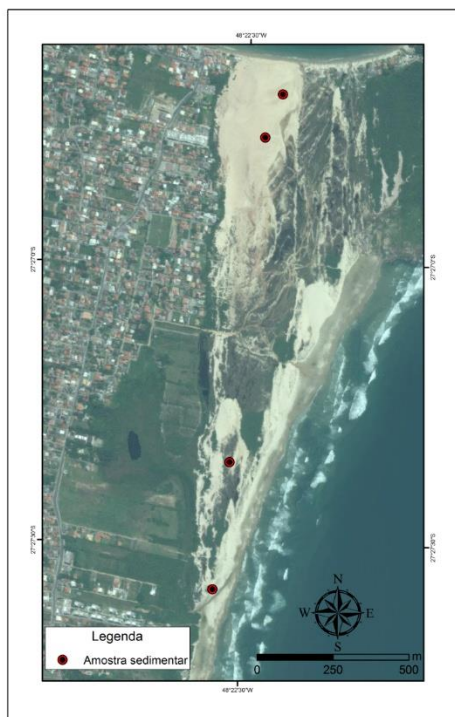


Figura 31: Localização dos onde foram coletadas amostras sedimentares por Boeyinga *et al.*, (2007), as quais foram utilizadas para o cálculo do Potencial de Deriva Eólica.

3.9 Cálculo do Potencial de Deriva Eólica

O método desenvolvido por Fryberger (1979) foi utilizado para determinar o potencial de transporte de sedimentos. Este por sua vez, necessita de dados da direção e velocidade do vento, para então calcular os potenciais de deriva (DP's).

O cálculo leva em conta classes de direção e velocidade do vento, assim como um fator de ponderação (*weighting factor*), sendo que os autores para desenvolver o método, coletaram os dados de vento à 10m de altura.

O fator de ponderação é um número que representa a taxa relativa em que os ventos com diferentes médias de velocidade, podem mover o sedimento (Fryberger, 1979). Em outras palavras, a importância relativa que cada classe de velocidade apresenta em relação a todos os dados.

Esse número é derivado da substituição dos valores de velocidade do vento (velocidade média do vento em cada categoria de velocidade) dentro da equação de Lettau; Lettau (1978). A velocidade média para cada classe de velocidade representa o “ponto-médio” entre os limites das classes.

Dessa forma, foi necessário dividir os dados de direção do vento em dezesseis classes, cada uma com 22,5° (Tabela 4) como proposto por Pearce; Walker (2005) por se enquadrarem melhor ao método de Fryberger (1979).

Tabela 4: Classes de direções dos ventos utilizadas nas análises.

Direção	Ângulo	Direção	Ângulo
N	0	S	180
NNE	22,5	SWS	202,5
NE	45	SW	225
ENE	67,5	WSW	247,5
E	90	W	270
ESSE	112,5	WNW	292,5
SE	135	NW	315
SSE	157,5	WWN	337,5

Em seguida, os dados de velocidade foram transformados para m/s e divididos em oito classes (0-3; 3-7; 7-10; 10-13; 13-16; 16-20; 20-25 e > 25) para analisar a porcentagem de ocorrência das direções de vento em cada categoria de velocidade. Após, os valores dos pontos

médios foram calculados e então o potencial de deriva eólica também, a partir da equação modificada de Lettau; Lettau (1978):

$$q = V^2(V - V_t) * t, \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

q = quantidade proporcional de sedimento transportado pelo vento em um determinado tempo t e seu resultado é expresso em unidades vetoriais (u.v.) a qual é equivalente ao DP;

V = ponto – médio (velocidade média do vento medida à 10m de altura);

V_t = velocidade limite de impacto à 10m de altura (velocidade mínima para manter o sedimento em saltação);

t = frequência do vento em cada classe de velocidade/direção registradas (valor em percentual).

Para calcular a tensão de velocidade relativa à velocidade do vento, a fórmula utilizada foi proposta por Bagnold (1941) para a distribuição da velocidade em logaritmo:

$$V_{(10)} = 5,75 * (V * t) * \log \frac{Z}{Z'} + (V't), \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

$V_{(10)}$ = a velocidade limite crítica de impacto (ou seja, a velocidade mínima para manter o sedimento em saltação);

$V't$ = a velocidade limiar de cisalhamento (m s^{-1});

Z = altura padrão dos dados de vento (10 metros);

Z' = o fator de rugosidade da superfície do grão determinada por Belly (1964), $Z=10*d$ (mm) sendo que no presente estudo foi considerada a superfície como sendo plana;

$V't$ = a velocidade de cisalhamento, $894*d$ (mm) proposta por Zingg (1953) e seu resultado é dado em cm/s, sendo necessário transformá-lo para m/s.

Para o cálculo da velocidade limiar de cisalhamento, utilizou-se novamente a equação proposta por Bagnold (1941):

$$V * t = A \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} g d}, \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

$A = 0,1$ (constante estimada por Bagnold (1941);

ρ_s = a densidade do grão (2650 kg/m^3);

ρ_a = a densidade do ar (1,22 kg/m³);

g = a aceleração da gravidade (9,8 m/s⁻²);

d = o diâmetro do grão em mm.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 Fatores Ambientais e Antrópicos

4.1.1 Registros de precipitação

O somatório do índice de pluviosidade anual para cada série histórica de dados das três estações analisadas, apresentaram comportamentos distintos devido ao fato do posicionamento das estações meteorológicas serem em locais diferentes da Ilha de Santa Catarina. A linha de tendência (em laranja na Figura 32) obtida a partir da série de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (1961 - 2014), apresentou uma tendência de aumento ao longo dos anos.

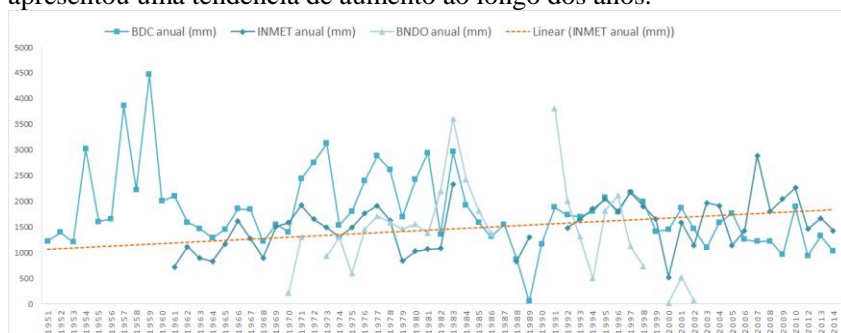


Figura 32: Distribuição da pluviosidade para as três estações analisadas (BDC, BNDO e INMET) desde 1951 até 2014.

Os resultados para a análise sazonal das séries históricas do BDC e do INMET (uma vez que a do BNDO havia grandes espaços de tempo sem dados) se comportaram de forma similar, apresentando os maiores valores em milímetro de chuva durante o verão (430mm e 450mm, respectivamente), seguido da primavera (370mm e 280mm), inverno (310mm e 270mm) e outono (250mm e 220mm). Os eventos extremos registrados representam cerca de 10% dos dias mais chuvosos e são responsáveis pelas maiores quantidades de chuva, 510mm em ambas as séries (Figura 33).

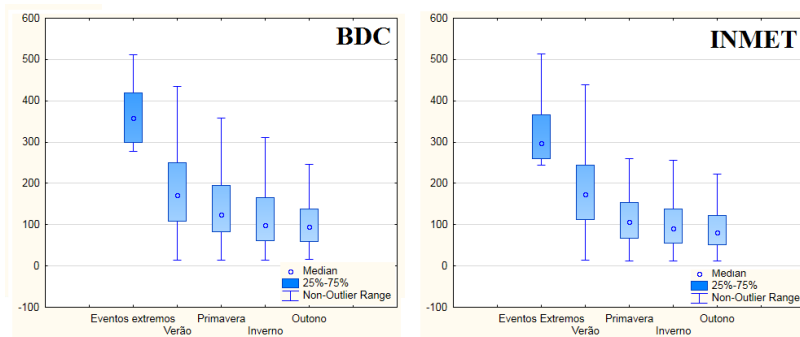


Figura 33: Representação gráfica em caixa da quantidade de chuva associada às estações do ano e aos eventos extremos (percentil 10% dos dias mais chuvosos). As extremidades das linhas horizontais representam os valores máximos e mínimos, em uma vez e meio o intervalo interquartis, as caixas definem o intervalo interquartis e os círculos o valor médio de precipitação.

4.1.2 Análise do comportamento dos ventos na costa da Ilha de Santa Catarina

A Figura 34 apresenta as rosas de ventos geradas para cada série de dados, em cada ponto; as cores mais quentes (vermelho) simbolizam as maiores velocidades e essas foram notórias para todos os pontos nas direções de sul e sul-sudoeste. Em torno de 50% dos dados se encontraram na categoria entre 3-7m/s, o restante, encontra-se dividido para as demais categorias (0-3; 7-10; 7-10; 10-13; 13-16; 16-20; 20-25 e > 25 m/s).

A respeito da direção dos ventos, na estação meteorológica do Arvoredo (BNDO) três direções ocorreram na maioria dos anos analisados: norte, sul e nordeste. Já para os outros sete pontos estudados, observa-se um padrão similar na rosa dos ventos, onde de norte até sul-sudoeste (no sentido horário) todas as categorias de direção de vento são evidentes.

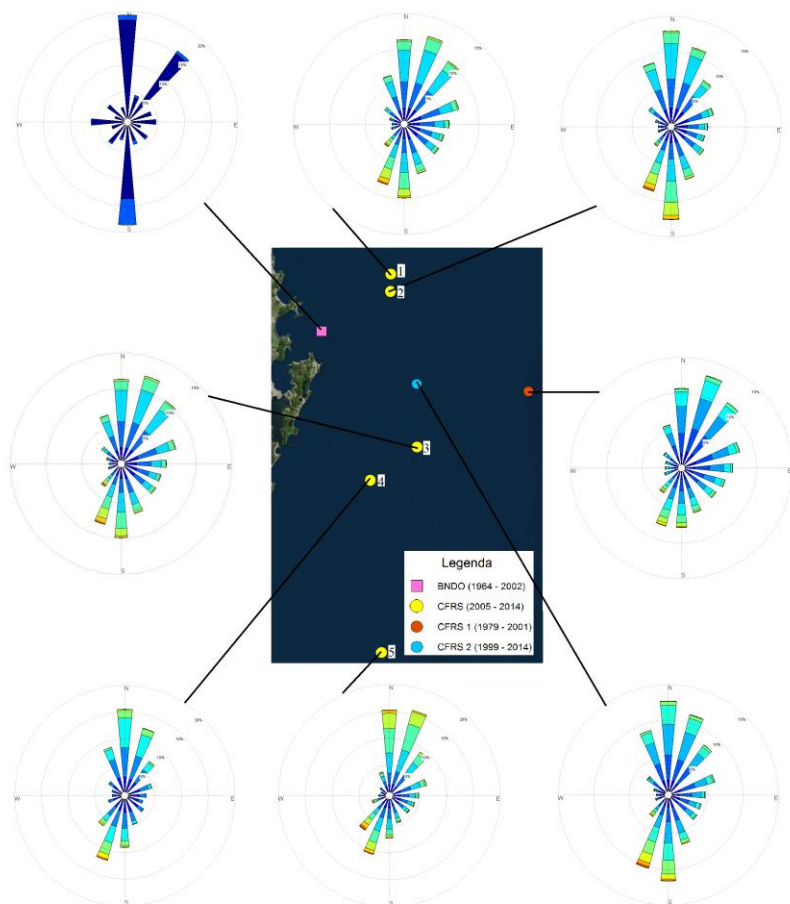


Figura 34: Localização dos pontos com as séries de dados e suas respectivas rosas de vento.

Resumidamente, através da Figura 35 pode-se observar um padrão de frequência semelhante dos ventos para cada direção da rosa. Sendo que ventos provindos de norte e norte-nordeste, são os mais observados (até 20%). Exceção é observada para a estação meteorológica do Arvoredo, onde os ventos provenientes de sul representam 38% de ocorrência.

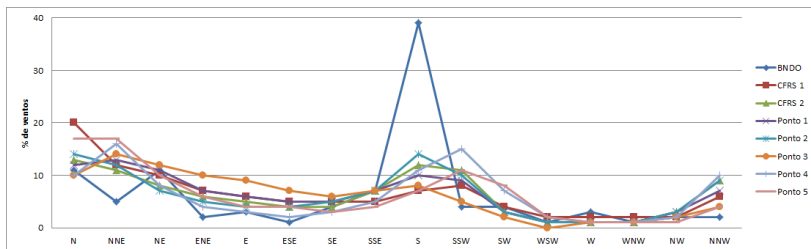


Figura 35: Gráfico que apresenta a porcentagem de cada direção dos ventos na série histórica, para os oito pontos analisados.

Os pontos com as séries de reanálise em sua totalidade, apresentaram o mesmo padrão de dados, no entanto, o ponto 5 mostrou ventos dominantes de sul-sudoeste e predominantes de norte-nordeste (como o padrão dos outros pontos analisados); porém, nota-se que para esse local específico, a porcentagem de vento do quadrante norte, foi muito superior ao do quadrante sul, 49% e 33%, respectivamente.

Ao analisar os ventos em cada estação do ano, o padrão observado permaneceu o mesmo já descrito anteriormente. A Tabela 5 evidencia de forma clara e resumida os ventos dominantes e predominantes para cada ponto.

Tabela 5: Resumo dos ventos dominantes e predominantes para os oito pontos analisados.

Dado	Inverno		Outono		Primavera		Verão	
	D	P	D	P	D	P	D	P
BNDO	S	N	S	N	S	N	S	N
CFSR 1	SSW	N	SSW	N	S	NNE	S	NNE
CFSR 2	SSW	N	SSW	N	SSW	NE	S	NNE
Ponto 1	SSW	N	SSW	N	SSW	NNE	S	NNE
Ponto 2	SSW	N	SSW	N	SSW	NNE	SSW	N
Ponto 3	SSW	N	SSW	N	SSW	NE	S	NNE
Ponto 4	SSW	N	SSW	N	SSW	NNE	SSW	N
Ponto 5	SW	N	SW	N	SSW	NNE	SSW	NNE

4.1.3 Evolução da cobertura vegetal no campo eólico

Analisando a área de estudo como um todo verifica-se uma diminuição da área de cobertura vegetal (em m²), devido à substituição das planícies de deflação eólica por áreas urbanizadas. Salienta-se que este tópico visa somente apresentar e entender o comportamento da vegetação no interior do campo de dunas (Figura 36).

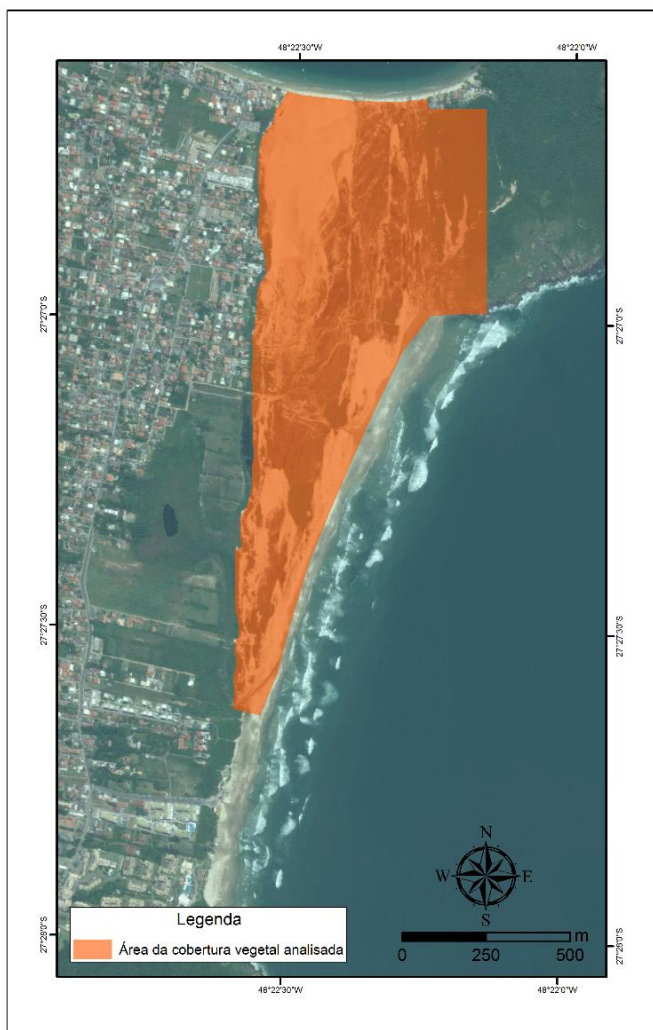


Figura 36: Área comum em todas as fotografias aéreas/imagens de satélite para analisar a evolução da cobertura vegetal no campo de dunas.

Os resultados sobre a área ocupada pela vegetação no sistema (Figura 37), mostram um crescimento acelerado a partir de 1978, o qual decaiu em 2004 e volta a aumentar em 2007.

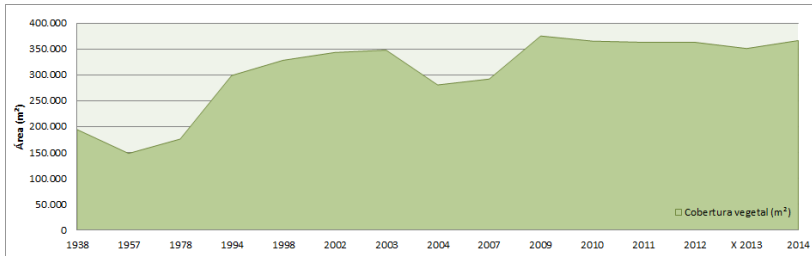


Figura 37: Distribuição área ocupada pela vegetação (em m²) no campo de dunas, entre 1938 e 2014.

Observou-se de forma qualitativa, que o crescimento da vegetação geralmente ocorre de forma rápida após as chuvas a partir da porção mais baixa do relevo, através de gramíneas e pequenos arbustos. Este crescimento teve início nos ambientes inter-dunares e no entorno de caminhos originados pelas passagens de carros e motos. Fatores como o vento norte-nordeste, bem como a chuva que escorre do morro no setor ao norte do campo de dunas, favorecem o crescimento da vegetação no local nestes locais (Figura 38).



Figura 38: Exemplo de início do crescimento da vegetação em uma poça, após dias de chuva em agosto de 2014. Fotografia tirada no sentido de norte para sul do campo de dunas.

O resultado da vetorização da área de estudo para os anos de 1957 e 2014 (Figura 39), evidenciou o crescimento da cobertura vegetal pela margem mais próxima à praia do Santinho (a leste do campo de dunas), uma vez que essa região apresenta cotas mais baixas e menor volume sedimentar (vide item 4.2.4), fica evidente o crescimento da vegetação ao longo dos anos.

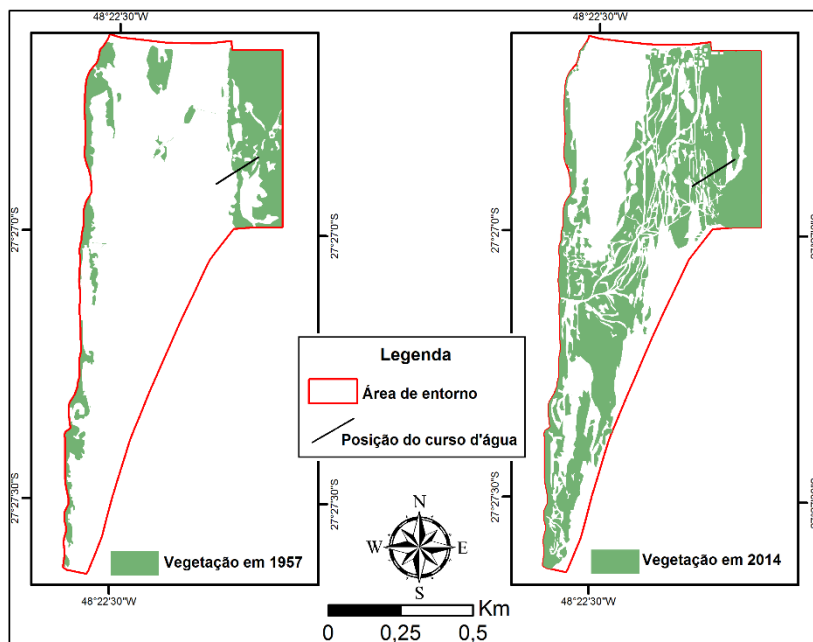


Figura 39: Evolução da cobertura vegetal e localização do curso d'água no campo de dunas.

4.1.4 Crescimento da urbanização na área de estudo

Em 1938, na porção oeste do campo de dunas, existiam basicamente planícies vegetadas, bastante preservadas, sem grandes casas, ruas, resorts, turistas e caminhos para passagens; somente foi possível notar uma estrada aberta.

Na Figura 40, nota-se que a partir de 1978 houve um grande e constante crescimento da urbanização, observado até os dias de hoje. Nota-se também que no mesmo período (a partir de 1978), foi quando a vegetação do campo de dunas apresentou um crescimento considerável

(Figura 37), evidenciando as influências iniciais das construções próximas aos sistemas de dunas.

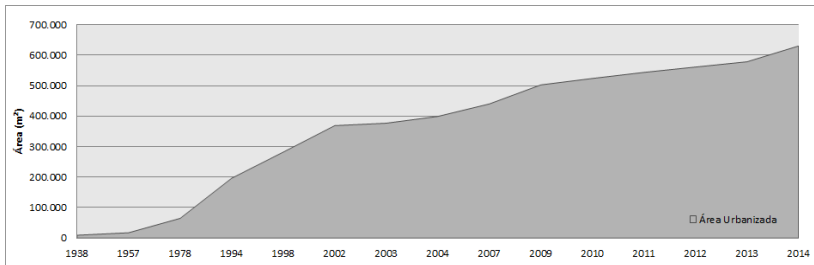


Figura 40: Gráfico do crescimento da urbanização (em m²) na área de estudo, entre 1938 e 2014.

A maior parte da evolução da ocupação urbana até 2014, ocorreu no setor mais ao norte do campo de dunas, cerca de 65% das construções estão ali localizadas; na porção mais ao sul, (próximo ao Resort Costão do Santinho) somente 35% (Figura 41).

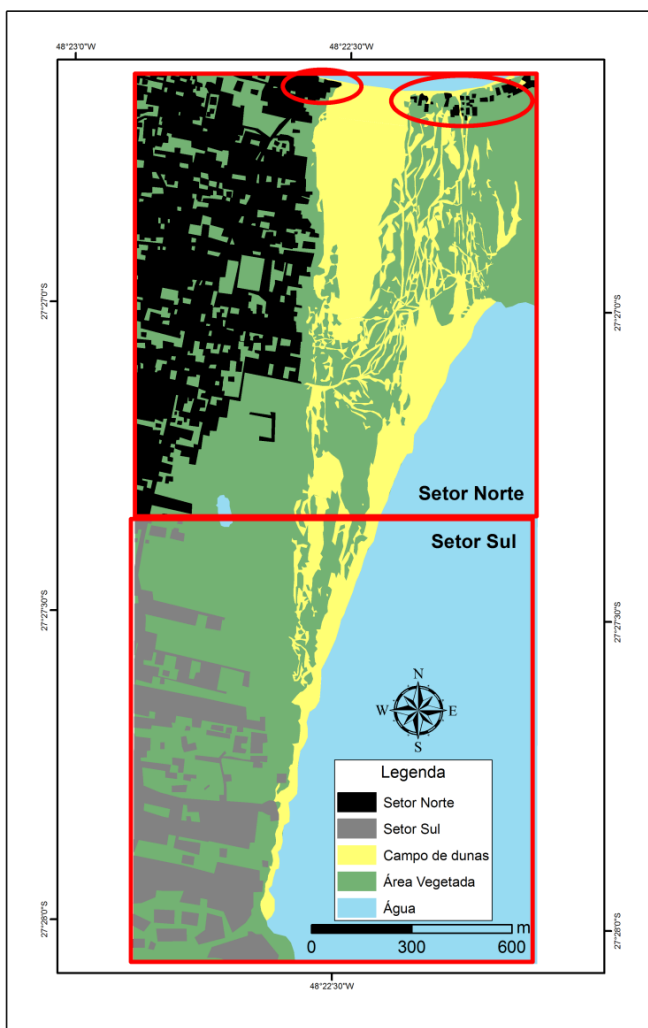


Figura 41: Maior crescimento na porção norte da área de estudo, assim como em áreas de riscos.

Ao analisar a Figura 41, os círculos vermelhos apontam construções na rota de migração das dunas, uma vez que essas migram para norte. Casas, restaurantes e ranchos de pescadores os quais já apresentam sedimento em seu interior é somente questão de tempo para a cobertura por completo, como ocorrido com outras moradias observadas por imagens de satélites e em campo; demonstrando a ocupação desordenada e sem planejamento do local (Figura 42).



Figura 42: Campo de dunas migrando para norte e iniciando a cobertura do imóvel.

4.2 Geomorfologia e Transporte de Sedimentos

4.2.1 Descrição das feições eólicas observadas entre 1938-2014

As dunas observadas ao longo dos anos na área de estudo permitiram levantar algumas considerações acerca da dinâmica e comportamento do campo de dunas. Diversas feições eólicas foram visualizadas no sistema durante saídas de campo e também por fotografias aéreas/imagens de satélite. As mais notórias foram dunas parabólicas, retrocordões, ruptura de deflação, montes residuais, superfícies interdunares, cadeias barcanóides, extensões lineares e lobos posicionais (Apêndice A).

A partir da fotografia aérea de 1938 é possível observar (de Sul para norte) a presença de dunas parabólicas, transversais (orientadas para nordeste) e barcanas bem definida a leste, próxima ao promontório.

Em 1957, visualiza-se melhor o corredor de deflação, o qual se apresenta com uma forma mais definida. Nesta imagem observa-se também cadeias barcanóides (orientadas para noroeste) que se formaram entre 1938 e 1957 e as dunas parabólicas desaparecem. Entretanto a duna barcana permaneceu ao longo dos vinte anos.

No ano de 1978, observa-se uma duna transversal do tipo barcana (com extensão aproximada de 350m), retrocordões situados mais a leste, cadeias barcanóides orientadas para nordeste, uma pequena duna parabólica próxima a praia dos Ingleses e novas rupturas de deflação e o local onde existiam dunas barcanas, se tornou vegetado.

Na fotografia aérea do ano seguinte analisado (1994) foi possível identificar retrocordões a leste do sistema e cadeias barcanóides. Também são visualizadas rupturas de deflação já identificados em 1978 e outras novas a norte, tendo contato com a praia dos Ingleses.

Após quatro anos, em 1998, os retrocordões continuam sendo observados na mesma posição. A ruptura de deflação próxima ao promontório é observada até os dias atuais e outras novas continuam se formando. Devido à alta reflexão presentes na imagem de 1998, mesmo essa sendo tratada, a identificação da maioria das feições ficou prejudicada.

Em 2002 seis cadeias barcanóides foram evidentes no sistema, para os anos seguintes de 2003 e 2004 o mesmo padrão foi observado, sendo nítida a migração das feições para o norte. No ano de 2007, as cristas das dunas apresentaram uma tendência de rotação anti-horária para noroeste, os retrocordões apresentaram vegetação e novas rupturas de deflação são notórias.

Na imagem de satélite de 2009, ocorreu o mesmo problema do ano de 1998, não sendo possível a correta visualização das feições nas dunas, porém notou-se cadeias barcanóides. Em 2010, uma grande cadeia barcanóides está presente (desde o lado oeste até o lado leste do campo eólico); várias outras rupturas de deflação próximas aos Ingleses, são notadas e rastros lineares residuais também.

No ano de 2011, a morfologia se apresenta similar à do ano anterior, rastros lineares residuais permanecem, dunas parabólicas e cadeias barcanóides também são observadas no ano seguinte (2012).

Ao analisar as feições de 2013, notam-se novamente as dunas parabólicas, retrocordões e cadeias barcanóides, as quais em 2014 continuam presentes, no entanto deslocadas mais para o norte, assim como diversas dunas parabólicas.

4.2.2 Migração das cristas de dunas do sistema Santinho/Ingleses

A partir da metodologia aplicada, foi possível analisar a migração de onze cristas das dunas, através da mudança de posicionamento destas.

4.2.2.1 Taxa de migração entre os anos de 2002 e 2003

Entre o ano de 2002 e 2003, através de quatro feições bem definidas nas imagens de satélite (Figura 43), foi possível acompanhar o deslocamento das cristas para o norte com uma taxa de migração entre 15-42m/ano e uma média de 30m/ano.

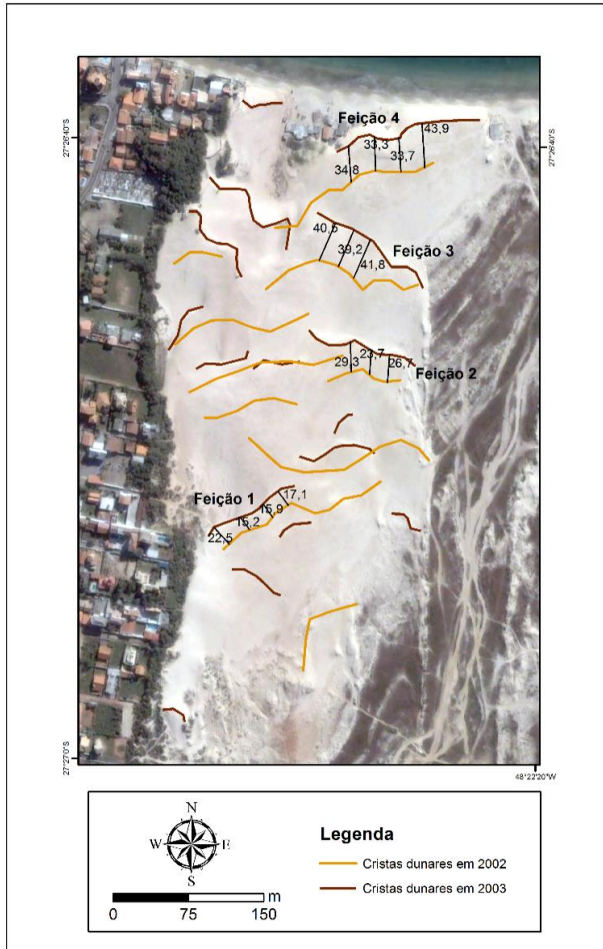


Figura 43: Migração das feições eólicas analisadas entre 2002 (laranja) e 2003 (marrom).

A taxa de migração calculada para cada crista está apresentada na Tabela 6 e nota-se que a feição 1 e 2 migram de forma mais lenta (17,7m/ano e 26,6m/ano, respectivamente) que as observadas mais ao norte (3 e 4, 40,5m/ano e 36,4m/ano, respectivamente). A feição 1 é a maior das feições analisadas, a feição 2 apresenta o segundo menor valor de migração, assim como é a segunda maior feição analisada; já a feição 3 migra de forma rápida (40,5m/ano) ao se comparar com as outras, por fim a feição 4, de menor extensão não apresenta a maior taxa de migração (36,4m/ano).

Tabela 6: Taxa de migração para cada feição analisada entre 2002 e 2003.

Taxa de migração (2002-2003)	Feição 1	Feição 2	Feição 3	Feição 4
	22,5	29,3	40,5	34,8
	15,2	23,7	39,2	33,3
	15,9	26,7	41,8	33,7
	17,1	-	-	43,9
Média (m/ano)	17,7	26,6	40,5	36,4

4.2.2.2 Taxa de migração entre anos de 2003 e 2004

Ao analisar a taxa de migração entre 2003 e 2004, as feições 1 e 2 continuaram sendo evidentes possibilitando novamente a análise dessas e de mais uma feição, denominada como 5 (Figura 44). Para o presente período, as taxas de migração variaram entre 16-28m/ano e apresentaram um valor de 21m/ano em média.

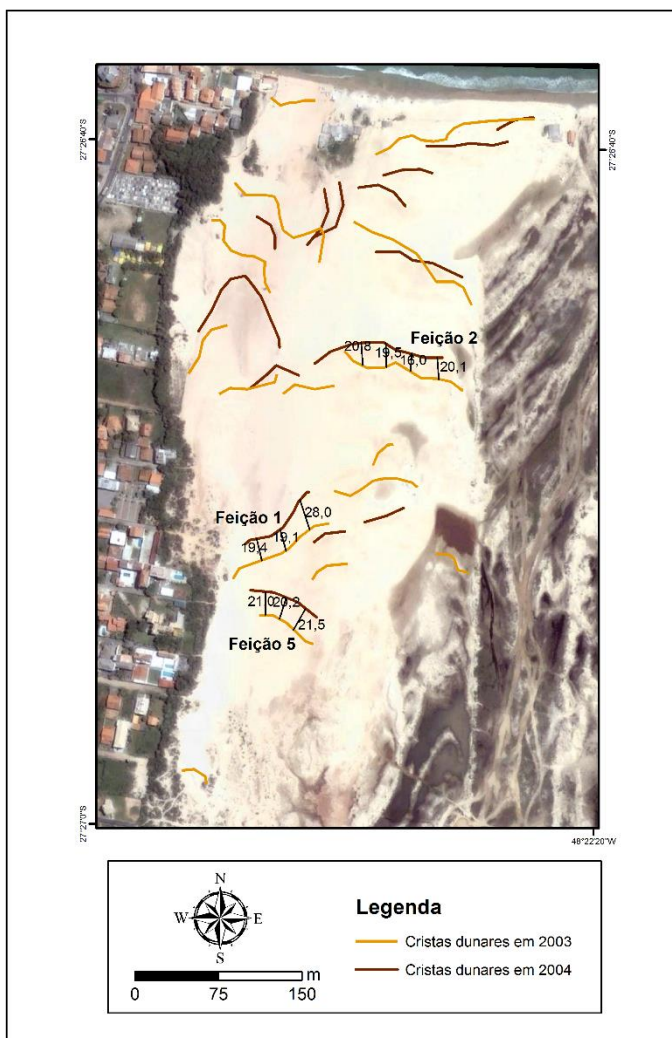


Figura 44: Migração das feições eólicas analisadas entre 2003 (laranja) e 2004 (marrom).

Entre 2002 e 2003 (Tabela 6), a feição 1 migrava de forma mais lenta (17,7m/ano) que a 2 (26,6m/ano) e apresentava a maior tamanho quando comparada a feição 2. Para o ano de 2003 e 2004, a feição 1 migrou de forma mais rápida (22,2m/ano) que a 2 (19,1m/ano), como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Taxa de migração para cada feição analisada entre 2003 e 2004.

Taxa de migração (2003-2004)	Feição 1	Feição 2	Feição 5
	19,4	20,8	21,0
	19,1	19,5	20,2
	28,0	16,0	21,5
	-	20,1	-
Média (m/ano)	22,2	19,1	20,9

Ao longo dos anos, como mostrado anteriormente, o vento transporta o sedimento de sul para o norte da Ilha, fazendo com que ocorra migração das cristas nesse sentido.

4.2.2.3 Taxa de migração entre os anos de 2013 e 2014

Para os anos de 2013 e 2014 (Figura 45), as imagens de satélite exibiram seis novas cristas (6-11) e as feições 1 e 2 comentadas anteriormente, continuaram sendo visualizadas e se deslocando para norte. A taxa de migração das cristas variou de 5-40m/ano e apresentou a menor média dos três períodos analisados, 18m/ano.

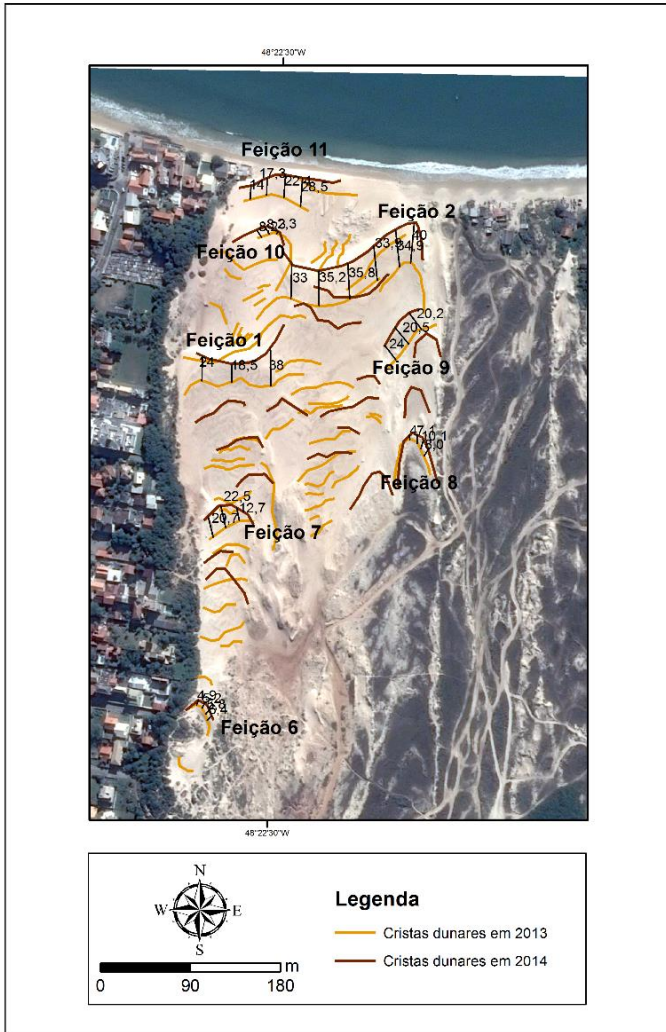


Figura 45: Migração das feições eólicas analisadas entre 2013 (laranja) e 2014 (marrom).

As feições 1 e 2, dez anos após a análise do item 4.2.2.2 continuaram com as maiores taxas de migração (26,8m/ano e 35,5m/ano, respectivamente) como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8: Taxa de migração para cada feição analisada entre 2003 e 2004.

Taxa de migração (2013-2014)	Feição 1	Feição 2	Feição 6	Feição 7	Feição 8	Feição 9	Feição 10	Feição 11
	24,0	33,0	4,9	20,7	4,0	24,0	8,2	14,0
	18,5	35,2	5,2	22,5	7,1	20,5	8,3	17,3
	38,0	35,8	5,8	12,7	10,1	20,2	2,3	22,4
	-	33,9	6,4	-	8,0	-	-	28,5
	-	34,9	-	-	-	-	-	-
	-	40,0	-	-	-	-	-	-
Média (m/ano)	26,8	35,5	5,6	18,6	7,3	21,6	6,3	20,6

A feição 6 migrou de forma lenta (5,6m/ano) ao ser comparada com as anteriores, isso se deve ao fato de um grande arbusto à barlavento, estar barrando os ventos mais intensos diminuindo seu deslocamento.

4.2.2.4 Taxa de migração em 2014, a partir de dados topográficos

Com a aquisição da posição das feições 1, 2, e 11 durante as saídas de campo (Figura 46), afirma-se que em 2014, as mesmas migraram em média 4m/3 meses; ou seja, em um ano, se deslocariam para a praia dos Ingleses cerca de 16m. Essa estimativa fica próxima à média encontrada de 18m/ano entre 2013 e 2014 (item 4.2.2.3).

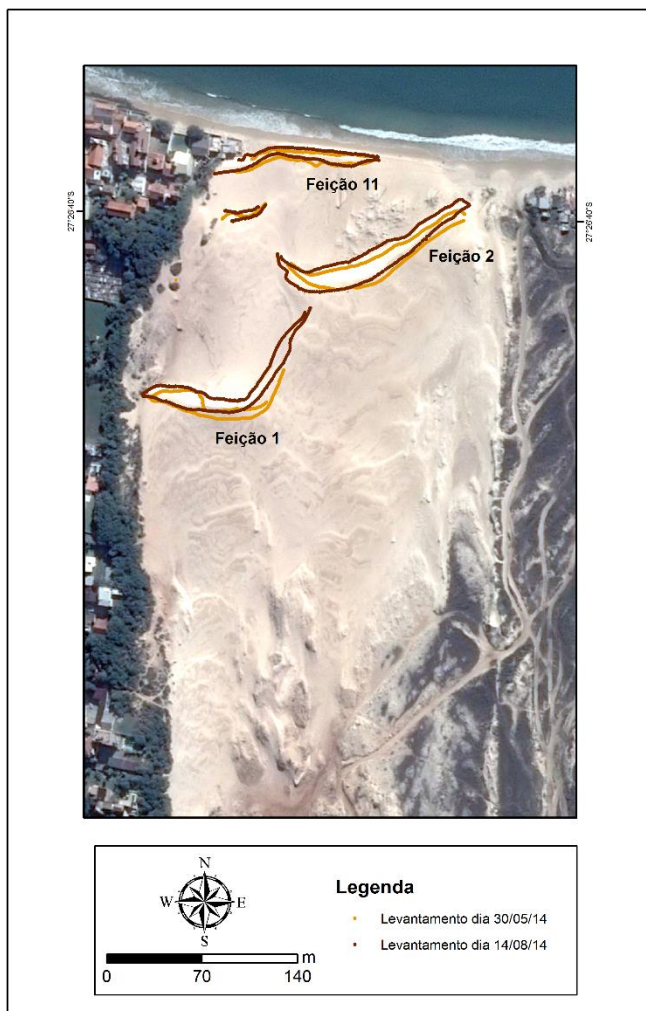


Figura 46: Posição das cristas de dunas (em laranja a mais antiga e marrom a mais recente) coletadas com DGPS em modo RTK (configurada como topo contínuo, para aquisição a cada segundo).

A Tabela 9, apresenta os resultados das medições realizadas entre as distintas posições das feições. Assim como anteriormente, a feição 1 foi a que migrou de forma mais rápida (4,5m/ano) ao ser comparada com as demais, pelo fato dessa apresentar menor extensão, assim como menor volume.

Tabela 9: Taxa de migração para cada feição aquisitada no campo eólico, com DGPS em maio e agosto de 2014.

Taxa de migração (30/05/04 – 14/08/04)	Feição 1	Feição 2	Feição 11
	2,6	3,3	2,3
	3,5	3,8	2,2
	6,5	3,0	3,4
	4,8	3,9	2,7
	5,2	5,1	4,1
	4,5	3,5	3,6
	5,3	4,9	4,5
	4,7	4,8	-
	4,4	5,0	-
	3,6	4,5	-
	-	3,9	-
Média (m/3meses)	4,5	4,2	3,3

4.2.3 Potencial de deriva eólica (DP) para o campo de dunas Santinho/Ingleses

Os valores encontrados para o potencial de deriva eólica foram calculados a partir do tamanho de grão de 0,199mm, velocidade limiar de cisalhamento (V^*) de 0,206 m/s e velocidade limite de impacto ($V_{(10m)}$) de 6,16m/s.

Ao analisar o potencial de deriva eólica para cada ponto onde os dados de vento foram estudados (Figura 47), nota-se que o resultado para a Estação Meteorológica do Arvoredo apresenta o menor valor, seguido do Ponto 4 (CFSR), Ponto 3, Ponto 1, Ponto 2, CFSR 1, CFSR 2 e por fim o Ponto 5, localizado mais ao sul e afastado dos outros analisados.

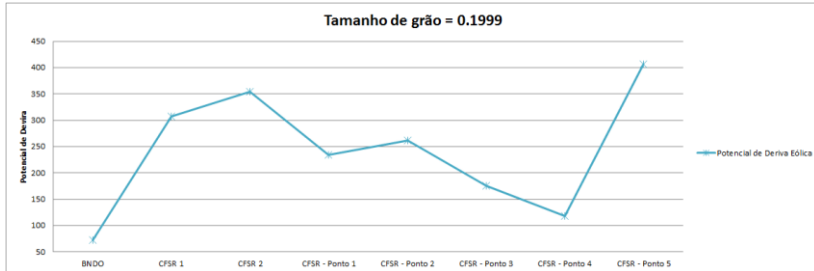


Figura 47: Potencial de deriva eólica encontrado para cada ponto analisado.

A estação do Arvoredo apresentou o menor valor encontrado dentre todo o litoral (sendo que 73u.v. indica um vento de baixa energia de transporte). Outro vento classificado como de baixa energia segundo Fryberger (1979), foi encontrado no ponto 3 e 4 (171u.v. e 114 u.v.), ventos de energia moderada foram observados nos pontos 1, 2, CFSR 1 e CFSR 2 (228u.v. e 256u.v.). Somente no ponto 5 foi observado ventos de alta energia (>400 u.v.).

Quando graficados os valores de DP sazonalmente, torna-se claro o distinto comportamento durante cada estação do ano. Nos meses de verão, o potencial de deriva apresentou valores menores (66 u.v.; 295 u.v.; 252 u.v.; 172 u.v.; 200 u.v.; 176 u.v.; 90 u.v. e 228 u.v.) ao ser comparado com as outras estações do ano. Já durante o inverno, ocorreu o maior potencial para o transporte de sedimento (89 u.v.; 402 u.v.; 422 u.v.; 311 u.v.; 320 u.v.; 318 u.v.; 144 u.v. e 539 u.v.), como apresentado na Figura 48.

Comparando a Figura 33 (no item 4.1.1), que mostra a quantidade de chuva por estação do ano, com a Figura 48, nota-se a influência direta da precipitação no transporte eólico, ou seja, durante os meses de verão e primavera, onde houve maior quantidade de chuva, o transporte potencial apresentou menores valores (por exemplo para o Ponto 1, 295 u.v. e 311 u.v., respectivamente). No entanto, durante os meses de outono e inverno (menor precipitação), o potencial de deriva mostrou valores mais elevados (por exemplo para o Ponto 1, 337 u.v. e 402 u.v., respectivamente). Somado a estes dados, podemos mencionar a ocorrência de eventos de tempestade, frequentes durante todo o inverno, com ventos fortes predominantes de S/SE.

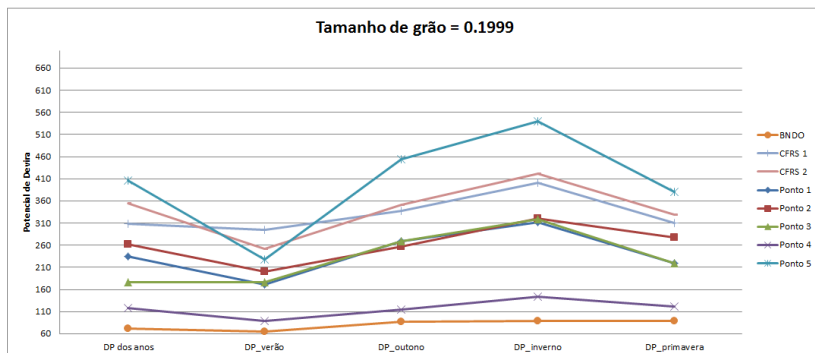


Figura 48: Potencial de deriva analisado sazonalmente, para cada ponto de dado.

A respeito da direção de deriva resultante para os pontos analisados, de modo geral, o método aplicado adequou-se de forma verdadeira para o campo de dunas do Santinho/Ingleses, resultando em diagramas de DDR que na sua maioria, concordam com a direção de migração do sistema, entretanto os pontos 3 e 5, tiveram sua direção de deriva resultante para oeste-sudoeste e sul, respectivamente (Figura 49).

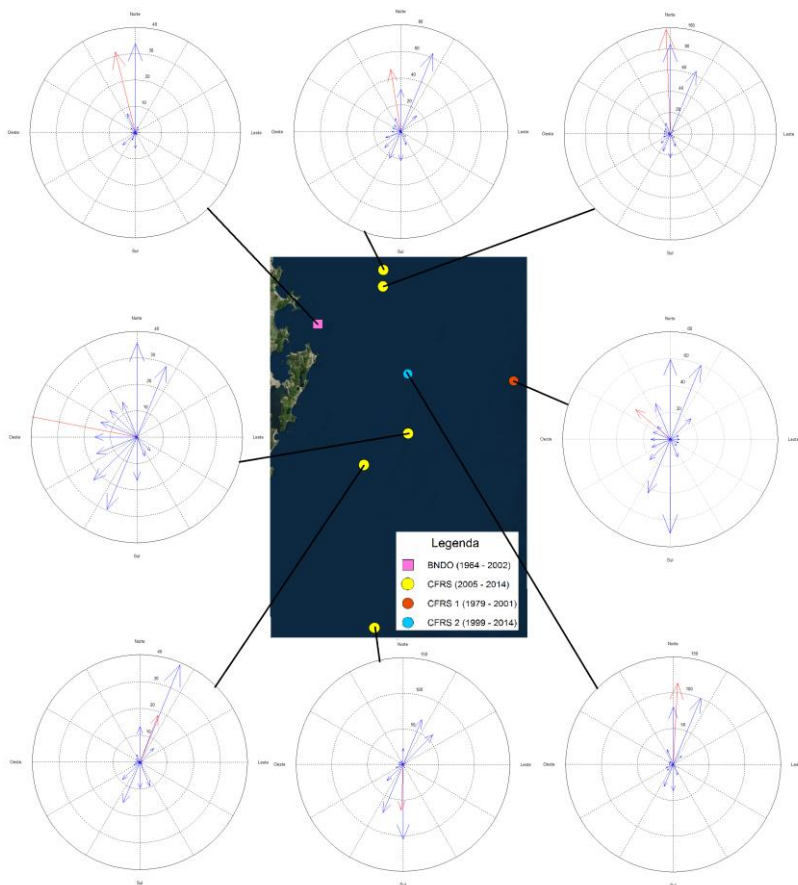


Figura 49: Localização dos pontos com as séries de dados e suas respectivas direções de deriva resultantes.

4.2.4 Volume sedimentar e morfologia do Sistema Santinho/Ingleses

Os valores de volume sedimentar calculados para o campo de dunas ocorreram a partir da interpolação através do método IDW (*Inverse Distance Weighting*), o qual apresentou o menor EQM (Figura 50) assim como melhor representou o ambiente estudado (ou seja, mostrou de forma mais realista o sistema).

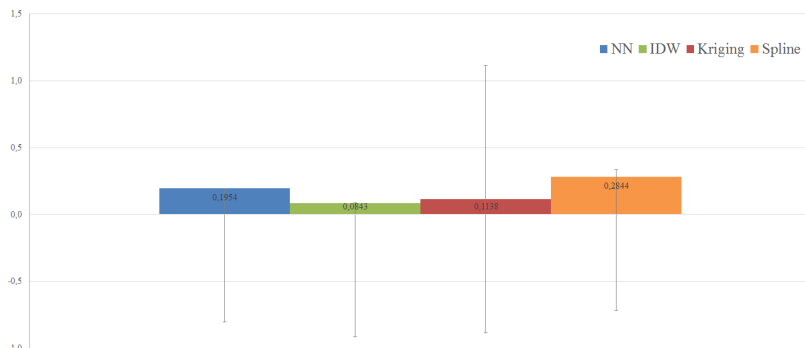


Figura 50: Erro Quadrático médio calculado para cada método de interpolação e a barra representando o desvio padrão de cada um.

4.2.4.1 Campo de dunas transgressivas

Os resultados finais dos volumes apresentaram um decaimento com o passar dos anos (Figura 51). Em 2002, a área demarcada e analisada apresentava cerca de 3.066.695m³, após oito anos, o volume passou a ser de 2.840.979m³ e quatro anos depois, em 2014 o volume do campo de dunas foi de 2.542.653m³.

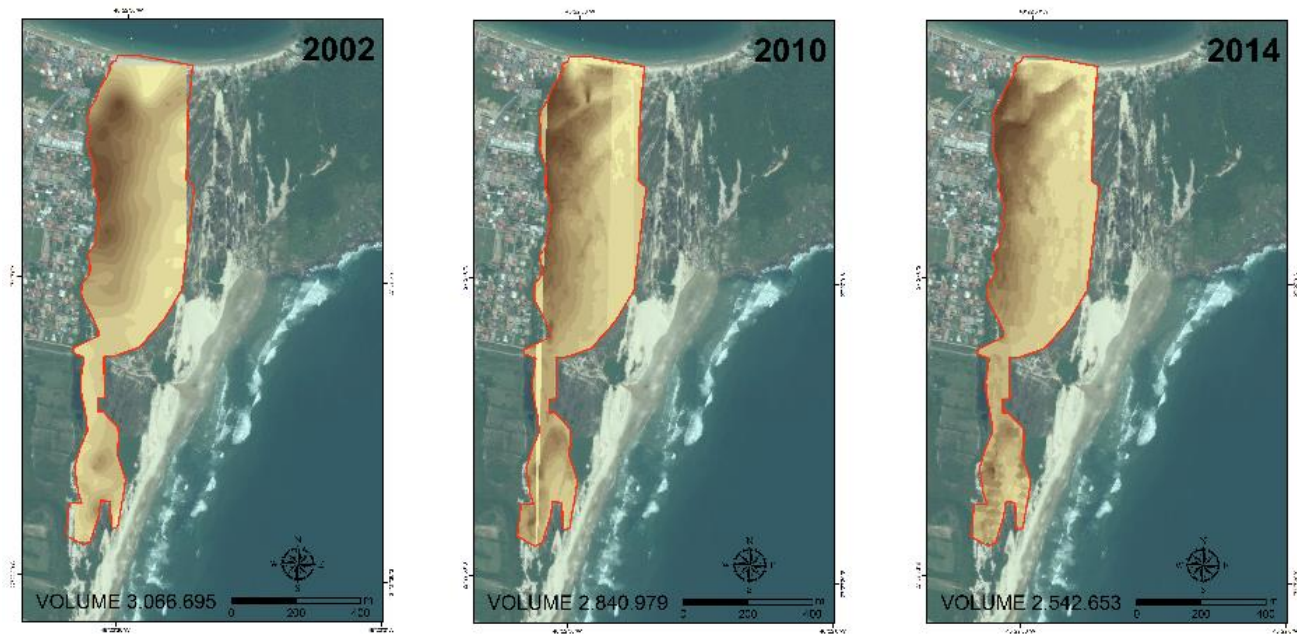


Figura 51: Interpolações realizadas com dados de altimetria do IPUF (2002), modelo digital de terreno da SDS (2010) e DGPS (2014).

Como apresentado no item 4.2.2.4 através da taxa de migração das cristas das dunas para norte, entende-se que os ventos provenientes de sul transportam grande parte do sedimento para a praia dos Ingleses, onde parte deste se deposita na porção emersa da praia e parte na submersa.

Para se ter uma noção e melhor visualização do volume sedimentar que chega até a praia dos Ingleses, a Figura 52 mostra um poste o qual teve de ser adaptado para as dunas não o recobrirem.



Figura 52: Feição eólica sendo visualizada de norte para sul. Destaca-se o poste adaptado para o sedimento não recobrir os fios de eletricidade, assim como resquícios de ranchos dos pescadores já destruídos por outras feições eólicas que por ali passaram.

A partir dos dados aqusitados em 2014, um modelo digital de terreno foi criado para analisar o volume sedimentar do campo de dunas e estimar a quantidade de sedimento que chega à praia dos Ingleses. A Figura 53, criada a partir dos resultados da interpolação dos dados coletados em campo, nos permite melhor interpretar os resultados, os quais condizem com o ambiente real.

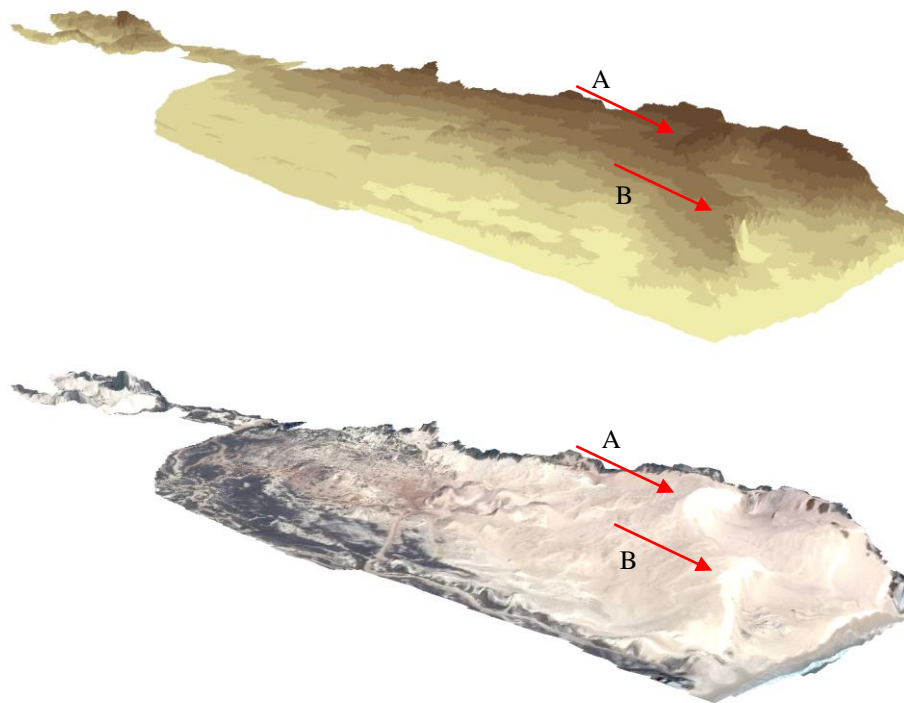


Figura 53: MDT criado a partir dos dados topográficos coletados em 2014 com DGPS, na esquerda a interpolação realizada com IDW e a direita, a mesma com a imagem do Google Earth em cima.

Como o resultado para a interpretação da morfologia do sistema através do MDT se fez bastante verdadeira, principalmente na representação das duas maiores cristas do campo de dunas; essas foram utilizadas para estimar o volume sedimentar aportado pelo sistema para a praia de Ingleses.

A feição A, apresentou cerca de 51.000m³ de sedimento e a B cerca de 87,000m³; como analisado no item 4.2.2.3 e 4.2.2.4, as feições no ano de 2014 migraram em média 16-18m/ano, logo pode-se dizer que o volume sedimentar aportado para a praia varia entre 3.000-5.000m³/ano. Devido ao fato do aporte sedimentar para o sistema entrar pela praia do Santinho, foi necessário entender o comportamento das suas dunas frontais e quantificar do volume associado.

4.2.4.2 Dunas frontais da praia do Santinho

Na região das dunas frontais da praia do Santinho, existem diferenças nítidas de volume entre a porção sul (mais protegida) e norte (mais exposta), como apresentado na Figura 54.

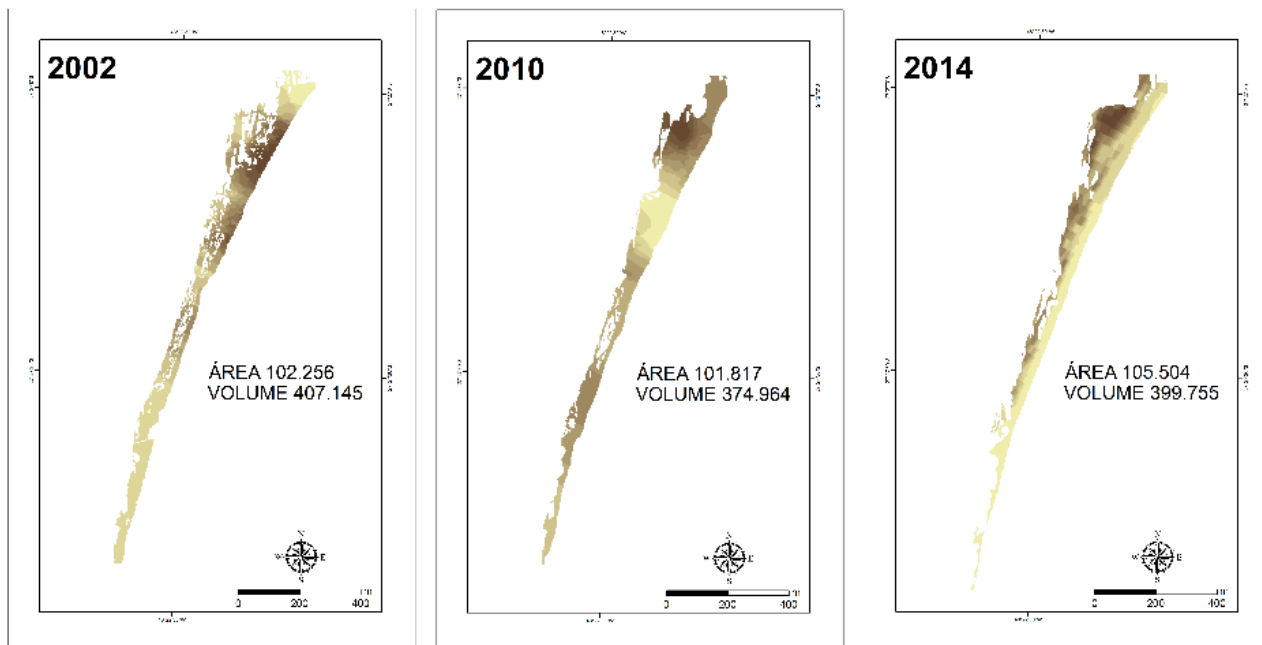


Figura 54: Valores de área e volume sedimentar para a duna frontal do Santinho durante os anos de 2002, 2010 e 2014.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 54, como um todo, a área de cobertura da duna frontal não sofre grandes variações, assim como no volume total. Devido a isso, uma análise por setores (norte, central e sul), se fez importante para melhor entender a entrada sedimentar no sistema (Figura 55).

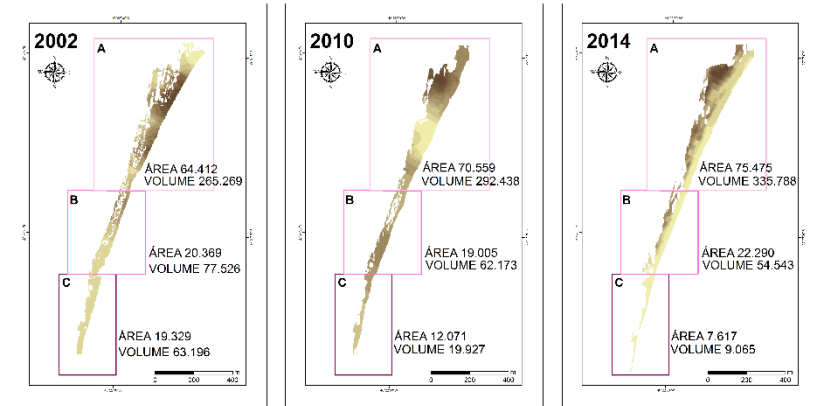


Figura 55: Análise da área e do volume da duna frontal do Santinho para três setores em 2002, 2010 e 2014.

O setor A sempre apresentou os maiores valores de volume sedimentar nos anos de 2002, 2010 e 2014 (265.269m^3 , 292.438m^3 e 335.788m^3 , respectivamente), quando comparado com os setores B (77.526m^3 , 62.173m^3 e 54.543m^3 , respectivamente) e C (63.196m^3 , 19.927m^3 e 9.065m^3 , respectivamente), assim como os valores de área ocupada pelas dunas frontais, evidenciando uma maior entrada de sedimento no sistema por essa porção.

Ao observar a vetorização da duna frontal do Santinho em 2004 (Apêndice B), esta apresenta uma área maior quando comparada com os anos anteriores. Em 2014 (dez anos depois), a região do setor A novamente tende a ser maior que B e C, indicando a entrada de um novo pulso, ou seja, o aporte sedimentar ocorre por volta de no máximo 10 anos pelo setor norte da praia do Santinho. Assim sendo, ao longo de 12 anos (entre 2002 a 2014) a porção A, recebeu cerca de 70.000m^3 de sedimento, a uma taxa de $6.000\text{ m}^3/\text{ano}$.

CAPÍTULO 5. DISCUSSÃO

5.1 Modelo Evolutivo e fases morfológicas do campo de dunas

A descrição do campo de dunas da área de estudo ao longo dos anos se fez importante para o entendimento das relações entre os fatores ambientais e antrópicos, geomorfologia, transporte de sedimentos e confecção de uma modelo evolutivo.

O estudo das superfícies eólicas possibilita a caracterização das prováveis mudanças na dinâmica e na morfologia dos sistemas. Ao analisar as fotografias aéreas e as imagens de satélites desde 1938 até 2014, nota-se distintas

O estudo das superfícies eólicas possibilitou a caracterização das prováveis mudanças na dinâmica e na morfologia dos sistemas como um todo. Ao analisar as fotografias aéreas e as imagens de satélites entre 1938 à 2014, nota-se distintas fases de transformação as quais o campo de dunas do Santinho/Ingleses evoluiu e continua evoluindo, fases essas previamente descritas por Mendes (2012).

O primeiro estágio corresponde ao período entre 1938 até 1957 (Figura 56), onde ocorre um aumento relativo de sedimentos no sistema e é notória a expansão da área coberta por elementos deposicionais (570.000m^2 em 1938 para 750.000m^2 em 1957).

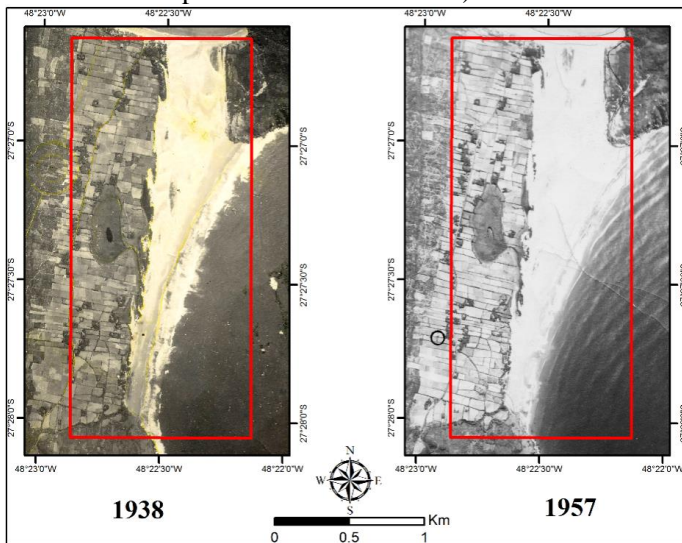


Figura 56: Período do primeiro estágio de evolução do campo de dunas Santinho/Ingleses (1938-1957).

Entre 1957 até 1978, foi observado o segundo estágio de evolução, período onde ocorreu grande passagem de sedimentos pelo

campo de dunas, sendo evidenciado através da diferença na largura dos sistemas (Figura 57).

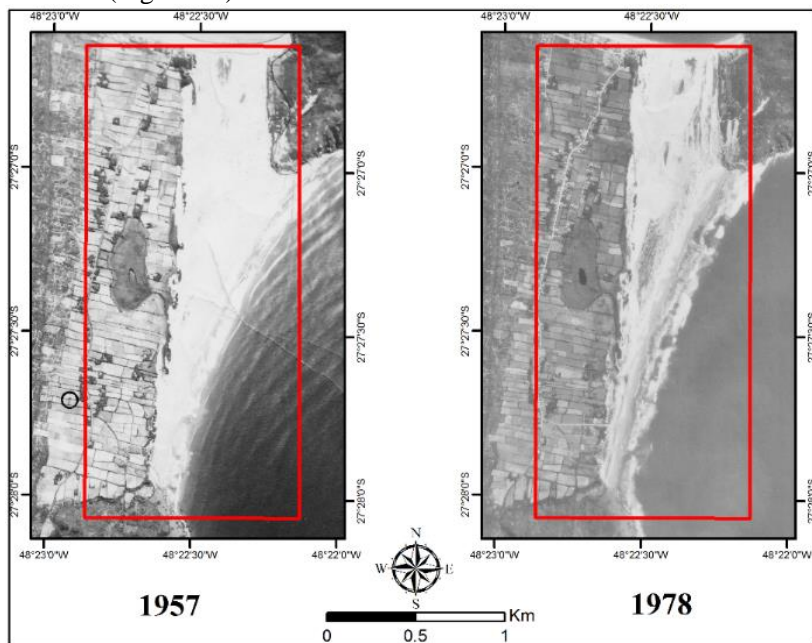


Figura 57: Período do segundo estágio de evolução do campo de dunas Santinho/Ingleses (1957-1978).

Desde 1978 até os dias atuais, ocorre o terceiro estágio de evolução, caracterizado pela diminuição da taxa de migração do campo eólico. Assim como apresentado no item anterior (Taxa de migração das cristas de dunas), a Figura 58 evidencia boa parte do sistema sendo fixado pelo crescimento da cobertura vegetal.

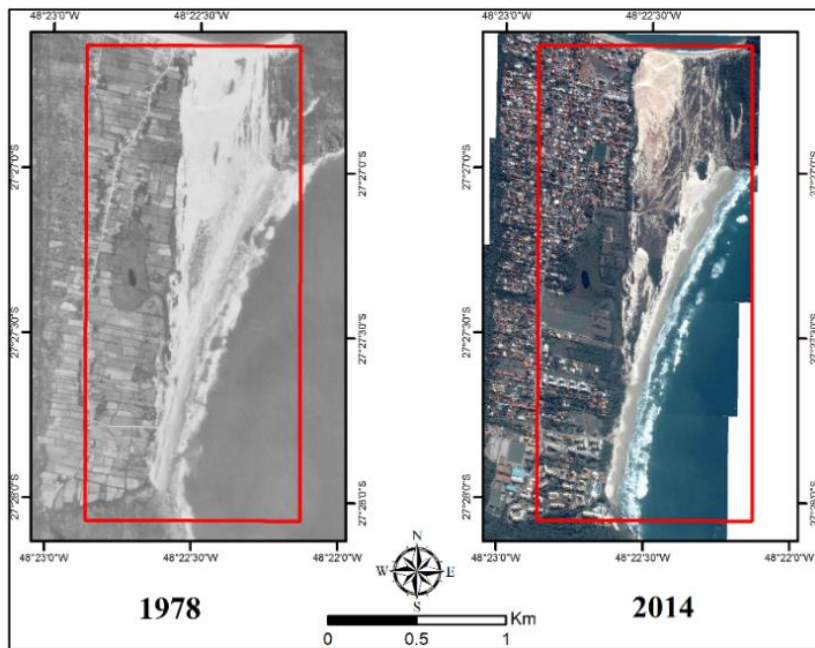


Figura 58: Período correspondente ao terceiro estágio de evolução do campo de dunas Santinho/Ingleses, desde 1978 até a atualidade.

De forma geral, a área total que o campo de dunas ocupou ao longo dos anos (1938 - 2014), diminuiu, isso se deve a crescente estabilização do mesmo pela vegetação.

5.2 Relação entre os fatores ambientais e a taxa de migração do campo de dunas Santinho/Ingleses

5.2.1 Registros de precipitação

A análise das séries históricas de chuvas se faz importante no presente estudo, visto que a precipitação está diretamente relacionada a umidade, que por sua vez, exerce grande influência no campo dunas devido ao favorecimento do aumento da cobertura vegetal, estabilização do sistema, redução do transporte de sedimentos pelos ventos (Mendes, 2012).

Os dados da estação meteorológica do INMET apresentaram um aumento na quantidade de chuva durante os anos analisados (Figura 30), corroborando com Martinho *et al.*, (2010) e Mendes *et al.*, (2015) que também observaram uma tendência de aumento da precipitação ao

longo dos anos. Essa tendência, não se deve somente à fatores locais ou regionais, e sim a ocorrências consideradas globais que influenciam as condições meteorológicas e climáticas no mundo, como os fenômenos *El Niño* e *La Niña* (Mendes *et al.*, 2015).

Grimm *et al.*, (1998), explicam que durante o *El Niño* a precipitação tende a ser maior, quando comparada a períodos de *La Niña*. Para o Brasil, em anos de *El Niño* a região Sul experimenta chuvas acima da média normal climatológica, já nos anos de *La Niña*, o inverso é verdadeiro: seca domina no sul (INPE, 1998).

No entanto, outros estudos mostram que são dois os fatores mais importantes para a precipitação em Santa Catarina, o SMAS que está relacionado com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), intensificada no verão e responsável por cerca de 60% das chuvas no estado de Santa Catarina. O segundo fator, chama-se sistema frontal (frentes frias), responsável pela as chuvas de inverno (Cruz *et al.*, 2007).

Duas são as principais consequências com a tendência de aumento da pluviosidade ao longo dos anos na Ilha de Santa Catarina: o potencial de deriva eólica na região ser reduzido (pelo fato da chuva impedir que o sedimento seja transportado pelo vento) e o clima favorável ao crescimento da vegetação no sistema (uma vez que esse se apresenta mais úmido e com maiores quantidades de água); assim com o passar dos anos a fixação do campo de dunas é inevitável.

5.2.2 Padrões de vento na costa da Ilha de Santa Catarina

Com o intuito de avaliar o comportamento eólico entorno do sistema de dunas, a velocidade (em m/s) dos ventos superficiais e sua direção, foram analisados oito pontos distintos da costa.

De forma geral, os resultados para os padrões de ventos mais frequentes, foram os de norte e nordeste, e os mais intensos de sul e sudoeste, concordando com Bigarella (1972, 1975), Giannini (1993), Bigarella *et al.*, (2006), Vintem *et al.*, (2006), Hesp *et al.*, (2007) e discordando de Miot da Silva (2006), quando a autora analisa somente a série de dados da estação do Arvoredo (entre 1964 a 1998) e define os ventos de sul como os mais intensos e mais frequentes. Esta divergência sobre os ventos se dá, ao analisar outras séries históricas com locais e períodos distintos, com diferentes formas de aquisição do dado e frequências de coleta desses.

São diversas as influências que os ventos podem sofrer em sua trajetória, Bigarella (1972; 1975) explica que os promontórios e a topografia montanhosa da lha de Santa Catarina podem produzir

alterações nas direções dos fluxos eólicos, fornecendo algumas proteções contra os ventos de norte, ou até mesmo, produzir alguns fluxos secundários significativos. Observações de curto prazo feitas por Bigarella *et al.*, (2006) na área, indicam que parte dos ventos mais frequentes (vindos de norte) são desviados pela topografia, conseguindo mudar a sua direção para norte.

Através da análise dos ventos no ponto 5, fica evidente a influência dos altos topográficos na área de estudo, uma vez que esse está situado mais ao sul, distante de qualquer relevo, e apresentou maiores frequências nos registros dos ventos de norte/nordeste. Isso justifica a discrepância entre a frequência dos ventos do quadrante norte e sul desse ponto, quando comparado aos demais analisados.

Bigarella (1972), já escrevia a respeito da Ilha de Santa Catarina estar protegida da ação dos ventos mais frequentes de norte e nordeste, sugerindo ser esse o motivo da efetividade de ventos diretos ou canalizados dos quadrantes sul e sudeste. Corroborando com o comportamento das séries analisadas, assim como com a direção de migração do campo eólico.

5.2.3 Crescente cobertura vegetal sobre o campo de dunas

Diversos são os estudos que afirmam a respeito da estabilização dos campos de dunas no Brasil (Seeliger *et al.*, 2000; Matinho, 2004; Bigarella, *et al.*, 2006; Miot da Silva, 2006; Hesp *et al.*, 2009; Martinho *et al.*, 2010; Mendes, 2012; Miot da Silva *et al.*, 2013; Pinto *et al.*, 2014 e Mendes *et al.*, 2015), assim como na Argentina (Marcomini; Maidana, 2006) e no hemisfério norte (Jackson; Cooper, 2011 e Provoost *et al.*, 2011).

Miot da Silva *et al.*, (2013) estudando as dunas frontais da praia do Moçambique, situado a leste do estudado, comenta que o mesmo apresentou elevado crescimento da área vegetativa entre 1938 e 1976, cerca de 70% e atribuem o crescimento da área vegetada nos campos eólicos do sul do Brasil ao represamento do lençol freático, redução do aporte sedimentar e alterações locais na força do vento e na precipitação.

Hesp; Thom (1990) e Hesp (1999), corroboram com a autora quando explicam que a estabilização natural dos campos de dunas através do crescimento da vegetação, pode ocorrer como resposta do ambiente e/ou fatores climáticos como as chuvas e níveis do lençol freático, regimes de ventos e ondas, aporte sedimentar e variações do nível relativo do mar.

No entanto, segundo a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (comunicação pessoal - CASAN) ao longo campo de dunas

do Moçambique (de norte a sul, na porção a leste), existem 22 poços perfurados para bombeamento e verificação da água do lençol freático e mais um poço no campo de dunas do Santinho. Sabe-se que o lençol freático apresenta dois níveis distintos: o estático (que é a distância da superfície do terreno ao nível de água dentro do poço, situado a cerca de 12m da superfície) e o dinâmico (que é a distância entre a superfície do terreno e o nível da água dentro do poço quando bombeado, o qual pode atingir até 17m), sendo que o tempo em média para o reservatório da região retornar ao nível estático depois do poço ser utilizado no verão, é cerca de 3 horas.

Na porção mais ao sul da praia do Santinho, na zona de espraiamento, o lençol freático muitas vezes aflora, geralmente deixando a região úmida; porém, esse processo não ocorre no campo de dunas como um todo devido a profundidade do mesmo, explica a Divisão de Manutenção e Operação de Poços (DIMOP-CASAN). Por isso, para o sistema Santinho/Ingleses o lençol freático não apresenta grande interferência no aumento ou diminuição da vegetação no local, discordando das observações feitas pelos autores anteriormente.

Apesar disso, Farias (2011) identificou um curso de água próximo ao embasamento cristalino em 1957, na parte norte da área de estudo (Figura 59). Anos depois, notou-se o crescimento da cobertura vegetal nas regiões periféricas ao curso d'água, apresentando uma continuidade em direção ao sul do campo de dunas, onde a região apresenta uma topografia mais baixa do que a porção próxima ao Morro das Aranhas, deixando o sedimento mais úmido e muitas vezes saturado. Em campo, também foi observado que a região mais no extremo sul do Santinho, após dias de chuva estava mais úmida que na região mais ao norte.

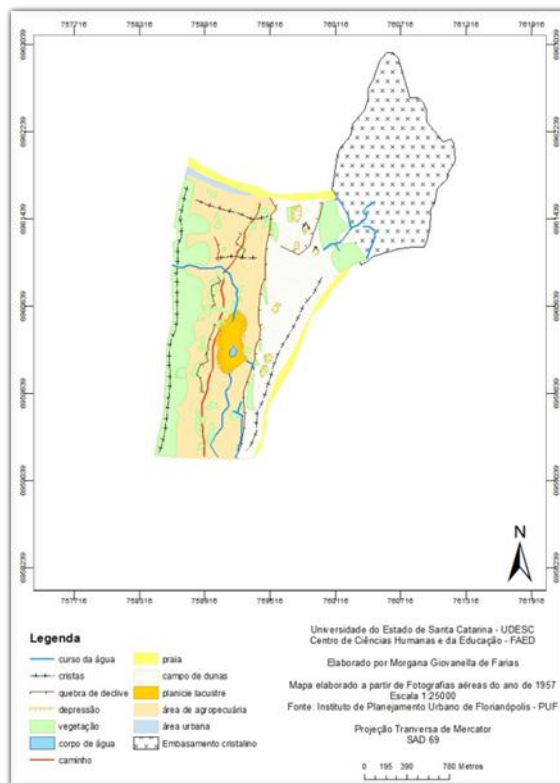


Figura 59: Mapa elaborado por Farias (2011) a partir de estereoscopia, o qual apresenta um curso d'água próximo ao embasamento cristalino, não visualizado na vetorização da fotografia aérea de 1957.

Assim sendo, a estabilização do campo de dunas do Santinho/Ingleses está diretamente relacionada às condições de maior umidade e menor capacidade de transporte pelo vento, que favorecem o crescimento da vegetação no local, não sendo soterradas pelo sedimento transportado pelo vento. Mendes (2012) explica que condições como essa, ocorrem durante a intensificação do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) nos períodos de resfriamento do hemisfério norte.

5.2.4 Urbanização na área de estudo

O início da urbanização na área de estudo ocorreu a partir dos anos 80, principalmente próximo às zonas costeiras. Sperb *et al.*, (2004) explicam que existem as construções em áreas centrais (por comodidades e facilidades) e as periféricas (devido aos menores custos de vida), as quais muitas vezes se localizam em áreas de risco, tais como o soterramento, observado na área de estudo.

Os dados da área urbanizada, assim como o crescimento da vegetação apresentaram crescimento nítido a partir dos anos 80. Não foi possível chegar a um ponto em comum, ao qual ligasse esses dois tópicos, uma vez que todas as hipóteses giravam em torno do lençol freático e esse por sua vez, como já apresentado, não sofre grandes variações na área de estudo, uma vez que seu nível estático se encontra a 12m da superfície.

Segundo Farias (2011), as alterações provenientes da urbanização nos arredores do campo de dunas geram impermeabilização da superfície impedindo a infiltração da água da chuva, dificultando a recarga do lençol freático que se localiza abaixo do campo de dunas, reativação de dunas estabilizadas, ocorrendo migração de sedimento sobre as casas, demonstrando não somente um impacto da ocupação humana sobre as dunas, mas também um impacto da ocupação na dinâmica do campo de dunas.

Tomazelli *et al.*, (2008) comentam sobre a destruição do campo de dunas, em grande parte devido ao avanço da urbanização em locais inapropriados. E afirma que esse processo tem sido responsável pela extinção de alguns campos eólicos no Rio Grande do Sul de forma direta (imediatamente quando as obras ocupam o mesmo espaço físico antes ocupados pelas dunas) e indireta (um processo mais lento que ocorre através do corte no aporte sedimentar, geralmente em praias adjacentes).

Estudos desenvolvidos nas Ilhas Canárias apresentam as alterações sofridas pelos fluxos eólicos devido ao crescimento urbanístico, mostrando que as mudanças geomorfológicas sofridas ocorrem desde o litoral até o interior do campo de dunas transgressivas, uma vez que no local, ocorreu um aumento de até 35% na velocidade dos fluxos eólicos, déficit sedimentar e pressão dos usuários, fazendo com que um grande campo de dunas passasse a diminuir seu tamanho e de suas feições (Calvento *et al.*, 2014).

Para o sistema de dunas transgressivas Santinho/Ingleses, a urbanização não se apresentou como um fator de grande impacto devido ao crescimento da área urbanizada ocorrer na lateral do campo de dunas;

ou seja, a posição da linha de costa da praia favorece a entrada do aporte sedimentar sem influência da urbanização. Durante os ventos mais intensos (os de sul), esses não encontram uma barreira antrópica que efetivamente o impeça de transportar sedimento em direção ao norte. A não ser pontualmente no canto leste da praia dos Ingleses; já o mesmo não ocorre no campo de dunas do Moçambique (Boeyinga *et al.*, 2007)

A praia dos Ingleses que recebe o aporte sedimentar do Santinho pelo campo de dunas, apresentou desde 1978 até 2012, uma linha de costa com tendência de equilíbrio à leve erosão, sendo que anos antes, entre 1957 e 1978 (quando a área urbanizada era mínima, assim como o campo de dunas pouco vegetado) essa se apresentava estável (Vieira da Silva *et al.*, *in press*), evidenciando que o grande influenciador no transporte eólico do sistema não é a urbanização, e sim a crescente cobertura vegetal, a qual interrompe o transporte de sedimento pelo vento e fixa as dunas.

5.2.5 Potencial de Deriva Eólica

Segundo Bagnold (1941) e Fryberger; Dean (1979), a velocidade mínima para o início do transporte de sedimento pelo vento, está relacionada ao tamanho médio do grão. Para uma areia fina no pós-praia, constituída de grãos de quartzo, os autores recomendam o uso de uma velocidade de pelo menos 5 m/s, concordando com a velocidade limite de impacto encontrada, uma vez que o valor utilizado foi de 6,16m/s.

Vintem (2003), estudando a migração de diversos campos eólicos no litoral de Santa Catarina apresentou o DP para o campo de dunas do Moçambique (situado à oeste do sistema estudado), também através de dados da estação do Arvoredo, com o menor valor encontrado dentre todo o litoral (sendo que 73 u.v. indica um vento de baixa energia de transporte).

Nos meses de verão, o potencial de deriva apresentou valores amenos ao ser comparado com as outras estações. Já durante o inverno, ocorreu o maior potencial para o transporte de sedimento (Figura 48) corroborando com Vintem (2003), quando o autor apresenta o DP sazonal para o campo de dunas do Moçambique e da Joaquina com dados da Estação do Arvoredo entre 1964 e 1997.

O menor potencial de deriva observado nos meses de verão, ocorre pelo fato dos picos de chuvas na região leste do estado de Santa Catarina acontecerem nesse período; devido as frentes estarem associadas à migração de ciclones extratropicais e também aos efeitos orográficos (Grimm *et al.*, 1998).

A respeito da direção de deriva resultante para os pontos analisados, de modo geral, o método aplicado adequou-se de forma verdadeira para o campo de dunas do Santinho/Ingleses, resultando em diagramas de DDR que na sua maioria, concordam com a direção de migração do sistema, somente os pontos 3 e 5, tiveram sua direção de deriva resultante para oeste-sudoeste e sul, respectivamente. No ponto 3, esse comportamento ocorre devido os ventos provenientes da porção a oriente das rosas dos ventos serem mais intensos e frequentes, fazendo com que a resultante aponte para oeste-sudoeste; e o ponto 5, já comentado anteriormente, sofre grande influência dos ventos de norte e nordeste (Figura 49).

De acordo com Fryberger (1979), os valores encontrados a partir do cálculo de DP, não são, necessariamente, reais, e sim representam uma tendência de transporte. Deve-se ficar claro que as características locais do ambiente sobre a qual o vento sopra, afetam significativamente a quantidade de sedimento transportado (cobertura vegetal, feições topográficas, grau de umidade, orientação da linha de costa, entre outros fatores).

Assim sendo, os valores dos potenciais de deriva devem ser considerados como um índice de energia do vento em uma região, onde a eficiência do real transporte de sedimento vai depender das características locais da superfície sobre a qual o vento sopra (Fryberger, 1979).

5.2.6 Taxa de migração das feições eólicas do sistema

Farias (2011) através de estereoscopia comenta sobre a estrutura do campo de dunas Santinho-Ingleses, corroborando com o presente estudo quando relata a presença de dunas parabólicas, barcanas e os retrocordões. Atualmente são poucos os estudos a respeito dos retrocordões presentes nos campos de dunas de Santa Catarina, no entanto, essa feição foi bastante citada por Martinho *et al.*, (2004), Martinho (2008), Martinho *et al.*, (2010) nos campos de dunas transgressivas do Rio Grande do Sul, as quais comprovam a migração do campo de dunas, já que estes se desenvolvem na retaguarda de dunas barcanas.

Contudo, a migração do campo de dunas foi também evidenciada a partir das análises das taxas de migração das cristas e para o ano de 2002 e 2003, foi possível acompanhar o deslocamento das cristas para o norte com uma taxa de migração entre 15-42m/ano e uma média de 30m/ano. Ao examinar as rosas de vento e a direção de deriva resultante (dos dados do BNDO e CFSR-2), apresentadas no Apêndice

C, esses condizem com o padrão esperado, assim como verificado na direção de migração do sistema: ventos de sul dominantes, os de norte mais frequentes e a DDR para o quadrante norte, fazendo com que as dunas se migrem até a praia dos Ingleses.

Em 2003-2004, as taxas de migração variaram entre 16-28m/ano e apresentaram um valor de 21m/ano em média. A feição 1, migra de forma mais rápida que a 2 (de menor tamanho); ao analisar o resultado para DDR em 2003 (Apêndice C), nota-se que a resultante (em vermelho) está exatamente na direção da feição 2, ou seja, os ventos foram mais eficientes para essa feição do que para a 1. Todavia, em 2004 a DDR foi alterada concordando com a direção de migração da feição 1. A feição 5 estava no mesmo sentido da 2 e migrou cerca de 21m/ano.

Nos anos de 2013-2014, a taxa de migração das cristas variou de 5-40m/ano e apresentou a menor média dos três períodos analisados, 18m/ano. Através das rosas de ventos e da DDR (Apêndice C) para os anos em questão, mais uma vez é possível entender o comportamento das cristas, principalmente pelos dados do CFSR 2 e do CFSR no ponto 1, os quais corroboram com a literatura mostrando a forte influência dos ventos de sul, principalmente para o ano de 2013, no campo de dunas.

A partir dos resultados obtidos em campo com DGPS RTK para o ano de 2014, onde as cristas migraram em média 4m/3 meses (cerca de 16m/ano), mesmo o método de análise sendo distinto ao anterior, o valor obtido se aproximou da taxa de migração verificada através das imagens de satélites (18m/ano).

Boeyinga *et al.*, (2007) estudando o campo de dunas do Moçambique (a oeste da área de estudo e cerca de 3 vezes maior), apresentou valores de migração entre 2,5 a 5 m/ano. Bigarella *et al.*, (2005) mostraram a migração do campo de dunas da Lagoa da Conceição (também na Ilha de Santa Catarina), sendo esse um sistema mais extenso e composto por dunas parabólicas, foi cerca de 2,5m/ano. Os resultados obtidos são condizentes com os estudos pretéritos, uma vez que dunas menores (com menos volume sedimentar) migrarem de forma mais rápida do que as maiores (Martinho *et al.*, 2010; Mendes, 2012).

O campo de dunas possui cotas mais elevadas a oeste e a norte, assim como um maior volume sedimentar. As feições 1, 5, 7 e 11 (Figura 42 e 43) localizadas nessa região, apresentaram taxas de migração maiores, uma vez que estão em locais mais propícios à passagem de ventos, ao contrário das feições mais à leste, em uma

região mais baixa, úmida e com maior influência da vegetação. Evidenciando a influência direta que a topografia exerce sobre o comportamento do sistema, assim como já descrito (Bigarella, 1972).

Ao longo dos anos a taxa média de migração do sistema está decaindo e isso implica em um menor aporte sedimentar à praia dos Ingleses. Cruz (1998), explica que a orientação da praia influencia na predominância do vento, fazendo com que a praia do Santinho seja atingida por ondas e ventos vindos de Sul e Sudeste, movimentando as dunas ativas para a direção norte e alimentando a praia dos Ingleses; estudos recentes também mostram que o *input* mais relevante para a praia, ocorre pelo sistema eólico e não pelas correntes marítimas, afirmando a importância do sistema estudado (Vieira da Silva *et al.*, *in press*).

O fato da precipitação ao longo dos anos estar aumentando e com isso a capacidade de transporte pelos ventos diminuir, propicia o desenvolvimento da cobertura vegetal, conseqüentemente a fixação do campo de dunas, concomitantemente a crescente urbanização, justificam as taxas de migração estarem reduzindo com o passar dos anos aportando menos sedimento à praia dos Ingleses.

5.3 Balanço sedimentar e *overpassing* do campo de dunas

Mendes (2012) identificou três estágios de evolução do campo de dunas, durante o estudo de cinco dessas no estado de Santa Catarina. No sistema Santinho/Ingleses, foi possível identificar os estágios em questão, sendo todos analisados por fotografias aéreas/imagens de satélites conforme descrito no item 5.1, onde o primeiro estágio compreendido entre 1398 e 1957 apresenta um aumento na área ocupada pela duna, sugerindo um aumento no volume do sistema. O segundo estágio ocorreu entre 1957 e 1978, quando observou-se as supostas maiores taxas de migração, ao analisar o lobo deposicional à esquerda do sistema, uma vez que a qualidade da imagem não permite a real identificação das cristas das dunas. O terceiro estágio ocorre desde 1978 até os dias atuais, com a fixação do sistema e diminuição das taxas de migração.

Esses estágios de evolução morfológico do sistema, implica em alterações no meio, diretamente relacionadas com o balanço sedimentar, ou seja, a diferença entre a entrada e a saída de sedimento do ambiente. Para haver acúmulo o acúmulo, o transporte eólico precisa ser saturado (Bagnold, 1941) e para isso, a quantidade de areia disponível e a força do vento são fatores importantes.

Os valores encontrados para o volume sedimentar do campo de dunas, tem apresentado redução ao longo dos anos. Em 2002, a área comum demarcada para analisar o volume, apresentou cerca de 3.066.695m³, após doze anos, a mesma passou a ter 2.542.653m³; ou seja, perdeu em torno de 44.000m³/ano de sedimento. Sendo este um valor duvidoso, pelo fato dos distintos métodos de aquisição dos dados (ortorretificação e RTK, respectivamente), fez-se o cálculo do volume sedimentar para duas maiores cristas no sistema, com dados confiáveis, coletados em campo (utilizando DGPS) e corrigidos em laboratório. Seus resultados foram condizentes com o esperado e com as bibliografias, onde o valor que o campo eólico aporta para a praia dos Ingleses varia de 3.000-5.000m³/ano.

Boeyinga *et al.*, (2007) mostrou em seu estudo que este campo de dunas aporta em torno de 10.000 m³/ano de sedimento, essa discrepância (3-5.000 e 10.000m³) comprova a diminuição do volume no campo de dunas em sete anos e confirma os resultados do item 5.1, onde fala que há um decaimento no volume de sedimento para a praia dos Ingleses.

No entanto, para o entendimento do balanço sedimentar, foi estimada a quantidade de volume que entrada no sistema através do setor norte da praia do Santinho, uma vez que Vieira da Silva *et al.*, (*in press*) comprovaram que quando a linha de costa do norte do Santinho prograda, há retração na praia dos Ingleses (Figura 60). O setor A da duna frontal, por ser mais exposta à ação das ondulações incidentes e aos ventos, apresenta maior largura praias e dunas frontais mais volumosas, quando comparado com o setor C. Hesp (2000) explica isso, pelo fato da interação entre ondas, correntes e declividade do fundo, determinar a quantidade de sedimentos deslocados para as praias e para a formação da duna frontal.

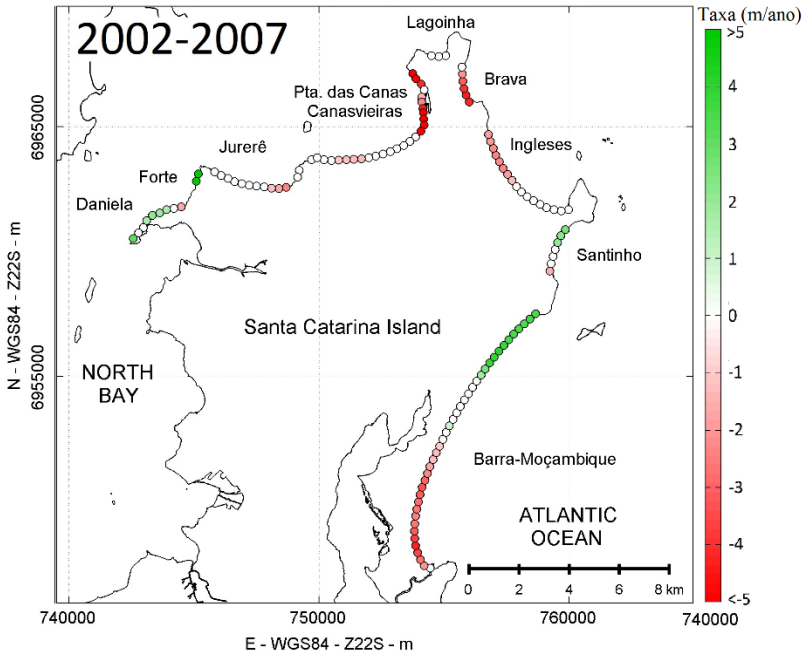


Figura 60: Variação da linha de costa para o norte da Ilha de Santa Catarina. Fonte: Vieira da Silva *et al.*, (in press).

Os valores de volume para o setor norte da praia do Santinho indicam que há a entrada de aproximadamente 70.000m^3 de sedimento em 12 anos, sendo assim, $6.000\text{m}^3/\text{ano}$. Uma vez que o campo eólico fornece de $3.000\text{-}5.000\text{m}^3/\text{ano}$ de sedimento à praia dos Ingleses, existe mais sedimento entrando no sistema do que saindo.

Porém os valores de volume do campo de dunas têm apresentado um decaimento, isso se deve a quantidade de sedimento que está sendo fixada pela crescente cobertura vegetal (o qual não foi aquisitado), ao tempo necessário para o pulso deixar a duna frontal e ser transportado até o campo de dunas e por esse ser um real corredor de transporte sedimentar. O balanço positivo no sistema também indica a manutenção do campo eólico, ou seja, devido o volume de entrada de sedimento ser maior que o de saída para a praia dos Ingleses, o sistema permanecerá ao longo dos anos fornecendo sedimento a praia sem sofrer prejuízos.

A respeito do pulso eólico, em 2002 a porção norte do Santinho apresentava área e volume menor que em 2014, ou seja, o pulso já havia

entrado no sistema anos antes. Em 2010 o dado de volume estava mais elevado, fazendo acreditar que o pulso novamente estava entrando. Em 2014, foi confirmado esse *input*, devido ao volume observado em A ser maior do que os anos anteriores (2002, 2010 e 2014, 265.269m³, 292.438m³ e 335.788m³, respectivamente).

Boeyinga *et al.*, (2007) discorrem em seu trabalho a respeito do pulso de sedimento no campo de dunas do Moçambique, o mesmo ocorre a cada 14 anos; isso porque esse sistema apresenta um maior volume sedimentar e uma maior área ocupada, conseqüentemente necessita de mais tempo para ser modificado, assim sendo, o pulso sedimentar para o sistema Santinho/Ingleses ocorrer a cada 10 anos, se faz coerente.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

A análise dos resultados e a discussão dos mesmos, nos permite algumas conclusões:

1. O campo de dunas do Santinho/Ingleses está no seu terceiro estágio evolutivo, aumentando 47% sua cobertura vegetal ao longo dos 76 anos analisados, passando de um grande campo de dunas ativas para um sistema com o aumento da estabilidade.
2. A redução da taxa de migração das cristas com o passar dos anos, é consequência de 3 fatores: à tendência do aumento da precipitação ao longo dos anos, a diminuição da capacidade do vento em transportar sedimento e a estabilização do campo de dunas pela vegetação.
3. No decorrer dos anos o volume sedimentar do campo eólico tem diminuído. No entanto, a duna frontal do Santinho evidenciou que há um pulso sedimentar o qual entra no sistema pelo norte da praia, aproximadamente a cada dez anos. Parte desse sedimento está sendo fixado pelo crescimento da vegetação e parte está migrando até a praia dos Ingleses. Contudo, as velocidades das taxas de migrações são menores que nos anos anteriores, justificando a erosão na praia dos Ingleses no período entre a entrada do pulso sedimentar até sua chegada na praia, uma vez que o balanço sedimentar do sistema apresentou resultado positivo.
4. A análises dos ventos do ponto mais ao sul do sistema (ponto 5 do CFSR) o qual não sofre influência de altos topográficos, apresentou sentido de migração oposto ao observado no campo eólico, mostrando que a topografia protege as dunas de ventos do quadrante norte-nordeste. Por fim, o sentido de migração do sistema eólico Santinho/Ingleses concorda com o padrão de vento dominante, sendo comprovada pela aplicação do método de Fryberger (1979).

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

A partir das conclusões alcançadas no presente estudo, algumas sugestões serão elencadas para uma possível continuidade do trabalho:

- ✓ Monitoramento do volume sedimentar com campo eólico e da duna frontal da praia do Santinho;
- ✓ Analisar o comportamento do lençol freático, juntamente com dados especializados dos níveis estáticos desses;
- ✓ Coleta de dados eólicos superficiais, desde a crista até a interduna para analisar o comportamento do vento nessas regiões;
- ✓ Realizar experimentos nos altos topográficos para compreender sua influência no sistema (como através utilização de bomba de fumaça atóxica);
- ✓ Aquisição de dados mais robustos de precipitação.

Referência Bibliográfica

ANGULO, R.J.; ISLA, F.I.; SCHNACK, E.J.; SOUZA, M.C. A review of Holocene sea-level curves from the southwest Atlantic Ocean. In: FLETCHER, C.H., MATTHEWS, J.V. (Eds.), *The Non-steady State of the Inner Shelf and Shoreline: Coastal Change on the Time Scale of Decades to Millennia in the Late Quaternary*, Inaugural Meeting of IGCP Project #437 “Coastal Environmental Change During Sea Level Highstands”, Honolulu, Hawaii, *Abstracts with Programs*, 1999. pp. 35–36

ANGULO, R.J.; LESSA, G.C.; SOUZA, M.C. A critical review of mid to late Holocene sea level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*. 25, 2006. 486-506.

ARAUJO, C.E.S; FRANCO, D.; MELO FILHO, E.; PIMENTA, F. Wave regime characteristics of Southern Brazilian coast. *6a Internacional Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC*. Colombo, Sri Lanka, Paper No. 97, 2003.15p.

ARAUJO, R. S; VIEIRA DA SILVA, G.; FREITAS, D.; KLEIN, A. H. F. Georreferenciamento de Fotografias Aéreas e Análise da Variação de Linha de Costa. In: Alcántara-Carrio, J.; Correa, I.D.; Isla, F.; Alvarado, M.; Klein, A.H.F. y Cabrera, J.A.. (Org.). *Metodologias em Teledetección Aplicada a la Prevención de Amenazas Naturales em el Litoral*. Valencia, 2008, p. 2-15.

ARENDA, B. S.M.; SLINGS Q.;VRIES, C. N. Mobility of a remobilized parabolic dune in Kennemerland. *Geomorphology*. Published online: Elsevier, 59. p. 175-188. 2004.

BAGNOLD, R.A. *The physics of blown sand and desert dunes*. 2ed. Methuen & Co, London. 1941.

BELLY, P. Y. *Sand movement by wind*. US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center Technical Memo. N° 1, Washington, DC. 1964. p.38.

BIGARELLA, J.J.; BECKER R. D.; DUARTE G. M. Coastal dune structures from Paraná (Brazil). *Marine Geology* 7: 5-55, 1969.

_____. Eolian environment – their characteristics, recognition and importance. In RIGBY, J.K.; HAMBLIN, W.K. eds. *Recognition of Ancient Sedimentary Enviroments*. Spec. Publ. 16: 12-62, 1972.

_____. Structures developed by dissipation of dune and beach ridge deposits. *Catena*. 2: 107-152, 1975.

_____; KLEIN, A.H. F.; MENEZES, J.T.; VINTÉM, G., 2006. Southern brazilian coastal dunes: movement and structures. *Journal of Coastal Research*, SI 39. *Proceedings... of the 8th International Coastal Symposium*, 1-15. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.

BIRD, J. F. The impact of mining waste on the rivers draining into Georges Bay, Northeast Tasmania. In: BRIZGA, S.; FINLAYSON, B.L. *River management: the Australian Experience*. Wiley. 2000. p. 151-172.

BOEYINGA, J.; DUSSELJEE, D.W.; POOL, A.D.; SCHOUTENS, P.; VERDUIN, F.; VAN ZWICHT, B.N.M.; KLEIN, A.H.F. The effects of bypass dunefields on the stability of a headland bay beach: A case study. *Coastal Engineering*, v.57, p.152-159, 2010.

BOEYINGA, J; DUSSELJEE, D.W.; POOL, A.D.; SCHOUTENS, P.; VERDUIN, F.; VAN ZWICHT, B.N.M. *Inglases – Brazil*. Urban problems due to coastal morphology. 2007. 164p.

CALVENTO, L.H.; JACKSON, D.W.T.; MEDINA, R.; CORDERO, H.A.I.; CRUZ, N.; REQUEJO, S. Downwind effects on an arid dunefield from an evolving urbanized area. *Aeolian Research*. 1875-9637. 2014.

CARRIÓ, J.A. 2003. Dinámica sedimentaria eólica em el istmo de Jandía (Fuerteventura) Modelización y cuantificacióndel transporte. Ed. Cabildode Gran Canaria, 288p.

CARTER, R.W.G. *Coastal Environments*. Academic Press, London, 617p. 1988.

CARTER, R.W.G., BAUER, B.O., SHERMAN, D.J., DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D., GARES, P.A., NORDSTROM, K.F., ORFORD, J.D. Dune development in the aftermath of stream outlet closure: examples from Ireland and California. In: Carter, R.W.G., Curtis, T.G.F., Sheehy-Skeffington, M.J. (Eds.), *Coastal Dunes: Geomorphology, Ecology and Management for Conservation*. Balkema, Rotterdam, 1992. 57–69p.

CARUSO Jr., F. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina – Escala 1:100.000. Texto Explicativo e Mapa. *Notas Técnicas*, Porto Alegre, v.6, p.1-28, 1993.

COOPER, W.S. 1958. The coastal sand dunes of Oregon and Washington. 169p. Tulsa, Okla, Geological Society America (Memoir, 72).

COWELL, P.J.; THOM, B.G. Morphodynamics of coastal evolution. In: *Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics*. R.W.G. Carter; Woodroffe, C.D. (eds), Cambridge University Press, 33-86. 1994.

CRUZ JR. F.W.; BURNS, S.J.; JERCINOVIC, M.; KARMANN, I.; SHARP, W.D., VUILLE, M. Evidence of rainfall variations in Southern Brazil from trace element ratios (Mg/Ca and Sr/Ca) in a Late Pleistocene stalagmite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2007. 71(9):2250-2263.

CRUZ, O. *A ilha de Santa Catarina e o continente próximo; um estudo de geomorfologia costeira*. Florianópolis: Ed. UFSC. 1998. 280p.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO – DHN. *Tabua de mares para o porto de Florianópolis*. 2006. 90p.

FARACO, K.R. *Comportamento Morfodinâmico e Sedimentológico da praia dos Ingleses - Ilha de Santa Catarina – SC: Durante o período de 1996 – 2001*. 2003. 132 p. Tese de Doutorado (Curso de Geografia, departamento de Geografia). UFSC-Florianópolis, 2003.

FARIAS, M.G. *Estrutura e dinâmica do campo de dunas no santinho e sua relação com a ocupação humana do local*. 2011. 90p. Monografia (Centro de ciências humanas e da educação – FAED). UFSC. Florianópolis. 2011.

FERREIRA, M.T. *Distrito de Ingleses do Rio Vermelho – Florianópolis. Um espaço costeiro sob a ação antrópica*. 151p. 1999. Dissertação de Mestrado, UFSC-Florianópolis. 1999.

FGDC-STD (FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE). Geospatial Positioning Accuracy Standards (part 3): *National Standard for Spatial Data Accuracy*. Washington, DC: Federal Geographic Data Committee. 1998. 25p.

FRIEDMANN, R.M.P.; VEIGA, L.A.K. Levantamentos topográficos cinemáticos com estação total robotizada visando o posicionamento de veículo terrestre não tripulado. Recife. *III simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. 2010. 1-4p.

FRYBERGER, S.G.; DEAN G. Dune forms and wind regime. In: McKEE, E.D. ed. *A Study of Global Sand Seas*. U.S. Geology. Survey. Prof. Paper, 1979. 1052: 137-169.

FUHR, C. Evolução do uso e ocupação do solo na Praia do Santinho, Florianópolis-SC e sua relação com a legislação ambiental. 2009. 184 p. Dissertação de Mestrado (Centro de Ciências Humanas e da Educação), Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, Florianópolis, 2009.

GIANNINI, P. C. F. *Sistemas Depositionais eólicos no Quaternário Costeiro do Brasil* (Tese de Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. 224p.

GIANNINI, P. C. F. *Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguarúna e Imbituba, SC.*, 2 v. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

GIANNINI, P. C. F.; ASSINE, M. L.; BARBOSA, L.; BARRETO, A.M.F.; CARVALHO, A.M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L.P.; MARTINHO, C.T.; PEULVAST, J.P.; SAWAKUCHI, A.O.; TOMAZELLI, L.J. 2005. Dunas eólicas costeiras e interiores. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, P.E.; OLIVEIRA, A.M. ed. *Quaternário do Brasil*. Abequa, ANP, FAPESP, IG, UnG. Ribeirão Preto, SP, Holos Editora, cap 11, 2005. p. 235-257.

GIANNINI, P.C.F.; SAWAKUCHI, A.O.; MARTINHO, C.T.; TATUMI, S.H. 2007. Eolian depositional episodes controlled by Late Quaternary relative sea level changes on the Imituba-Laguna coastal zone (southern Brazil). *Marine Geology*, 237. 2007: 143-168p.

GREENWALT, C.R.; SCHULTZ M.E., *Principles and Error Theory and Cartographic Applications*, ACIC Technical Report No. 96: St. Louis, Mo., Aeronautical Chart and Information Center, U.S. Air Force, 1968. 98 p.

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.

HESP, P.A. *Coastal sand dunes: form and function*. CDVN Technical Bulletin. (4):28. 2000.

HESP, P.A. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*. 2002. 48: 245-268.

HESP, P.A. Surfzone, beach and foredune interactions on the Australian southeast coast. *Journal of Coastal Research*, SI 3: 15-25p. 1988.

HESP, P.A. The beach backshore and beyond. In: SHORT, A. D. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley & Sons, 1999. 145-169p.

HESP, P.A.; GIANNINI, P.F.C.; MARTINHO, C.T.; SILVA, G.M.; ASP, N.E. The Holocene Barrier Systems of the Santa Catarina Coast, Southern Brazil. In: *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil* (S.R. Dillenburg; P.A. Hesp, eds), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. Vol.107, 2009. pp. 53–91.

HESP, P.A.; THOM, B.G. 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. 1990.

HOEFEL, F.G.; *Morfodinâmica de praias arenosas: uma revisão bibliográfica*. Itajaí, Editora da UNIVALI, 1998. 92p.

HORN FILHO, N.O. *Granulometria das Praias Arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC*. Gravel.4. Porto Alegre. 1-21p. 2006.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *La Niña*. Relatório elaborado pelo CPTEC-INPE em 5 agosto de 1998.

JACKSON, D.; COOPER, A. Coastal dune fields in Ireland: rapid regional response to climatic change. *Journal of Coastal Research*. SI 64. 293-297p. 2011.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. John Jensen; Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) – São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.

KLEIN, A.H.F.; BENEDET FILHO, L.; HSU, J.R.C. Stability of headland bay beaches in Santa Catarina: A case study. *Journal of Coastal Research*, 35: 141-166. 2003.

KLEIN, A.H.F.; MENEZES, J. T., Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. *Journal of Coastal Research*, West Palm Beach, Florida, v.17, n. 4, p. 812-835. 2001.

KÖPPEN, W. *Climatologia*. México, Fundo de cultura Econômica. 1931.

MARCOMINI, S.C.; MAIDANA, N., Response of eolian ecosystems to minor climatic changes. *Journal of Coastal Research*. SI 39, 204–208p. 2006.

MARIOTTI, M.T.; FRANCO, D. Análise ARIMA da resposta do nível do mar à forçantes atmosféricas locais. *IV Seminário sobre ondas, marés e engenharia oceânica*. Arraial do Cabo, RJ. 1: 21-22p. 2001.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L.; SUGUIO, K. Consequence of the relative sea level changes during the Quaternary in the Sandy coastal sedimentation. Internal Symposium. On sea level changes and Quatern. Shorelines-*ABEQUA*, Special publ, n.3. São Paulo, 1986.

MARTIN, L.; MORNER, N.A.; FLEXOR, J.M.; SUGUIO, K. *Reconstrução de antigos níveis marinhos do Quaternário*. Comissão Técnico-Científica do Quaternário-SBG, São Paulo, 1982.

- MARTÍNEZ, M.L. & PSUTY, N.P. *Coastal Dunes. Ecology and Conservation*. 2004. 386p.
- MARTINHO, C.T.; GIANNINI, P.C.F.; HESP, P.A. Morphological and Depositional Facies of Transgressive Dunefields in the Imbituba-Jaguaruna Region, Santa Catarina State, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39: 673-677p. 2004.
- MARTINHO, C.T.; HESP, P.A.; DILLENBURG, S.R. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul Coast, Southern Brazil. *Geomorphology*, 117(1/2): 14-32p. 2010.
- McKEE, E. An introduction to the study of global sand seas. In: *A Study of Global Sand Seas*, E. McKee, ed., Washington, U. S. *Geological Survey Paper* 1052. 1-20p. 1979.
- MENDES, R.M.; GIANNINI, P.C.F.; GUEDES, C.C.F.; DeWitt, R.; ANDRADE, H.A.A. Central Santa Catarina coast dunefields chronology and their relation to relative sea level and climatic changes. *Brazilian Journal of Geology*, 45(Suppl 1): 79-95. 2015.
- MENDES, V.R. *Cronologia e sedimentologia dos depósitos eólicos quaternários da costa catarinense entre Ouvidor e Florianópolis*. 2012.98p. Dissertação de mestrado, USP, São Paulo. 2012.
- MIOT DA SILVA, G. *Orientação da Linha de Costa e Dinâmica dos Sistemas Praia e Duna: Praia de Moçambique, Florianópolis, SC*. 2006. 280p. Tese de Doutorado. Universidade Federal Rio Grande do Sul-Porto Alegre. 2006.
- MIOT DA SILVA, G.; MARTINHO, C.T.; HESP, P.; KEIM, B.D.; FERLIGOJ, Y. Changes in dunefield geomorphology and vegetation cover as a response to local and regional climate variations. Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, ISSN 0749-0208. pp. 1307-1312, 2013.
- MONTEIRO, A.M. e FURTADO, S.M. de A. O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. *Geosul*. 19(20): 117-133p. 1995.

NIMER, E. Clima – Região Sul. *Geografia do Brasil*, IBGE. 1989.

NORDSTROM, K.F.; JACKSON, N.L. Aeolian processes and dune fields in estuaries. *Physical Geography*, 15: 358-371p. 1994.

PEARCE, K. I.; WALKER, I. J. Frequency and magnitude biases in the “Fryberger” model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. *Geomorphology*. 68: 39-55p. 2005.

PEIXOTO, J.R.V. *Análise morfossedimentar da praia do santinho e sua relação com a estrutura e dinâmica da vegetação “pioneira” da duna frontal, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil*. 93p. 2005. (Dissertação de Mestrado) UFSC-Florianópolis. 2005.

PINTO, M.W.; MEIRELLES, R.; COOPER, A.; KLEIN, A.H.F. Santinho/Ingleses transgressive dunefield system – Santa Catarina Island (Brazil): temporal variability in vegetation, manmade structures and dune migration. In: Coastal Sediments'15, 2015, San Diego - CA, USA. *Proceedings...* 2015.

PROCHNOV, N. *Um breve passeio de volta no tempo*. São José, 1999.

PROVOOST, S.; JONES, M.; LAURENCE M.; EDMONDSON, S. E. Changes in landscape and vegetation of coastal dunes in northwest Europe: a review. *Journal of Coastal Conservation*, 15 (1). 207-226p. 2011.

PSUTY, N.P. An application of science to the management of coastal dunes along the Atlantic coast of the USA. In: GIMMINGHAM, C.H., RITCHIE, W. WILLETTS, B.B., WILLIS, A.J. (Eds.), Coastal Sand Dunes. vol. 96. B. Roy. Soc. Edinb., Edinburgh. *Proceedings...* 289–307p. 1989.

PSUTY, N.P. The coastal foredune: A morphological basis for regional coastal development. In: MARTÍNEZ, M.L. AND PSUTY, N.P. (Eds.) *Coastal Dunes: Ecology and Conservation*. Berlin: Springer-Verlag, Ecological Studies volume 171. 2004.

PYE, K.. Coastal dunes. *Progress in Physical Geography*,7, 531-557p. 1983.

Relatório de Produção Final. Secretaria de Estado e Desenvolvimento Econômico Sustentável. Edital de concorrência pública nº 0010/2009. Engemap, Geoinformação. 2012.

Relatório Técnico. 2013-25. Projeto "Metodologia para quantificação de riscos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação da zona costeira do litoral norte da Ilha de Santa Catarina e regiões de entorno". *Projeto Fundo nacional sobre mudanças climáticas – edital mma/fumc nº 04/2011 - erosão costeira*

SANTOS, A.G., *Método para o georreferenciamento de mapas urbanos baseado na atribuição de pesos aos pontos de controle*. 206p. 2009. (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo- São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. 2009.

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

SEMENIUK, V.; CRESWELL. I.D.; WURM, P. A. S. The Quindalup Dunas: the regional system, physical framework and vegetation habitats. *Journal of Royal Society Western Austrália*, 71: 23-47p. 1989.

SHERMAN, D.J.; BAUER, B.O. Dynamics of beach-dune interaction. *Progress in Physical Geography*, 17:413-447p. 1993.

SHERMAN, D.J.; HOTTA, S. Aeolian sediment transport: theory and measurement. In: NORDSTROM, K.F., PSTUY, N.P.; CARTER, W.G. (eds), *Coastal Dunes: Form and Process*. John Wiley and Sons Ltd., London pp. 17-37p. 1990.

SHORT, A. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley & Sons, 419p. 1999.

SHORT, A.D. e HESP, P.A. Wave, beach and dune interactions in South-eastern Austrália. *Marine Geology*, 48(4): 259-284p. 1982.

SHORT, A.D. Wave, beach, foredune, and mobile dune interactions in the Southern Australia. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No.3, 05-09p. 1988.

SHORT, A.D.; MASSELINK, G. Embayed and structurally controlled beaches. In: *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, (ed. A.D. Short). 230-249p, 1999.

SPERB, R.M.; CABRAL, R.B.; BUGHI, C.H.; Fuzzy agents: a hybrid tool for exploring coastal zone spatial processes. Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Itajaí. *Journal of Coastal Research*. vol. 39, 1511–1515p. 2006.

SUGUIO, K. *Dicionário de geologia marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol*. São Paulo: Biblioteca de Ciências Naturais/ USP, V.E. 171 p. 1992.

TOMAZELLI, L.I.; DILLENBURG, E.G.B; ROSA, M.L.C.C.; Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos. *Revista Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre. 35 (2): 47-55p, 2008.

TOMAZELLI, L.J. *Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais Holocênicos do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul, com Ênfase no Sistema Eólico*. 270p. 1990. Porto Alegre, Universidade Federal Rio Grande do Sul. (Tese de Doutorado). 1990.

TRUCOLLO, E.C. *Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul – SC*. 100p. 1998. (Dissertação de Mestrado). UFSC-Florianópolis. 1998.

VIEIRA DA SILVA, G.; MULER, M.; PRADO, M.F.P.; SHORT, A.D.; TOLDO JR, E.E.; KLEIN, A.H.F. Shoreline changes analysis and insights into sediment transport path – Example of Santa Catarina Island North Shore, Brazil. *Journal of Coastal Research*. 23p. (in press).

VINTEM, G. O efeito do tamanho de grão de areia no processo de transporte eólico dos campos de dunas transgressivas do litoral do estado de Santa Catarina – Brasil. 130p. 2003. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Porto Alegre. 2003.

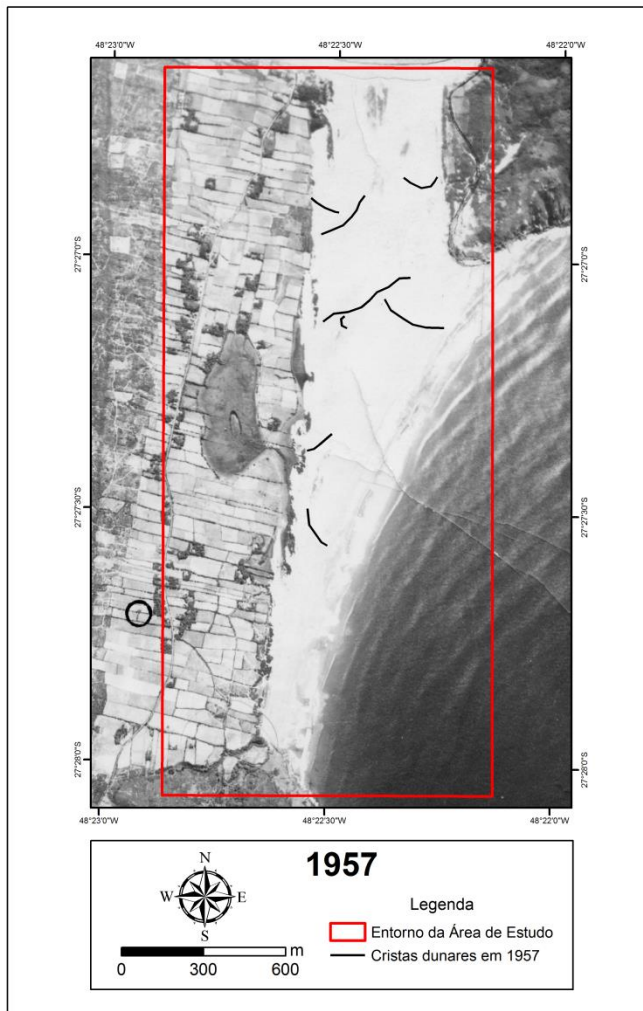
WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. Morphodynamics variability of surf zones in Australia. In: Komar (Ed). *Handbook of coastal processes and erosion*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 1984. 35-64p.

ZINGG, A.W. Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material. *Proceedings...* The 5th Hydraulics Conference, Bulletin 34, Iowa City: Institute of Hyraulics, 111-135P. 1953.

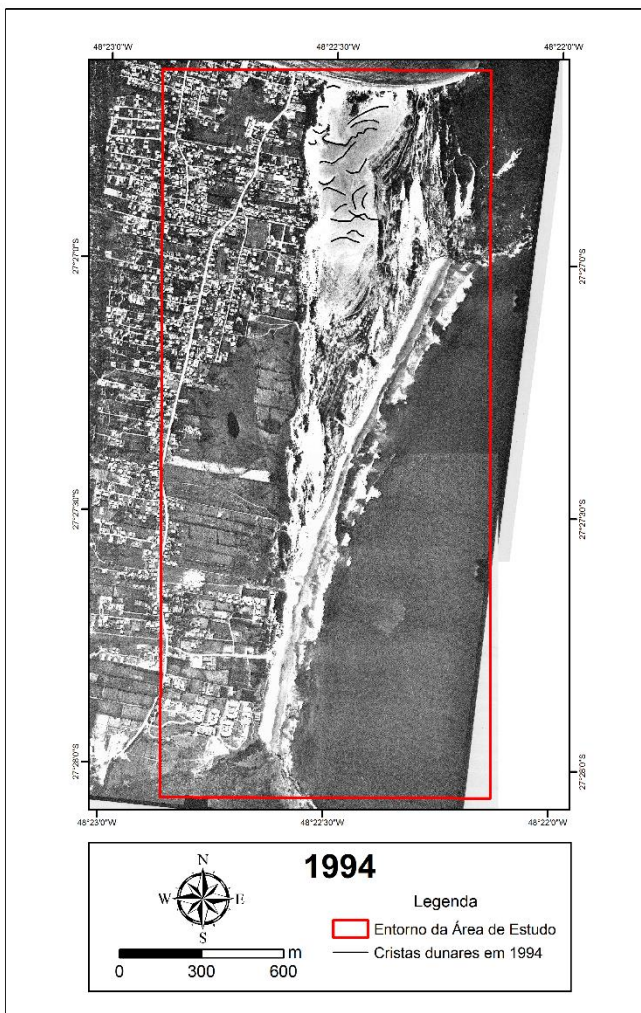
Apêndice A

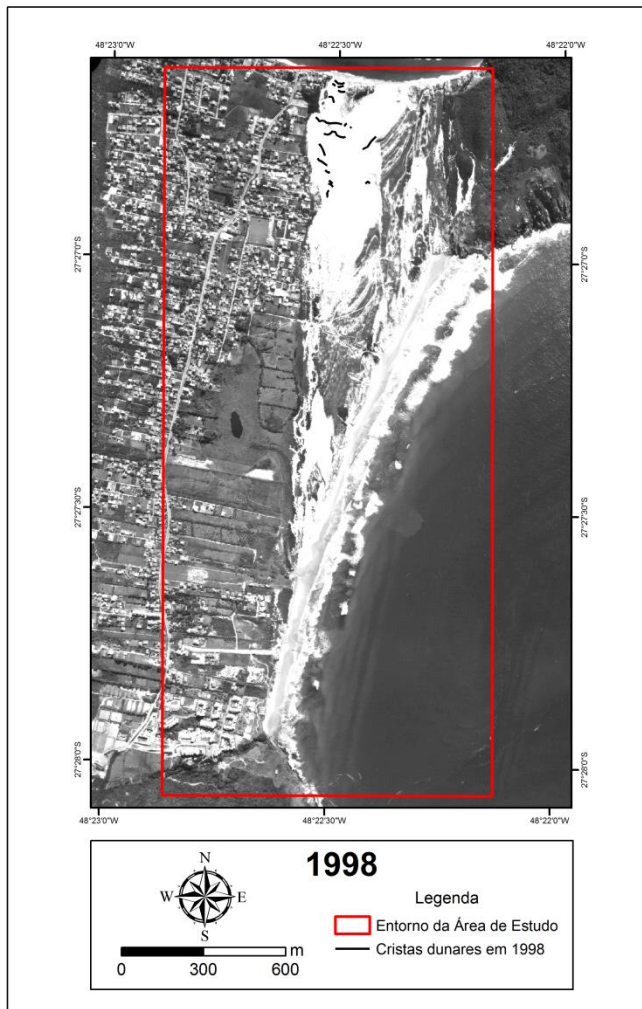
Demarcação das cristas dunares no Sistema Santinho-Ingleses através do programa de Sistema de Informação Geográfica.

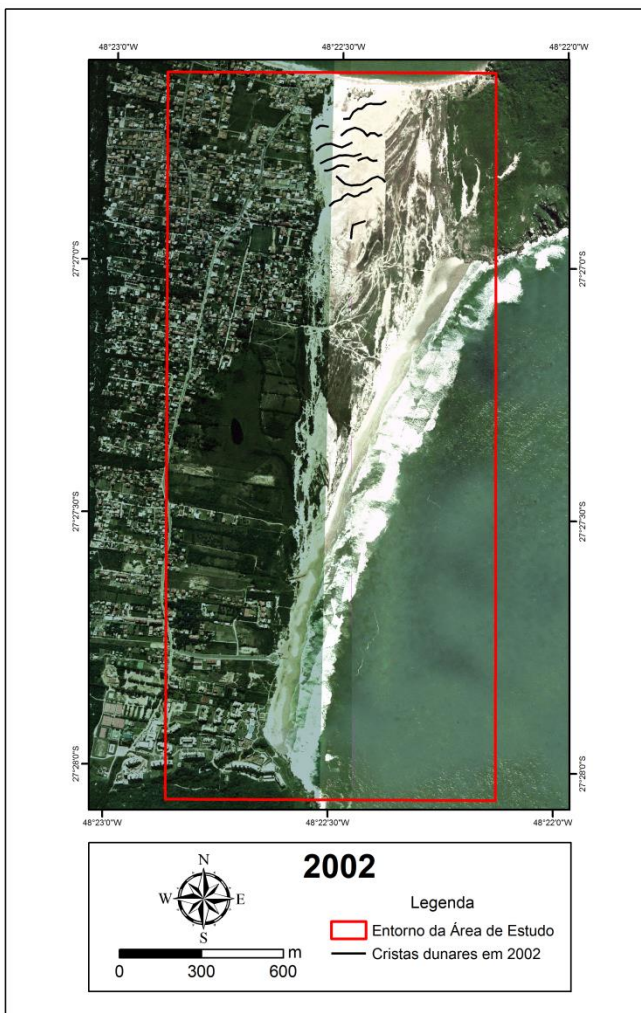


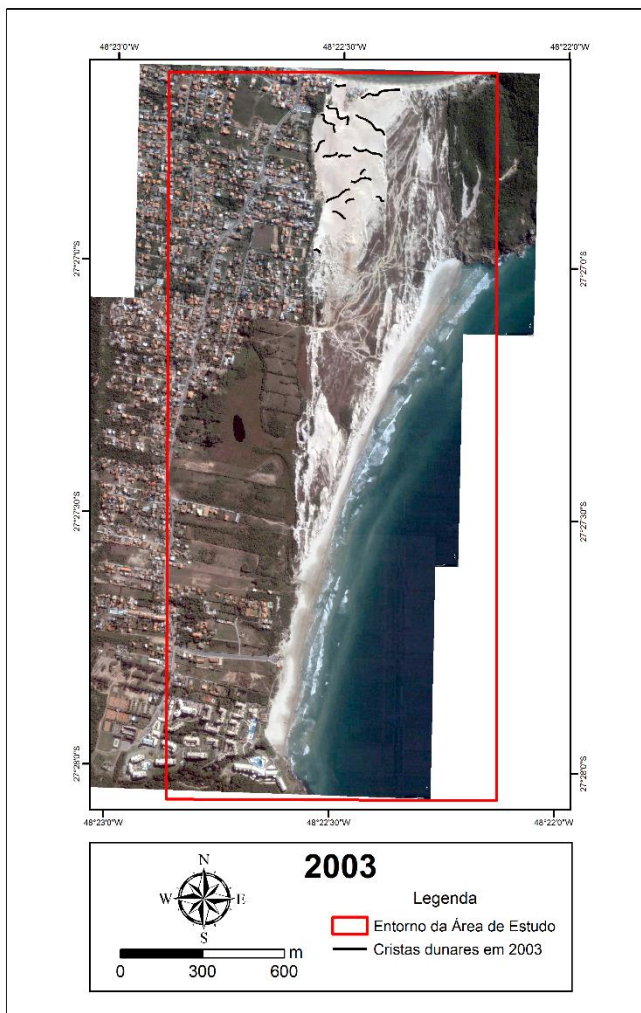


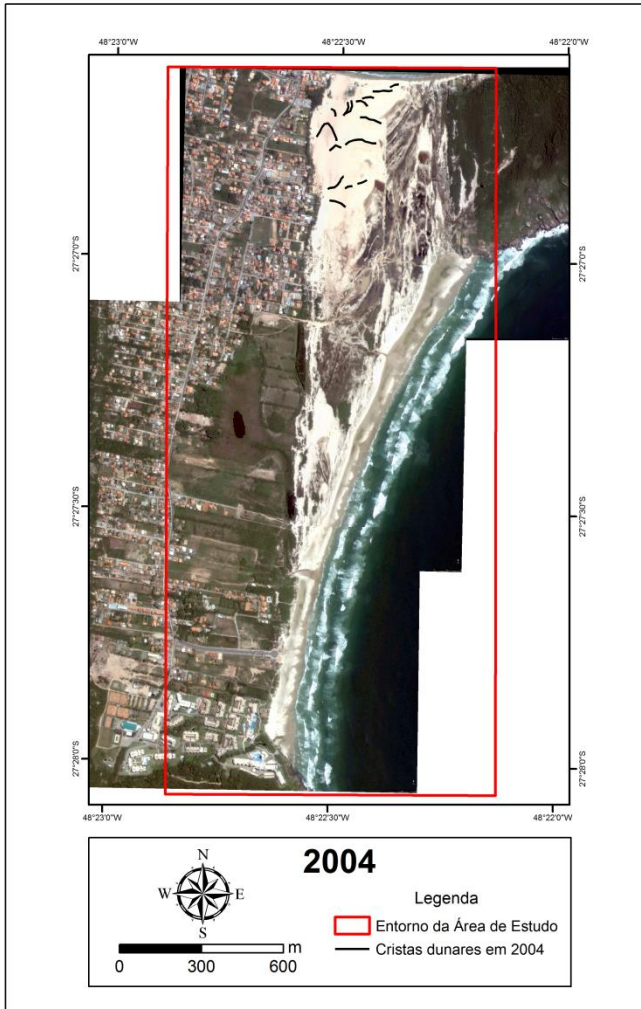


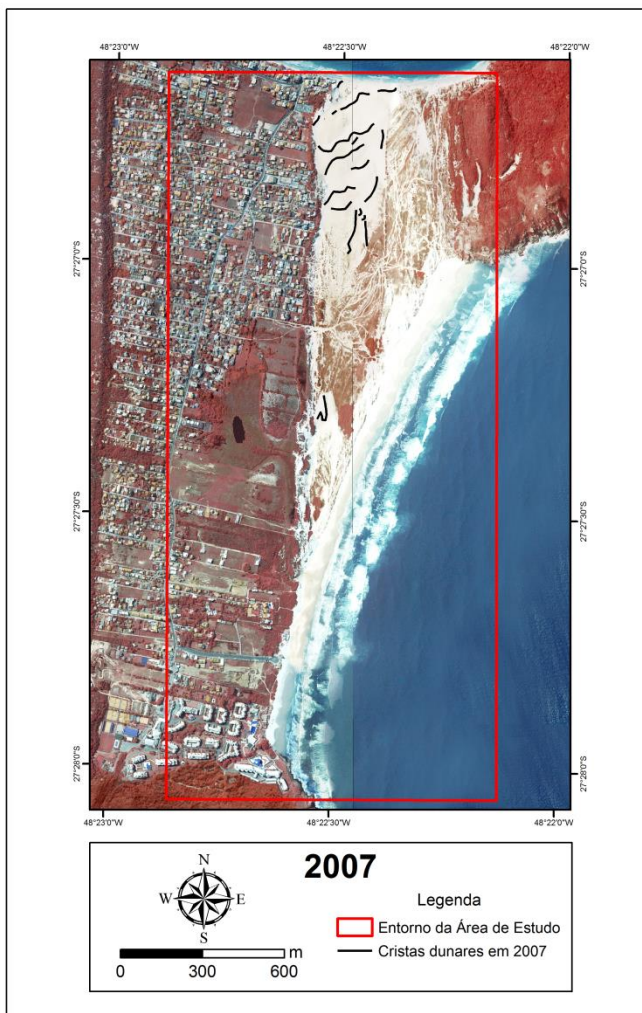


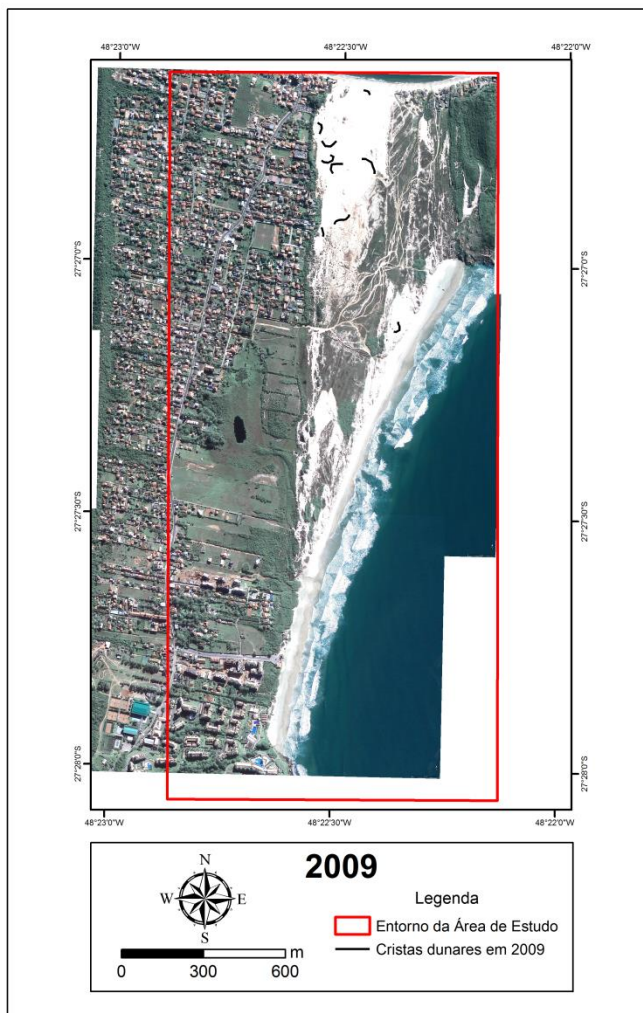


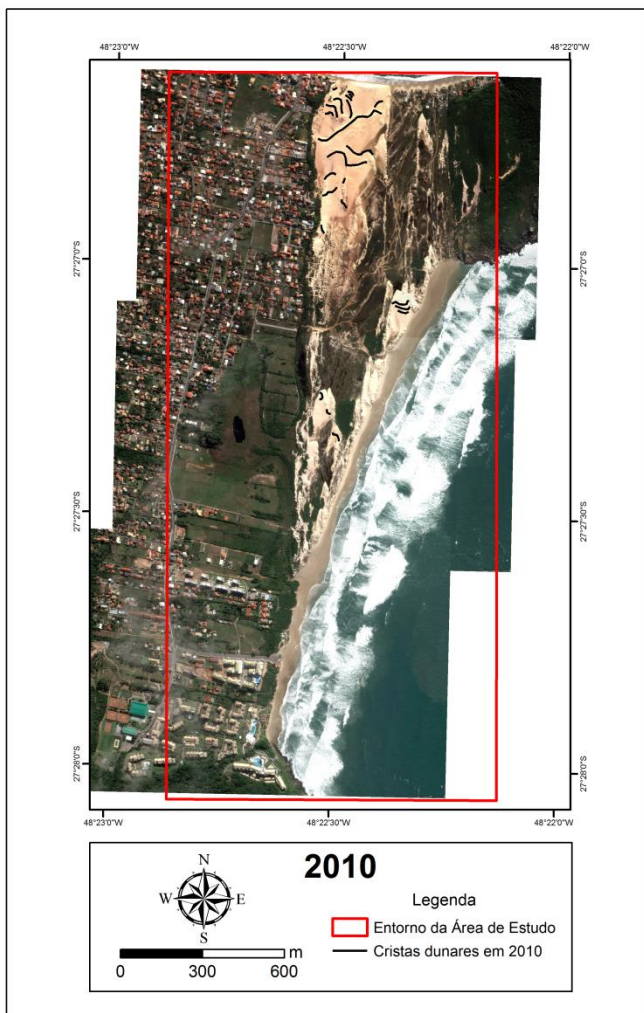


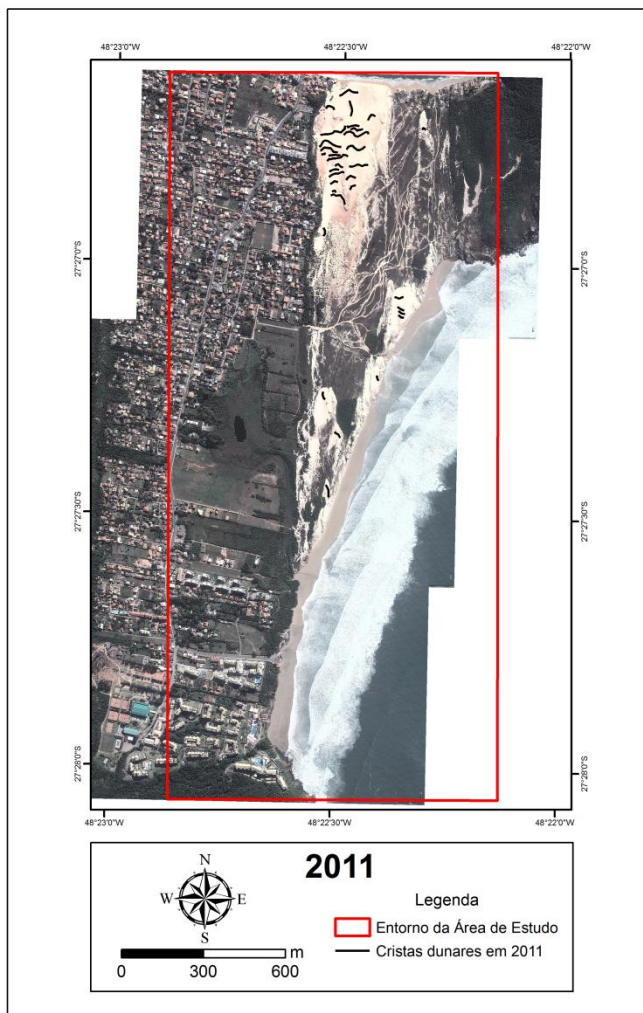


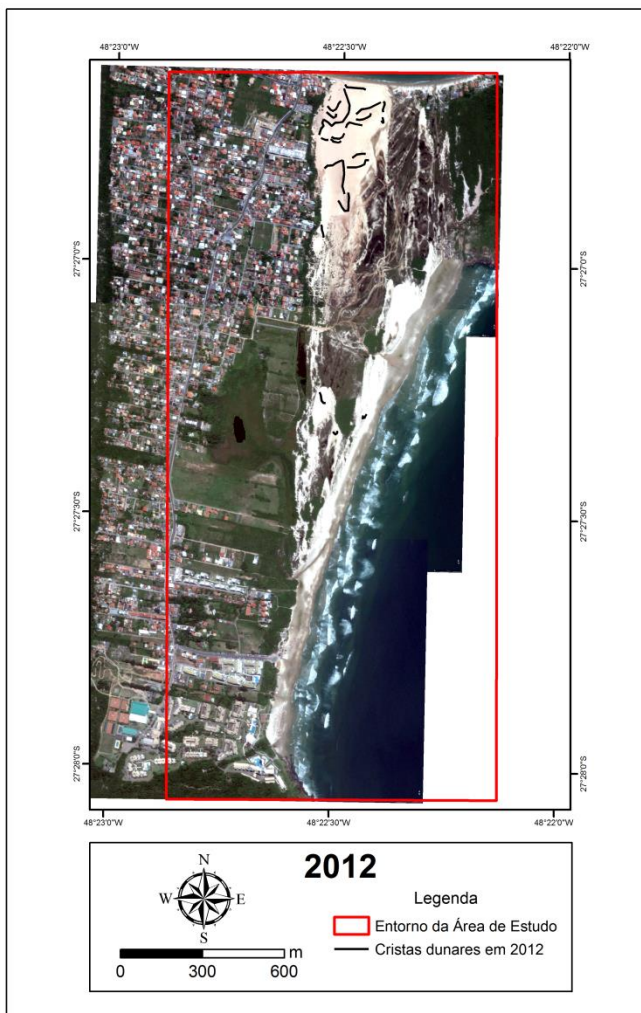


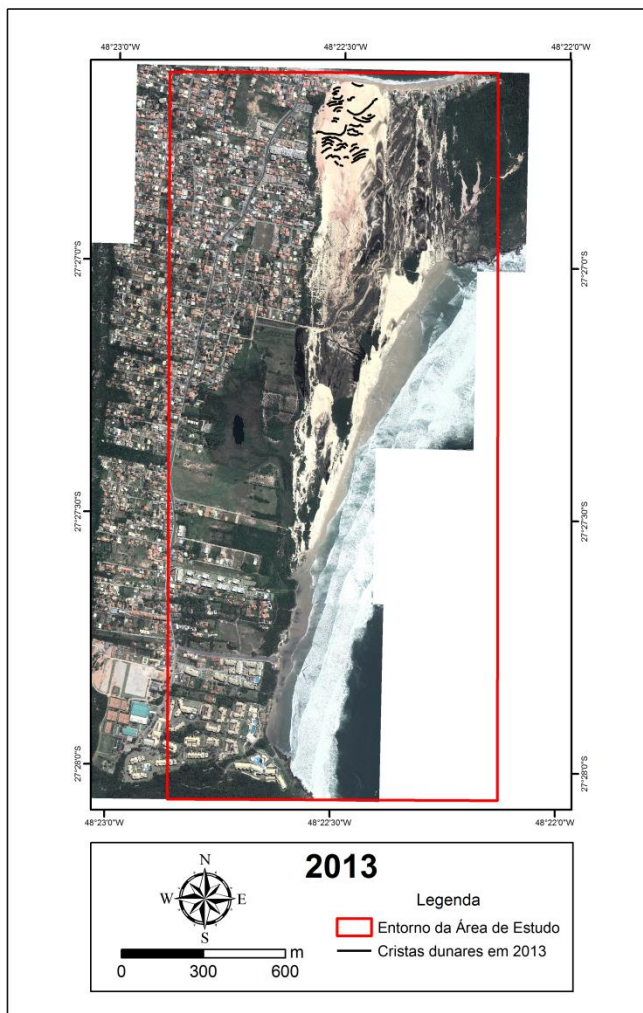


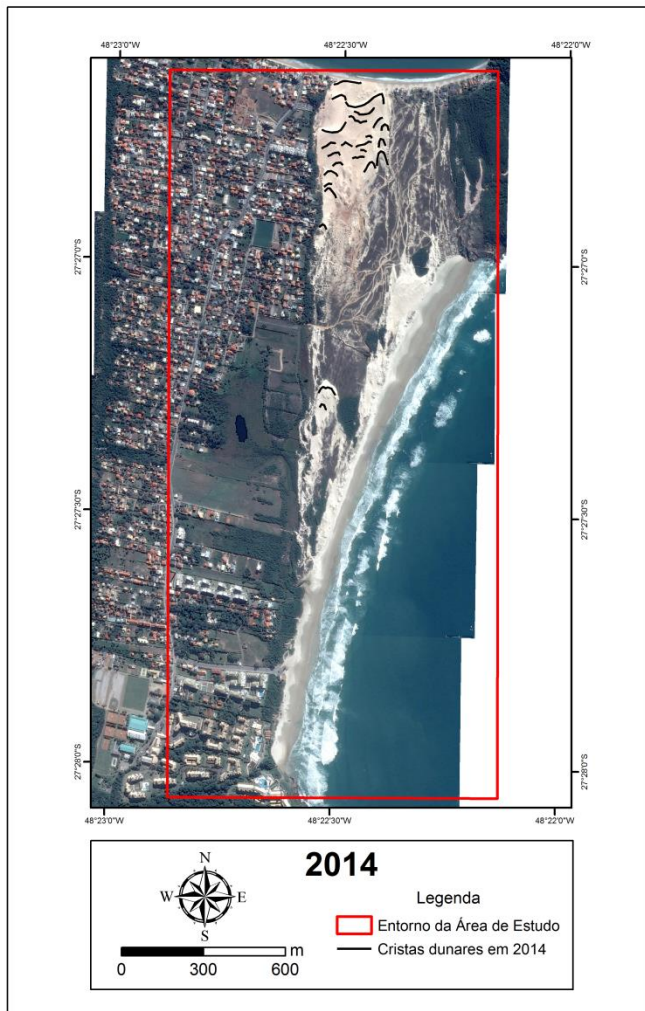








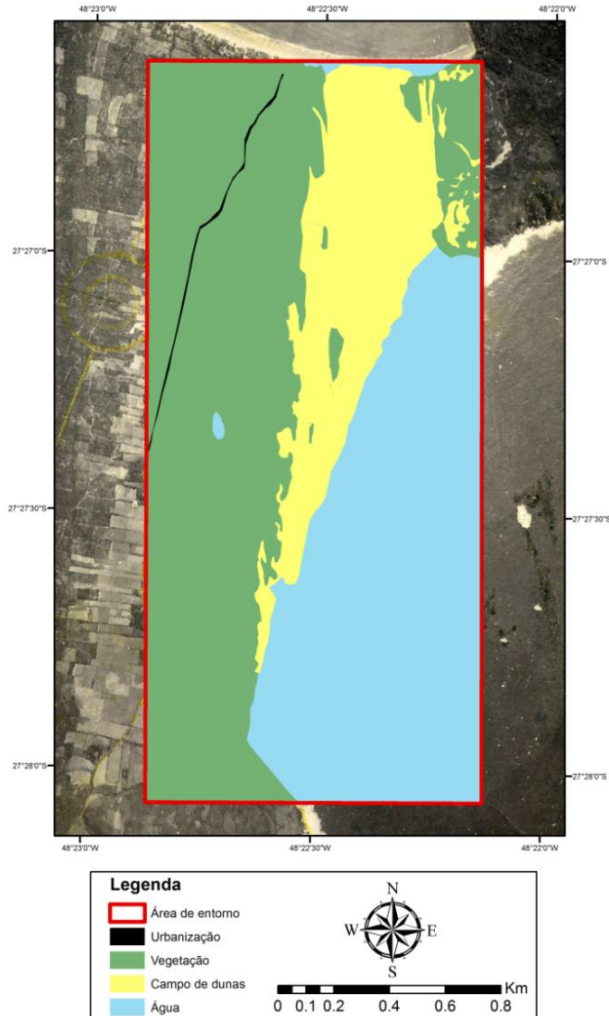




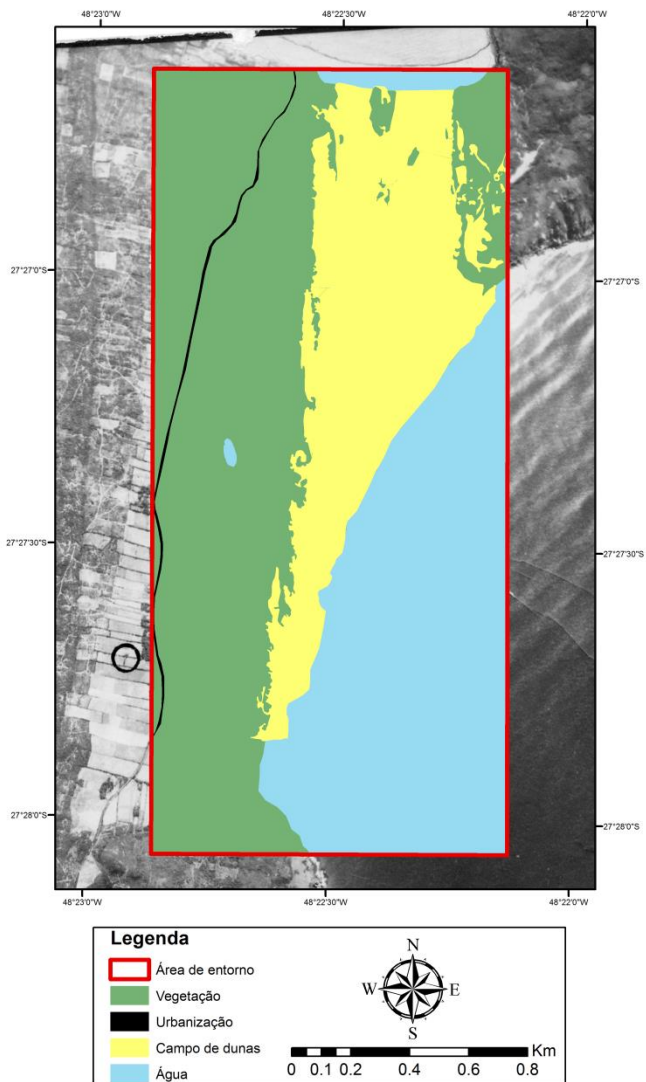
Apêndice B

Área de estudo vetorizada a partir de um programa de Sistema de Informação Geográfica, sendo que a área em verde representa a vegetação, em amarelo o campo de dunas Santinho/Ingleses, em azul mar e lagoa e em preto a urbanização.

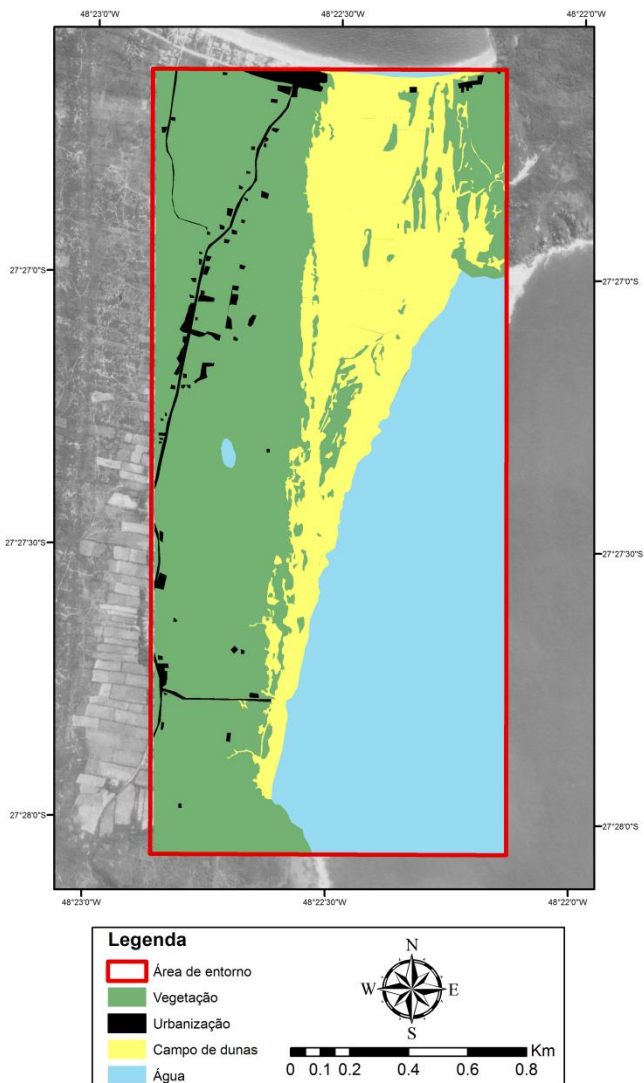
ÁREA DE ESTUDO VETORIZADA - 1938



ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 1957



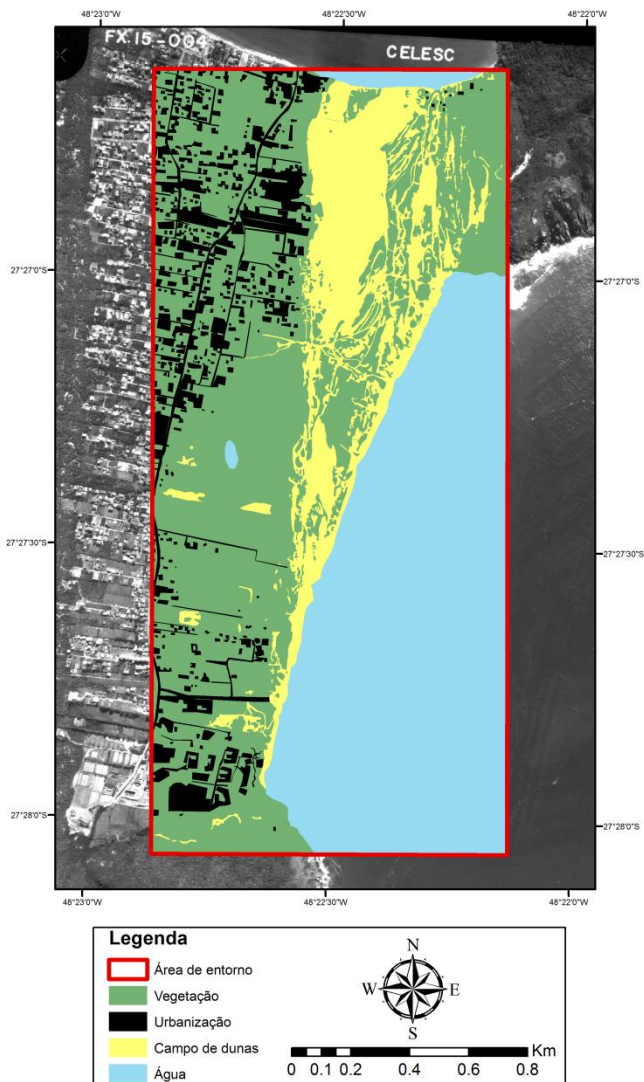
ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 1978



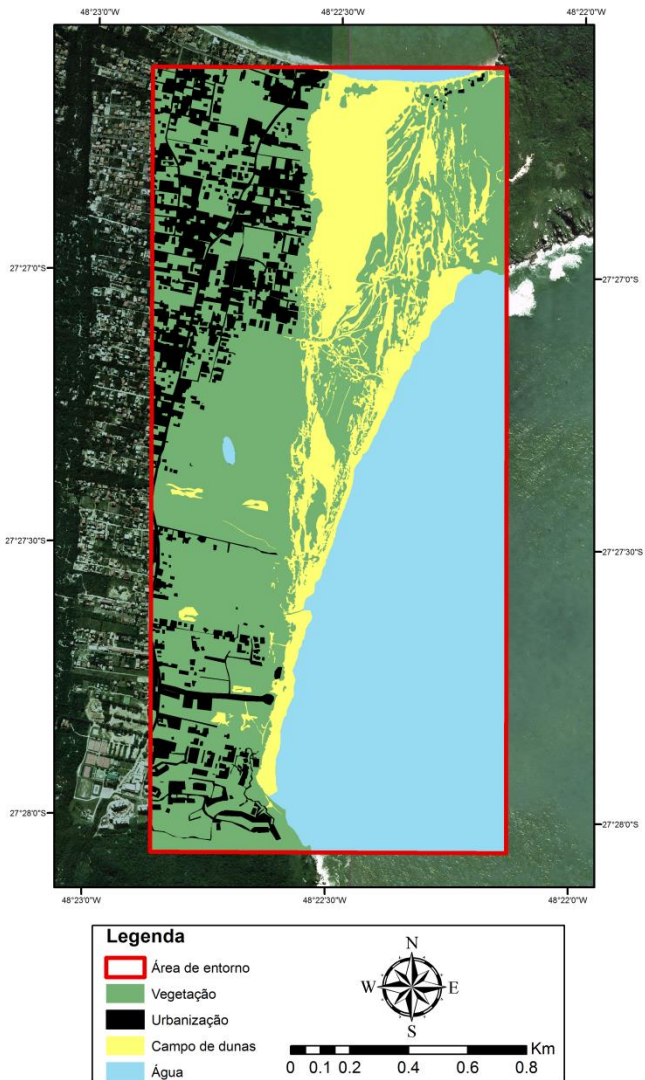
ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 1994



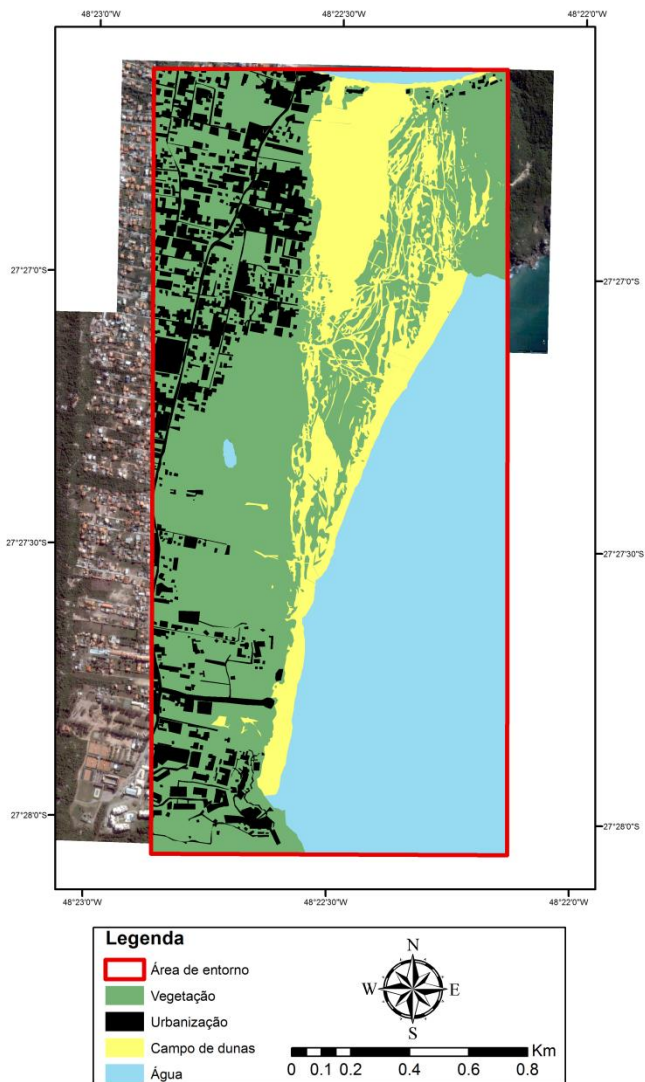
ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 1998



ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 2002



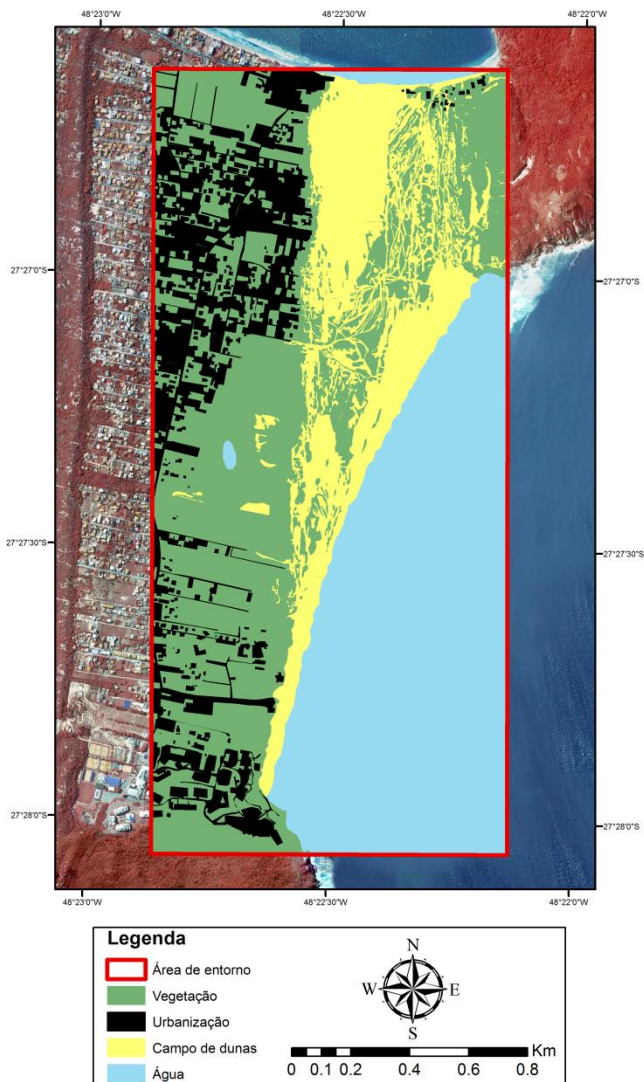
ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 2003



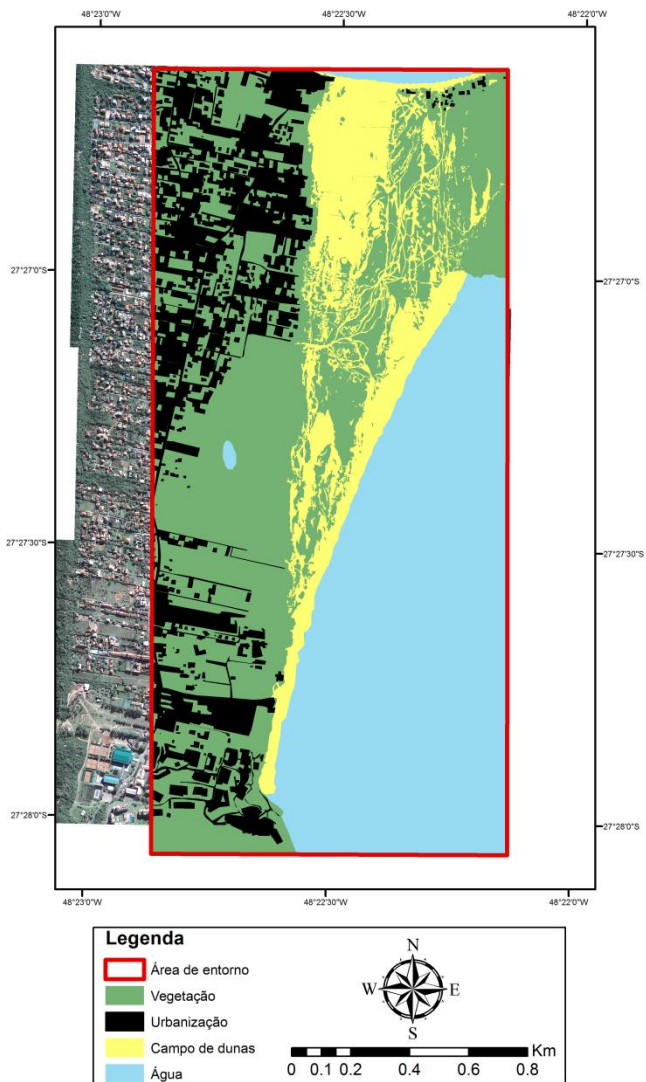
ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 2004



ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 2007



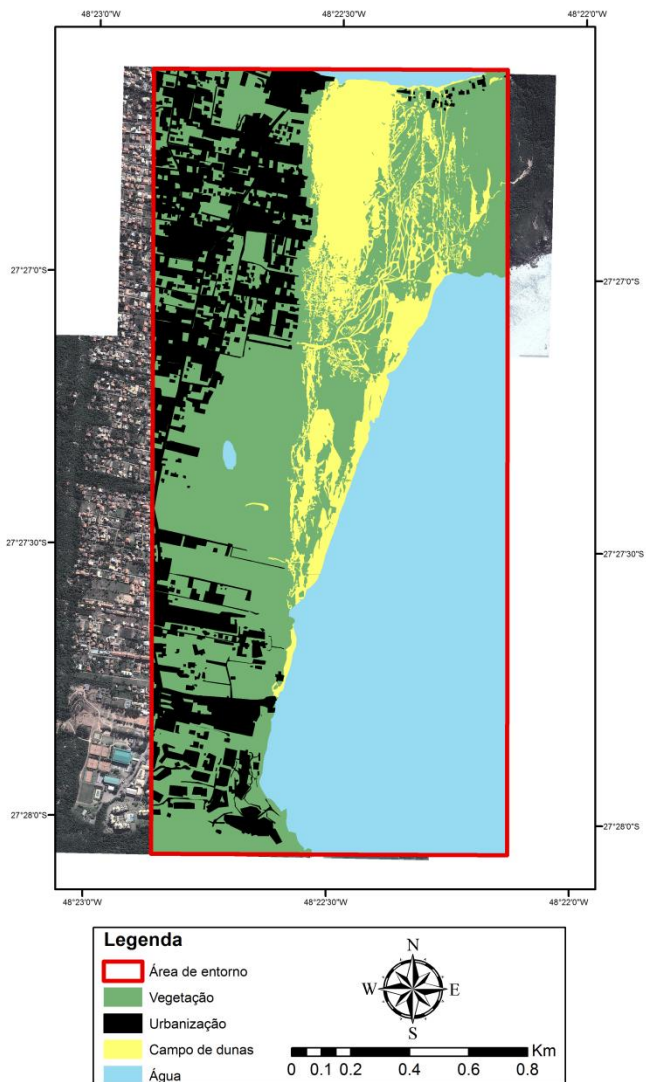
ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 2009



ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 2010



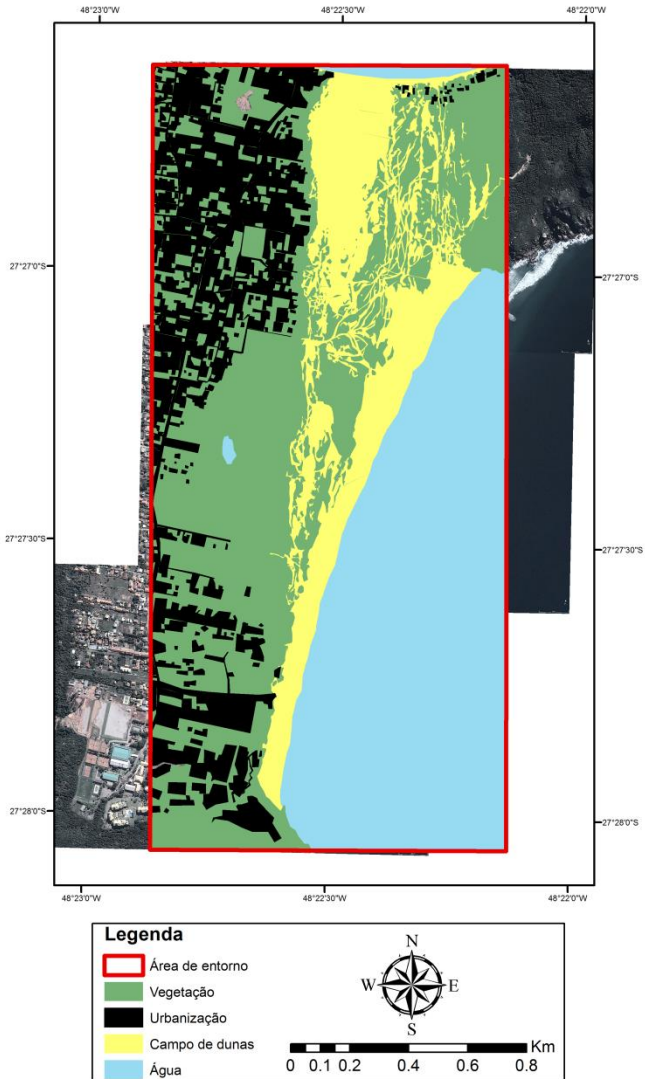
ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 2011



ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 2012

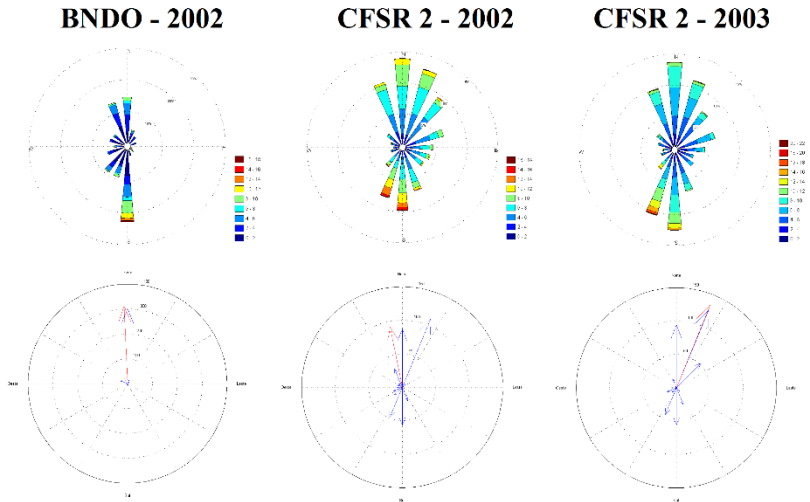


ÁREA E ESTUDO VETORIZADA - 2013

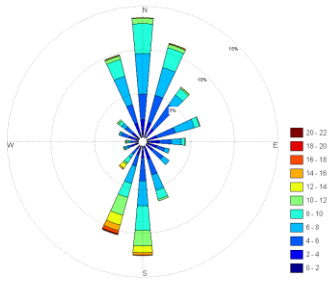


Apêndice C

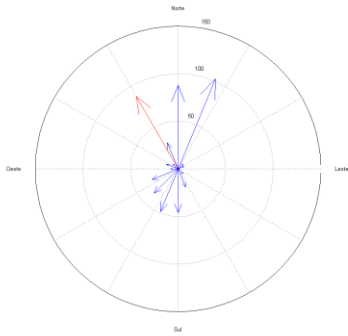
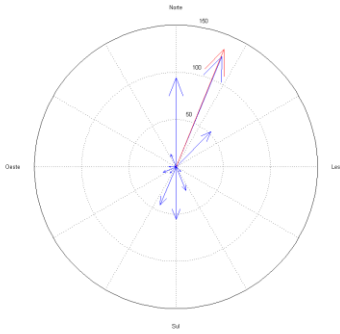
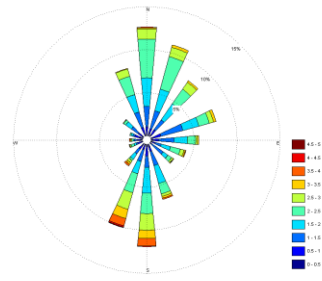
Rosa dos ventos e diagrama da direção de deriva resultante dos pontos os quais haviam dados para o ano em questão.

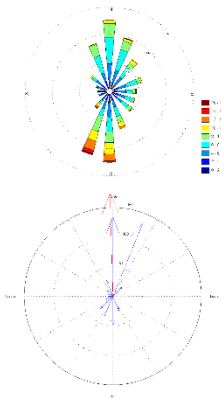
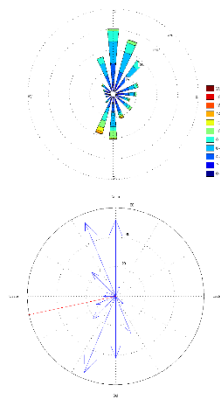
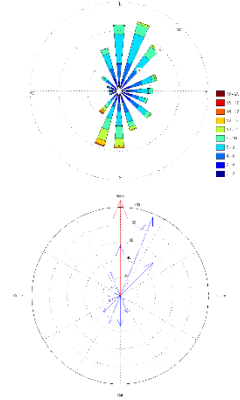
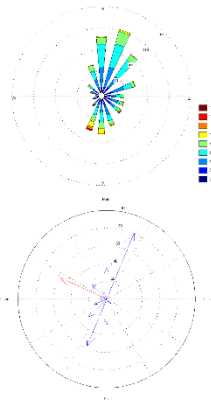
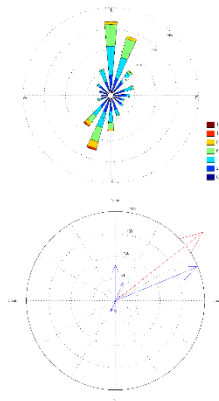


CFSR 2 - 2003



CRSR 2 - 2004



CRSR 2 - 2013**CRSR 2 - 2014****CFSR ponto 1 - 2013****CFSR ponto 1 - 2014****CFSR ponto 4 - 2013****CFSR ponto 4 - 2014**