

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA INFORMAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NOS BALNEÁRIOS QUERÊNCIA-ATLÂNTICO
SUL E HERMENEGILDO (RS) A PARTIR DE INDICADORES
GEOMORFOLÓGICOS E ANTRÓPICOS

DEIVID CRISTIAN LEAL ALVES

RIO GRANDE
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA INFORMAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



DEIVID CRISTIAN LEAL ALVES

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NOS BALNEÁRIOS QUERÊNCIA-ATLÂNTICO
SUL E HERMENEGILDO (RS) A PARTIR DE INDICADORES
GEOMORFOLÓGICOS E ANTRÓPICOS

ORIENTADOR:
PROF. DR. ULISSES ROCHA DE OLIVEIRA

RIO GRANDE
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA INFORMAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



DEIVID CRISTIAN LEAL ALVES

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NOS BALNEÁRIOS QUERÊNCIA-ATLÂNTICO
SUL E HERMENEGILDO (RS) A PARTIR DE INDICADORES
GEOMORFOLÓGICOS E ANTRÓPICOS

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre pelo
Programa de Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Federal do Rio Grande.

Banca examinadora:
Prof. Dr. Ulisses Rocha de Oliveira (Orientador)
Prof. Dr. João Luis Nicolodi
Prof. Dr. Miguel da Guia Albuquerque
Prof. Dr. Pedro de S. Quevedo Neto (Suplente)

RIO GRANDE
2013

*Dedico este trabalho à Lennon Ney,
que lutou bravamente contra as
adversidades do câncer. Descanse
em paz amigo.*

AGRADECIMENTOS

Foram muitos que de algum modo contribuíram para que este trabalho tomasse forma. Seja por meio de incentivos, auxílio com o referencial teórico ou com as ferramentas utilizadas, existem muitas pessoas a agradecer. Quero agradecer primeiramente a minha esposa Marlize que há nove anos me apoia através de seu amor e companheirismo. Agradecer pelo apoio vindo das palavras da minha mãe Iara, da minha tia Maria, do meu tio Júlio e da minha sogra Marianita. Vocês são minhas melhores referências.

Agradeço aos amigos que estiveram sempre dispostos a ajudar, a ouvir e compartilhar bons momentos nessa caminhada: Leon, Gabriele, Marlene, Patrick, Luana e Renatinho. Aos amigos da FURG, que mais do que colegas foram confidentes das frustrações e realizações da minha pós-graduação: Raquel Dumith, Raquel Duarte, Gisele e Bruno. Aos amigos e colegas da turma de Geoprocessamento do IFRS: Carlos “Cavi”, Eduardo, Francieli, Tamires, Bruna, Ruan e Diego.

Meu muito obrigado ao professor Ulisses Oliveira pela orientação, pela confiança no meu trabalho e pelos esclarecimentos sobre os processos que se estabelecem na paisagem costeira. Ao professor Miguel Albuquerque pela decisiva contribuição no andamento deste trabalho a partir dos levantamentos topográficos e apoio metodológico. Ao professor Jean Spinoza por suas importantes sugestões sobre as técnicas empregadas. Aos professores João Nicolodi e Pedro Quevedo pelas valiosas e instigantes considerações feitas na banca de qualificação.

Meus agradecimentos aos colegas de profissão Christian Enríquez do Laboratório de Gerenciamento Costeiro (IO-FURG) e Paulo Salati do Laboratório de Topografia (EE-FURG) pelo auxílio com as imagens de satélite. A Daiane Marques da Secretaria Municipal do Meio Ambiente do Rio Grande pela ajuda com a legislação municipal. Ao Renato Carvalho do Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental (NEMA) pela documentação sobre o plano de manejo de dunas. A Maria Trugillo do escritório regional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com os dados demográficos. Obrigado a todos pela gentileza e presteza com a qual me atenderam.

Obrigado à turma 2011 de Geografia Física do Brasil pela colaboração durante as aulas de estágio docência. Aos funcionários da FURG, em especial aos da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia (ICHI-FURG) e do setor de viaturas, que sempre se mostraram solícitos às necessidades da pesquisa. Ao senhor Luiz e sua esposa Lena pela hospitalidade durante os trabalhos de campo no Balneário Hermenegildo. Por fim, agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos, recurso imprescindível para a minha permanência em Rio Grande.

Muito obrigado a todos.

RESUMO

Esta dissertação de mestrado em Geografia analisa as principais vulnerabilidades existentes nos balneários Querência-Atlântico Sul e Hermenegildo, a partir de indicadores geomorfológicos e antrópicos. Os dois recortes espaciais do estudo estão inseridos na Província Costeira do Rio Grande do Sul e fazem parte dos municípios do Rio Grande e de Santa Vitória do Palmar. Para efetivar a análise foram utilizados como referencial teórico-conceitual os pressupostos da geomorfologia ambiental, vertente do estudo do relevo que objetiva a interpretação integrada de elementos morfológicos e antrópicos. Essa proposta integrada de análise também está presente nos conceitos de vulnerabilidade e suscetibilidade empregados. Para tanto, foram selecionados seis indicadores de avaliação do estado do ambiente: evolução da linha de costa, configuração de dunas, elevação do terreno, estruturas de contenção costeira, distância média da faixa urbana e densidade da ocupação. As análises destes indicadores foram realizadas por meio de imagens da superfície terrestre e levantamentos topográficos, acompanhados de uma revisão bibliográfica com a finalidade de compilar dados de apoio ao estudo. Esses dados alimentaram uma tabela de checagem com atribuição de três níveis associados à baixa, intermediária e alta suscetibilidade, conforme metodologia consultada. De forma paralela, foram elaboradas estimativas de crescimento da ocupação dos balneários através de um recorte temporal de dez anos. Como resultado, constatou-se que no Balneário Querência-Atlântico Sul a linha de costa vem migrando em direção ao oceano, havendo ocorrência de dunas frontais expressivas entre a área urbana e o mar, que agem como uma proteção natural. A ocupação no balneário está situada predominantemente entre as cotas de 3 a 5 metros acima do nível relativo do mar, a uma distância média de 269,48 metros do fronte das dunas. Já no Balneário Hermenegildo, a linha de costa migra em direção ao continente, que juntamente com o crescimento urbano, suprimiram as dunas frontais, expondo a área urbana à ação marinha, o que ocasionou a construção de estruturas de contenção. A ocupação do balneário está situada predominantemente entre as cotas de 3 a 5 metros, com média de 28,83 metros de distância das estruturas de contenção/escapa das dunas. A partir da avaliação dos indicadores no Balneário Querência-Atlântico Sul, foi constatado que a vulnerabilidade no recorte está, principalmente, relacionada às características morfológicas do sítio urbano e seu rápido crescimento (80% entre 2002 e 2012). Episódios de inundação provocados por marés de tempestade estão associados à baixa topografia e pequena declividade do terreno adjacente a descontinuidades do cordão de dunas frontais. Há também ocorrência de pontos de alagamento na área urbanizada, fruto de características morfológicas do sítio que são agravadas pelo processo de ocupação. No Balneário Hermenegildo, a vulnerabilidade é primariamente correlacionada à retração da linha de costa e a ocupação defrontante a praia. A ausência de uma zona de amortecimento natural impulsionou a construção de estruturas de contenção. Essas intervenções minimizam o impacto iminente, mas trazem problemas indiretos ao balanço sedimentar que se estabelece na costa.

Palavras-chave: análise integrada; vulnerabilidade; geoindicadores; urbanização costeira.

ABSTRACT

This dissertation in Geography analyzes the main vulnerabilities in the coastal settlements of Querência-Atlântico Sul and Hermenegildo using geomorphological and anthropogenic indicators. Both spatial delimitations of the study are included in the Província Costeira do Rio Grande do Sul and they are part of the municipalities of Rio Grande and Santa Vitória do Palmar. To conduct the analysis, we used as theoretic-conceptual guide the assumptions of the environmental geomorphology, which points to an integrated interpretation of morphological and anthropogenic elements. This integrated proposal of analysis is also present in the concepts of vulnerability and susceptibility employed. Thus, we selected six indicators to assess the environment state: evolution of the shoreline, dunes configuration, terrain elevation, coastal containment structures, medium distance of the urban track and occupation density. The analyses of these indicators were performed using images of the land surface and surveying, together with a literature review in order to gather data to support the study. These data fueled a table check with three levels attribution, associated with low, intermediate and high susceptibility, according to the methodology. In parallel, estimations of occupation growth were drawn up for the two areas across a period of ten years. As a result, it was found that the shoreline of Balneário Querência-Atlântico Sul is migrating towards the ocean, with significant occurrence of frontal dunes between the urban area and the sea, which act as a natural protection. The occupation in the same area is located predominantly between the elevations of 3-5 meters above the relative sea level, with an average distance of 269.48 meters from the front of the dunes. Oppositely, in Balneário Hermenegildo, the shoreline migrates toward the mainland, which along with urban growth suppressed the frontal dunes, exposing the urban area to marine action, which led to the construction of containment structures. The occupation of this area is located predominantly between the elevations of 3-5 meters, with an average of 28.83 meters away from containment structures / the dunes escarpes. The evaluation of the indicators in Balneario Querência-Atlântico Sul revealed that the spatial delimitation vulnerability is mainly related to morphological characteristics of the urban site and its rapid growth (80% between 2002 and 2012). Episodes of inundating caused by storm surges are associated with low topography and small slope of the adjacent land near of the discontinuities of the dune front. There are also points of inundating in the urbanized area, as the result of morphological characteristics of the site that are aggravated by the occupation process. In Balneário Hermenegildo, vulnerability is primarily correlated to the shrinkage of the shoreline and beachfront occupation. The lack of natural damping zone impelled the construction of containment structures. These interventions minimize the imminent impact, but bring indirect problems to the sediment balance that occurs on the coast.

Keywords: integrated analysis; vulnerability; geoindicators; coastal urbanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01:	Mapa de localização dos balneários analisados.....	15
Figura 02:	Delimitação da área urbanizada do Balneário Cassino (perímetro amarelo e vermelho). Destaque para o Balneário Querência-Atlântico Sul (apenas o perímetro vermelho). Fonte: Google Earth, 2013.....	16
Figura 03:	Mapa de planejamento das ações do Plano de Manejo de Dunas Costeiras do litoral do Município do Rio Grande – Praia do Cassino. Fonte: NEMA, 2008.....	16
Figura 04:	Evolução da área urbana do Balneário Hermenegildo (em vermelho) a partir de imagens fotogramétricas de 1947, 1964 e imagem de satélite de 2005. Fonte: Koerner, 2009.....	18
Figura 05:	Configuração da Província Costeira do Rio Grande do Sul. Fonte: Tomazelli; Villwock, 2005.....	20
Figura 06:	Fisiografia típica das dunas costeiras da região analisada. Dunas frontais A; dunas “hummock” B; e planos arenosos C. Fonte: Seeliger, 1998.....	21
Figura 07:	Província Costeira do Rio Grande do Sul com destaque para os embaiamentos e projeções da costa. Fonte: adaptado de Dillenburg & Hesp, 2009.....	22
Figura 08:	A – montagem do GPS geodésico sobre marco RN na estação CORSAN/Cassino; B – GPS geodésico sobre marco RN na Praça Central do Hermenegildo (Fonte: Albuquerque, 2013); C – coleta de pontos com antena móvel no modo <i>stop and go</i>	29
Figura 09:	A – Distribuição dos perfis do levantamento topográfico para o recorte Querência-Atlântico Sul; B – Distribuição dos perfis do levantamento topográfico para o recorte Hermenegildo. Pontos verdes representam as coletas feitas na base das feições frontais (dunas, escarpas e estruturas de contenção).....	30
Figura 10:	Esquema da delimitação de orla para fins de gestão costeira. Fonte: Brasil, 2006.....	41
Figura 11:	Evolução e tendência da variação da linha costa na faixa litorânea entre o Molhe Oeste (Rio Grande) e o Farol do Verga (Santa Vitória do Palmar). Fonte: adaptado de Esteves, 2006.....	47
Figura 12:	Evolução e tendência da variação da linha costa na faixa litorânea entre o Farol do Verga (Santa Vitória do Palmar) e a Barra do Chuí (Santa Vitória do Palmar). Fonte: adaptado de Esteves, 2006.....	50

Figura 13:	Ocorrência e distribuição das dunas frontais e campo de dunas no Balneário Querência-Atlântico Sul.....	51
Figura 14:	Ocorrência e distribuição das dunas frontais/campo de dunas e dunas interiores no Balneário Querência-Atlântico Sul.....	52
Figura 15:	Ocorrência de dunas frontais no Balneário Hermenegildo.....	54
Figura 16:	Trecho com dunas frontais (foto A) e invasão de areia sobre as edificações no Balneário Hermenegildo (foto B).....	55
Figura 17:	Elevação do recorte Querência-Atlântico Sul com a classificação da suscetibilidade com base nas cotas altimétricas.....	56
Figura 18:	Episódios de maré meteorológica positiva na praia do Cassino. Fonte: foto A Parise, 2007; foto B Jornal Zero Hora, 2011; foto C Ulisses Oliveira; e foto D Jornal Agora, 2011.....	57
Figura 19:	Modelo Digital de Elevação (MDE) tridimensional do recorte Querência-Atlântico Sul com extrapolação dos valores de Z.....	58
Figura 20:	Elevação do recorte Hermenegildo com a classificação da suscetibilidade com base nas cotas altimétricas.....	58
Figura 21:	Canais de drenagem associados a suscetibilidade do balneário de cotas baixas e exposição à intrusão de água do mar.....	59
Figura 22:	Modelo Digital de Elevação (MDE) do recorte Hermenegildo com extrapolação dos valores de Z.....	60
Figura 23:	Ocorrência e tipo de estruturas costeiras presentes na orla do Balneário Hermenegildo.....	63
Figura 24:	Foto A – impacto das ondas sobre as estruturas de contenção. Foto B – rochas que faziam parte de uma estrutura e foram desagregados durante a maré de tempestade.....	64
Figura 25:	Polígonos vermelhos representam as ocupações do Balneário Querência-Atlântico Sul e pontos amarelos representam as ocupações selecionadas.....	66
Figura 26:	Pontos amarelos representam as edificações e pontos azuis correspondem às amostras do fronte das dunas.....	66
Figura 27:	Pontos amostrais e linhas médias da ocupação e do fronte das dunas do Balneário Querência-Atlântico Sul.....	67
Figura 28:	Polígonos vermelhos representam às ocupações do Balneário Hermenegildo e pontos amarelos as ocupações selecionadas.....	68
Figura 29:	Pontos amarelos representam as edificações e pontos azuis correspondem as amostras da escarpa erosiva/estruturas de	

	contenção do Balneário Hermenegildo.....	69
Figura 30:	Pontos amostrais e linhas médias da ocupação selecionada e da escarpa erosiva/estruturas de contenção.....	69
Figura 31:	Pontos amostrais da ocupação projetados além da linha média da escarpa erosiva/estruturas de contenção do Balneário Hermenegildo....	70
Figura 32:	Densidade da ocupação no Balneário Querência-Atlântico Sul.....	71
Figura 33:	Densidade da ocupação no Balneário Hermenegildo.....	72
Figura 34:	Ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul – imagem 2002.....	74
Figura 35:	Ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul – imagem 2006.....	75
Figura 36:	Ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul – imagem 2009.....	75
Figura 37:	Ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul – imagem 2012.....	75
Figura 38:	Sobreposição dos vetores para a identificação das áreas de expansão da ocupação no Balneário Querência-Atlântico Sul. Polígonos azuis representam a ocupação 2002 e polígonos vermelhos a ocupação 2012.....	76
Figura 39:	Estimativa do crescimento da ocupação do Balneários Querência-Atlântico Sul entre os anos de 2002, 2006, 2009 e 2012.....	76
Figura 40:	Edificações e delimitação de lotes sobre o campo de dunas do Balneário Atlântico Sul no prolongamento da Avenida Cassino (foto A. Fonte: Souza, 2003); Ocupação atual na mesma via adjacente ao campo de dunas (foto B).....	77
Figura 41:	Topografia do sítio urbano do recorte Querência-Atlântico Sul.....	78
Figura 42:	Trecho consolidado da ocupação com edificações assentadas sobre dunas (fotos A e B); Trecho em expansão com corte de dunas para o assentamento (fotos C e D).....	79
Figura 43:	Ocorrência de áreas alagadiças no reverso do antigo cordão de dunas regressivas.....	80
Figura 44:	Lotes localizados no reverso do antigo cordão de dunas (foto A); Lote mais baixo que a via (foto B).....	80
Figura 45:	Ocupação do Balneário Hermenegildo – imagem 2000.....	82
Figura 46:	Ocupação do Balneário Hermenegildo – imagem 2005.....	82
Figura 47:	Ocupação do Balneário Hermenegildo – imagem 2007.....	82
Figura 48:	Edificações destruídas na orla do Balneário Hermenegildo. Fonte: Teixeira, 2007 (fotos A, B e C).....	83
Figura 49:	Ocupação do Balneário Hermenegildo – imagem 2010.....	84
Figura 50:	Sobreposição dos vetores para a identificação das áreas de expansão	

	da ocupação no Balneário Hermenegildo.....	84
Figura 51:	Estimativa do crescimento da ocupação do Balneário Hermenegildo entre os anos de 2000, 2005, 2007 e 2010.....	84
Figura 52:	Composição de layers destacando a suscetibilidade topográfica referente a presença de canais de drenagem.....	85
Figura 53:	Mapa com os dados dos indicadores de suscetibilidade do Balneário Querência-Atlântico Sul e localização dos perfis topográficos. À direita, gráfico dos perfis topográficos com correção ortométrica da altitude (H).....	91
Figura 54:	Mapa com os dados dos indicadores de suscetibilidade do Balneário Hermenegildo e localização dos perfis topográficos. À direita, gráfico dos perfis topográficos com correção ortométrica da altitude (H).....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 01:	Relação de imagens/sensores utilizados.....	27
Tabela 02:	Coordenadas das referências de nível.....	29
Tabela 03:	Lista de checagem dos indicadores ambientais para conferência. Fonte: Adaptado de Bush et al., 1999 e Souza et al. 2012.....	33
Tabela 04:	Estágios do desenvolvimento urbano e seus possíveis impactos negativos. Fonte: Adaptado de Araújo, 2007 e Nordstrom, 2000.....	44
Tabela 05:	Quadro comparativo da avaliação dos indicadores, estimativa de crescimento da ocupação e vulnerabilidade.....	86

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01:	Modelo Geoidal de Elevação.....	30
Equação 02:	Distância Euclidiana.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CORSAN	<i>Companhia Riograndense de Saneamento</i>
ENOS	<i>El Niño Oscilação Sul</i>
FEPAM	<i>Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler</i>
FURG	<i>Universidade Federal do Rio Grande</i>
GERCO	<i>Programa de Gerenciamento Costeiro</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems (Sistema Global de Navegação por Satélite)</i>
GPS	<i>Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
IFRS	<i>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul</i>
IUGS	<i>International Union of Geological Sciences (União Internacional de Ciência Geológica)</i>
MDE	<i>Modelo Digital de Elevação</i>
NEMA	<i>Núcleo de educação e monitoramento Ambiental</i>
RIMA	<i>Relatório de Impacto Ambiental</i>
RMS	<i>Root mean square (Valor Quadrático Médio)</i>
RN	<i>Referência de Nível</i>
SEC	<i>Secretaria Especial do Cassino</i>
SIRGAS	<i>Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas</i>
SOE	<i>Reporting state of environment (Relatório estado do ambiente)</i>
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i>
TSM	<i>Temperatura da superfície do mar</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator coordinate system (sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator)</i>

SUMÁRIO

	Dedicatória.....	iii
	Agradecimentos.....	iv
	Resumo.....	vi
	Abstract.....	vii
	Lista de figuras.....	viii
	Lista de tabelas.....	xii
	Lista de equações.....	xiii
	Lista de abreviaturas e siglas.....	xiv
	Sumário.....	xv
1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Justificativa.....	2
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo geral.....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
3.1	Geomorfologia Costeira.....	4
3.2	Geomorfologia Ambiental e Ocupação Costeira.....	7
3.3	Orla como unidade espacial de análise: suscetibilidades e vulnerabilidade.....	9
3.4	Uso de indicadores para a avaliação ambiental.....	12
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
4.1	Localização dos balneários.....	15
4.2	Geologia e geomorfologia regional.....	19
4.3	Clima regional e morfodinâmica costeira.....	22
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
5.1	Revisão bibliográfica e compilação de dados.....	26
5.2	Delimitação do recorte espacial e trabalhos de campo.....	26

5.3	Elaboração da base cartográfica.....	27
5.4	Levantamento e tratamento dos dados topográficos.....	28
5.5	Avaliação do estado do ambiente através de indicadores.....	32
5.5.1	Descrição dos indicadores selecionados e lista de checagem.....	34
5.5.1.1	Indicador <i>evolução da linha de costa</i>	34
5.5.1.2	Indicador <i>configuração de dunas</i>	35
5.5.1.3	Indicador <i>elevação do terreno</i>	37
5.5.1.4	Indicador <i>estruturas de contenção costeira</i>	38
5.5.1.5	Indicador <i>distância média da faixa urbana</i>	40
5.5.1.6	Indicador <i>densidade da ocupação</i>	43
5.6	Estimativa de crescimento da ocupação.....	45
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1	Avaliação dos indicadores	46
6.1.1	Indicador <i>evolução da linha de costa</i>	46
6.1.2	Indicador <i>configuração de dunas</i>	51
6.1.3	Indicador <i>elevação do terreno</i>	55
6.1.4	Indicador <i>estruturas de contenção costeira</i>	60
6.1.5	Indicador <i>distância média da faixa urbana</i>	65
6.1.6	Indicador <i>densidade da ocupação</i>	71
6.2	Crescimento da ocupação e vulnerabilidade nos balneários	73
6.2.1	Balneário Querência-Atlântico Sul.....	73
6.2.2	Balneário Hermenegildo.....	81
6.3	Quadro comparativo e síntese da análise nos balneários.....	86
7	CONCLUSÕES	93
	REFERÊNCIAS	96

1. INTRODUÇÃO

O ambiente costeiro é composto por um complexo sistema de interações entre os elementos marinhos, continentais e atmosféricos, uma verdadeira faixa de confluência de diferentes forças (MUEHE, 2005). A evolução natural deste ambiente é marcada pela dinâmica de ondas, marés e ventos, que remodelam constantemente as feições das orlas marítimas, sobretudo em ambientes sedimentares. O ambiente costeiro também é o sítio urbano, conceito abordado neste trabalho como *assoalho topográfico* (AB'SÁBER, 2007; JORGE, 2011), no qual se desenvolve significativa parcela das atividades da sociedade ao redor do mundo e o onde o equilíbrio entre os elementos antrópicos e processos naturais é de fundamental importância, tanto para a segurança do primeiro quanto para a preservação do segundo.

A intervenção sobre o ambiente através de modificações da morfologia terrestre sempre se mostrou um desafio à sociedade. Para Drew (2005) o controle sobre o ambiente perpassa pelo esforço em domina-lo. No caso do ambiente costeiro esse *controle* significa compreender as *forçantes* que operam sobre a paisagem, bem como a que respostas morfológicas ela está submetida. Nesse contexto, a paisagem é vista como resultado da “combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos” que reage e evolui de forma integrada (BERTRAND, 2004, p. 141), um sistema em constante busca por equilíbrio (DREW, 2005).

O planejamento das intervenções sobre a paisagem ganha assim especial relevância, sendo que o emprego do conhecimento geomorfológico pode contribuir de forma decisiva na análise de sítios urbanos costeiros, fornecendo ferramentas que auxiliam na identificação, delimitação e avaliação das suscetibilidades de orla a dinâmica costeira (GUERRA; MARÇAL, 2006). A suscetibilidade corresponde ao grau de fragilidade dos componentes da orla expostos aos processos da dinâmica costeira (CARDOSO, 2007), como os efeitos das marés de tempestade, por exemplo.

Nos estudos ambientais a suscetibilidade é normalmente associada ao conceito de vulnerabilidade (FIGUEIRÊDO et al., 2010; VEYRET, 2007), sendo aqui

interpretado como a síntese da avaliação dos componentes que formam a orla e o sítio urbano, a partir da interação dos processos naturais e das intervenções antrópicas (SOUSA, 2007). Essa visão integrada do conceito de vulnerabilidade vai ao encontro do método *geossistêmico* (BERTRAND, 2004), promovendo a análise holística dos elementos que constituem a paisagem.

A partir do exposto, este trabalho procurou analisar as principais vulnerabilidades presentes nos balneários Querência-Atlântico Sul e Hermenegildo, a partir da avaliação da suscetibilidade na forma de indicadores geomorfológicos e antrópicos. Foi realizada uma revisão de dados sobre as áreas de estudo e levantamentos em campo que alimentaram a tabela de checagem segundo a metodologia de *geoindicadores* (IUGS, 1996), a contribuição de Bush et al. (1999) e adaptações sugeridas por Sousa et al. (2012). Também foi realizada uma estimativa do crescimento da área ocupada nos balneários, com o uso de imagens de satélite e aerofotografia, a partir de um recorte temporal de 10 anos em um período próximo do atual, o que permitiu identificar a contribuição urbana no quadro de vulnerabilidade.

1.1. Justificativa

Justifica-se este trabalho pela escolha metodológica de análise integrada da vulnerabilidade, utilizando parte do extenso banco de dados disponível na forma de trabalhos acadêmicos, que contribuem para um melhor entendimento dos processos atuantes na orla dos balneários. Aliado a esses dados, foram realizados levantamentos que introduzem novas informações sobre o *estado do ambiente*, principalmente aquelas relacionadas ao processo de urbanização dos balneários.

A escolha de dois sítios urbanos também é fator de apoio à justificativa, pois mesmo que estejam localizados na mesma planície costeira apresentam significativas diferenças no tocante à configuração geomorfológica da costa e crescimento urbano. Conforme Muehe (2004), as especificidades locais devem ser contempladas pelas ações de gestão costeira. Desse modo, a síntese desta pesquisa, em especial os produtos cartográficos, pode ser assimilada em futuros planos de gerenciamento costeiro visto que foi adotada a escala de 1:5.000, representação adequada à orla (MORAES; ZAMBONI, 2004).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral:

- Analisar a vulnerabilidade presente nos Balneários Querência-Atlântico Sul e Hermenegildo (RS), a partir da avaliação de indicadores geomorfológicos e antrópicos.

2.2. Objetivos específicos:

- Avaliar o grau de suscetibilidade de seis indicadores geomorfológicos e antrópicos selecionados, conforme as ocorrências nos recortes espaciais delimitados;
- Estimar o crescimento urbano dos balneários por meio de um recorte temporal de 10 anos, próximo ao período atual.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Geomorfologia costeira

A linha de costa é um ambiente caracterizado pelo acentuado dinamismo, o que lhe confere instabilidade e o torna sensível às alterações promovidas por processos naturais e antrópicos (MARTINS et al, 2004). A dinâmica costeira é regida pelo predomínio de ações de natureza física, química e biológica através de processos erosivos, de transporte e deposição (SILVA et al., 2004) que podem sofrer reajustes a partir de intervenções antrópicas (MUEHE, 2005).

Dentre as ações físicas que esculpem a linha de costa ressaltamos a dinâmica das marés, ondas e correntes litorâneas (ROSSETTI, 2008). Cabe citar também as ações biológicas que são responsáveis, por exemplo, pela bioconstrução e fitoestasia¹ a partir de sistemas deposicionais como as dunas (GOMES et al., 1987; SEELIGER, 1998) e a ação química que tem papel decisivo no intemperismo litológico e na precipitação de materiais (SILVA et al., 2004).

As marés astronômicas são produtos da flutuação periódica da linha d'água na costa em função do movimento rotacional da Terra combinado com a força gravitacional exercida pela Lua e, de forma secundária, pelo Sol (ROSSETTI, 2008). A variação da maré astronômica pode se dar na forma semi-diurnas (duas preamar e duas baixa mar), marés diurnas (uma preamar e uma baixa mar) ou marés mistas que ocorrem em um período de 24 horas (SILVA et al., 2004), alternando períodos de maré cheia e maré vazante (SUGUIO, 1992).

A influencia lunar é percebida a partir das marés de sizígia, na ocorrência de lua nova e lua cheia, e nas marés de quadratura, durante a lua minguante e lua crescente, que ocorrem em um ciclo mensal (GARRISON, 2010). A amplitude das marés pode aumentar conforme ocorre seu deslocamento em direção à costa em razão do tipo de morfologia costeira (ROSSETTI, 2008). Costas com amplitudes de marés inferiores a 2 metros são classificados como de regime de micromaré, amplitudes entre 2 e 4 metros são classificadas como de mesomaré e amplitudes superiores a 4 metros são características de regime de macromaré (DAVIES, 1964;

¹ Estabilização de um determinado sistema promovido pela vegetação (TRICART, 1977)

ROSSETTI, 2008). As correntes de marés nas zonas costeiras transportam sedimentos e, por conseguinte, atuam na morfodinâmica costeira (SILVA et al., 2004).

Já as marés meteorológicas, caracterizadas como a diferença entre a maré astronômica prevista e maré observada, podem ocasionar elevações do nível médio do mar que ultrapassam a maré astronômica prevista, através da ação de ventos que agem sobre a superfície do mar (SUGUIO, 1992). A gênese dessas marés está ligada a variações na pressão atmosférica e ocorrência de ventos intensos formados por frentes meteorológicas que promovem o empilhamento da água na costa e afetam o nível do mar regionalmente (MAIA, 2011), podendo provocar a erosão do perfil praias e a inundação de áreas baixas ou de pequeno declive próximas da linha de costa por meio da sobre-elevação do mar.

As ondas são geradas principalmente por ventos e são denominadas ondulações quando ultrapassam a zona da ação do vento criador e continuam suas trajetórias. A profundidade e morfologia oceânica alteram a altura (H), o comprimento (L) e a velocidade de propagação das ondas (SILVA et al., 2004). Em regiões rasas, as ondas possuem a capacidade de movimentar os sedimentos do fundo oceânico, havendo um decréscimo do comprimento e um aumento na sua altura, até ocorrer à quebra. A arrebentação das ondas possuem várias formas e estão ligadas a esbeltez (H/L) da onda e ao ângulo do fundo próximo à praia (SILVA et al., 2004). As ondas em águas rasas contribuem para os padrões de circulação costeira que por sua vez transportam sedimentos e modificam a morfologia costeira.

Correntes litorâneas incluem fluxos direcionais desenvolvidos ao longo da costa e correntes de retorno (ROSSETTI, 2008). As correntes ao longo da costa são geradas pelo impacto de ondas que se deslocam obliquamente à costa e, em longo prazo, são mais efetivas no transporte de sedimentos do que outros fluxos formados por efeitos sazonais. Já as correntes de retorno são fluxos que se deslocam no sentido da costa para o oceano, com desenvolvimento em costas inclinadas e origem associada a variações topográficas que influenciam na elevação das ondas (ROSSETTI, 2008).

A evolução da linha de costa é produto dos processos que atuam (ou atuaram) em um determinado trecho, tais como: atividade geológica, oscilação do nível do mar, erosão e redistribuição do material a partir do transporte e deposição de sedimentos (GARRISON, 2010). Sendo assim, as regiões costeiras podem ser classificadas segundo diferentes critérios de análise e escala. Existem classificações que levam em consideração a tectônica global, distinguindo as costas conforme o movimento das placas litosféricas, e classificações em menor escala que utilizam critérios morfogenéticos, dividindo as costas conforme o avanço ou retração da linha de costa “em função de processos de emersão, submersão, erosão e acreção, associados aos fenômenos de variações do nível do mar (transgressões e regressões marinhas) e ao suprimento de sedimentos” (SILVA et al., 2004, p. 177).

Em uma escala de maior aproximação, pode-se destacar o modelo sequencial de evolução morfológica de praias arenosas proposta pela escola australiana de geomorfologia costeira, a qual integra características morfológicas e hidrodinâmicas, sugerindo seis estágios morfodinâmicos que uma costa sujeita a micromarés astronômica pode apresentar (CALLIARI et al., 2003). Basicamente, no extremo constam os estágios refletivos, caracterizado por praias predominantemente íngremes com pequeno estoque de areia na porção subaquosa e zona de arrebentação estreita, onde grande parte da energia de ondas é refletida; e dissipativo, correspondente a praias planas e rasas com considerável estoque de areia na parte submersa e ampla zona de arrebentação, onde a maior parte da energia das ondas é dissipada (CALLIARI et al., 2003). Entre os dois tipos, existem quatro estágios intermediários que podem oscilar em direção aos extremos conforme a ação de ondas, correntes e marés no período antecedente ou devido ao grau de exposição da costa.

A morfologia costeira ainda é caracterizada pela granulometria, sendo a distribuição e o tamanho do grão componente fundamental para a identificação do tipo de deposição e do transporte de sedimentos na costa (MUEHE, 2005). A composição granulométrica, geralmente, tem correlação com a inclinação do perfil praias. Praias mais planas tendem a ser compostas por material mais fino, mas essa condição também está ligada a energia de ondas, porosidade, forma das partículas e do empacotamento dos sedimentos (GARRISON, 2010).

3.2. Geomorfologia ambiental e ocupação costeira

A geomorfologia tem como objeto de estudo o desenvolvimento, a organização e a estruturação de modelos para a interpretação do relevo (VITTE, 2004). Após a metade do século passado, os estudos geomorfológicos buscaram explicar a ação do homem sobre a morfologia terrestre, ou seja, a *technè* sobre a *physis* (CASTORIADIS, 1987) contribuindo assim com sua aproximação ao moderno conceito de *tecnociência* – ciência aplicada a partir da técnica (HOTTOIS, 2003). Nessa perspectiva, planejar a forma de uso e ocupação do solo perpassa em compreender os processos que atuam na elaboração morfológica do terreno, bem como dos materiais constituintes e fatores controladores (CHRISTOFOLLETI, 2001).

Os primeiros estudos com abordagens ambientais na geomorfologia surgem na escola alemã a partir da perspectiva *geoecológica* (CASSETI, 1991), que tomam forma no *1 Binghamton Geomorphology Symposium*² realizado em Binghamton (Nova Iorque) em 1970. Nesse evento foi debatido o papel da geomorfologia no contexto ambiental e sua aplicação em políticas de planejamento voltadas à preservação dos ecossistemas (PENTEADO, 1980). O objetivo da *geomorfologia ambiental* é “minimizar as distorções topográficas, entender e atuar nos processos inter-relacionados para a restauração ou manutenção do balanço natural” (PENTEADO, 1980, p. 149). Essa interpretação preservacionista, propositiva e integradora da geomorfologia também é expressa por Guerra & Marçal (2006):

“Geomorfologia ambiental tem como tema integrar as questões sociais às análises da natureza e deve incorporar, em suas observações, as relações políticas e econômicas que são fundamentais na determinação dos processos e nas possíveis mudanças que possam vir acontecer” (GUERRA; MARÇAL, 2006, p. 15).

Nesse sentido, a *geomorfologia ambiental* busca compreender as mudanças no ambiente, sejam elas a partir de processos físico-naturais estabelecidos ou aqueles induzidos pela sociedade, que alteram a dinâmica morfológica de determinadas áreas da superfície terrestre, assim como analisar esses processos para melhor intervir, a partir de alternativas de planejamento em diferentes ambientes e escalas operacionais.

² Environmental Geomorphology. D.R. Coates. Binghamton: NY, 1970.

O ambiente costeiro corresponde à região da tríplice interface continente-oceano-atmosfera (AB'SABER, 2010) sujeito a contínuas alterações morfológicas. Eventos como o movimento de placas tectônicas, oscilações do nível do mar, dinâmica erosiva e deposicional associados a ações de marés, ondas, correntes, sistemas fluviais e eólicos definem os tipos de feições e o estado de equilíbrio que uma determinada paisagem costeira irá apresentar (DREW, 2005; ROSSETTI, 2008; SILVA et al., 2004). A ocupação de orlas costeiras, seja com a finalidade urbana ou industrial, em alguns casos, necessita de intervenções que visam facilitar seu uso, mas que podem promover alterações morfológicas que comprometem a qualidade ambiental da paisagem (MUEHE, 2005).

Com a demanda constante por novas ocupações, o planejamento do uso do solo torna-se de extrema relevância, pois a técnica se devidamente aplicada torna-se eficaz porque se contrapõe aos efeitos da casualidade (CASTORIADIS, 1987). A paisagem urbana tem de ser vista pelos gestores como uma síntese dos aspectos físico-naturais e sociais, um verdadeiro híbrido (sistema singular), com sua dinâmica própria. Dessa forma, a *geomorfologia ambiental* tem grande valor se adotada de forma complementar como instrumento de planejamento incluindo-a em planos diretores municipais, estratégias de mitigação, programas de manejo e gestão. A introdução da geomorfologia na prática do planejamento tem caráter preventivo, ou seja, objetiva agir antecipadamente e não corretivamente (ROSS, 1990).

A geomorfologia em seu ramo costeiro busca compreender a ação construtora e esculpadora dos diversos processos da interface litorânea. Davidson-Arnott (2010) destaca que antes de 1950, a geomorfologia costeira era altamente descritiva e muito influenciada pelos conceitos relacionados ao *Ciclo Davisiano* de erosão. Em sua evolução, a classificação costeira e a descrição de seus fenômenos passaram a dar uma considerável atenção aos efeitos da mudança relativa do nível do mar, especialmente aos efeitos das oscilações no período holocênico e na reconstituição da paisagem orientada pelas formas atuais do relevo (DAVIDSON-ARNOTT, 2010).

A análise da paisagem costeira, através do conhecimento de sua evolução e dos condicionantes que operam em sua dinâmica, nos permite compreender a morfogênese e a morfodinâmica, que são fatores decisivos para o desenvolvimento

de intervenções que visem minimizar possíveis impactos negativos, principalmente aqueles atrelados a perdas econômicas, de qualidade de vida e que tenham influencia comprometedora dentro dos ecossistemas (GUERRA; MARÇAL, 2006; ROSSETTI, 2008). Quando se refere ao dinamismo das praias, Muehe (2005) aponta que as paisagens costeiras:

“[...] respondem com mudanças de forma e de posição que podem ter consequências econômicas indesejáveis quando resultam em destruição do patrimônio ou em custos elevados, na tentativa de interromper ou retardar o processo de reajuste morfológico” (MUEHE, 2005, p. 254).

A instabilidade da paisagem costeira é acentuada quanto mais próxima da linha de costa, o que exige maior cuidado para com a escolha e desenvolvimento de sítios urbanos. A *geomorfologia costeira* trata do estudo do relevo costeiro e dos processos associados, podendo contribuir decisivamente para a escolha de áreas destinadas a ocupação levando em conta características como o balanço sedimentar, a evolução da linha de costa, a matriz de processos intempéricos, a mobilidade do campo de dunas, dentre outros fatores.

Segundo Guerra & Marçal (2006) o planejamento e gestão das paisagens costeiras possui um forte componente geomorfológico, devendo ser incorporado nos planos estratégicos, sejam eles físico-naturais, econômicos e/ou ambientais. Para esses autores, a sociedade intervém de forma direta e indireta na paisagem costeira, estabelecendo limites de ocupação e de atividades permitidas, contribuindo assim para a preservação e recuperação de sistemas costeiros ou impactando decisivamente com a alteração das feições na forma de desvios e dragagens de canais e deltas, mudanças no aporte de sedimentos, terraplanagens e supressão da vegetação de dunas.

3.3. Orla como unidade espacial de análise: suscetibilidades e vulnerabilidade

A orla pode ser definida de forma simplificada como a faixa limítrofe entre a terra e o mar. No Brasil, a partir do Projeto Orla (2004) e do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (BRASIL, 2004), a conceituação e delimitação desta porção do território foram assim definidas:

“[...] área de contato imediato terra/mar e de interface de processos aquáticos, sendo, portanto, a borda marítima, estuarina ou lagunar da zona costeira e tendo por escala cartográfica de representação adequada a de 1:5.000, no máximo” (MORAES; ZAMBONI, 2004, p. 6).

Ao se instituir uma escala operacional, a orla passa a figurar como uma unidade espacial de análise, subsidiando planos urbanísticos, manejo ambiental e gerenciamento costeiro. Ainda segundo o documento do Projeto Orla, a delimitação de “orla foi pensada como uma escala de planejamento e gestão [...] com foco em realidades espaciais inframunicipais” (MORAES; ZAMBONI, 2004, p. 6), conforme as especificidades geográficas de cada trecho da costa (MUEHE, 2004).

Por se tratar de um ambiente que passa diariamente por acelerada mudança, mas em diferentes intensidades, o dinamismo é um ponto chave para compreender de que forma os processos físico-naturais e as ações antrópicas interagem na orla. Segundo Nordstrom (2010), a questão do dinamismo costeiro remete a ações intervencionistas que visam a estabilidade, normalmente de forma relativa e temporária. Guerra & Marçal (2006) também apontam que a ocupação de orla e sua eventual expansão busca promover a estabilidade do ambiente, mas isto nem sempre está concatenado com as limitações físico-naturais dos terrenos onde estão assentadas e, em muitos casos, acabam por promover alterações negativas nos sistemas morfológicos. Por este motivo é que a aplicação de diretrizes para a ocupação ou mesmo restrições de uso tem sido a preocupação de vários países que apresentam regiões costeiras (MUEHE, 2004).

O ambiente costeiro se estabelece conforme a atuação de diferentes processos de origem geológica, geomorfológica, climática e oceanográfica, em escalas regionais e locais. A interação desses processos condiciona a intensidade do dinamismo que atua sobre a linha de costa e retroterra, e que exerce influência sobre todas as feições presentes na orla, sejam elas de origem natural ou artificialmente construídas. A dominância dos processos de origem oceânica é o elemento que define o nível de equilíbrio dinâmico do sistema costeiro (DREW, 2005).

Nesse sentido, diferente do proposto pela *United Nations Development Programme* (UNDP, 2004), a suscetibilidade não pode ser vista como um conceito

exclusivamente ligado às condições físico-naturais, mas sim integrado a todos os componentes presentes em uma determinada orla. A suscetibilidade é avaliada segundo as fragilidades e resistências de cada componente, que neste caso estão associadas à ação da dinâmica costeira e das intervenções antrópicas (CARDOSO, 2007). As tipologias ou padrões de ocupação costeira (MORAES, 2007) podem interferir de forma positiva no grau de suscetibilidade, contribuindo para um quadro de estabilidade ou mesmo de resiliência³, a partir da conservação dos elementos que conferem maior resistência à orla contra eventos extremos; ou de forma negativa, a partir da pressão, degradação ou desregulação dos sistemas que operam no ambiente.

No âmbito dos estudos ambientais, a suscetibilidade é um conceito muitas vezes vinculado ao de vulnerabilidade (FIGUEIRÊDO et al., 2010; VEYRET, 2007). Existem inúmeras definições para vulnerabilidade não existindo um consenso visto que o termo é aplicado à diferentes abordagens segundo critérios distintos de pesquisa. Geralmente, na análise ambiental, a vulnerabilidade está relacionada a decomposição de alvos, sendo estimada conforme o nível de exposição do ambiente a danos previsíveis (VEYRET, 2007). Sendo assim, ser vulnerável é estar fisicamente exposto a um evento possível de acontecer (VEYRET, 2007), que no caso do ambiente costeiro está vinculado ao intenso dinamismo e a pressão exercida pela forma de ocupação da orla. A exposição de uma determinada orla aos efeitos destrutivos de marés de tempestade ou de inundações provocadas pela oscilação do nível médio do mar acarreta em diferentes tipos de vulnerabilidade conforme a configuração do ambiente costeiro (MAZZER, 2004).

Nessa perspectiva, assim como o conceito de suscetibilidade, a vulnerabilidade não é de cunho exclusivamente natural ou antrópico, mas uma síntese das interações socioambientais *especializadas* em uma determinada área (SOUSA, 2007). Esse encaminhamento epistemológico do conceito de vulnerabilidade se aproxima da visão *geossistêmica* proposta por Bertrand (2004), onde se busca a análise por meio da integração dos elementos que constituem a paisagem, sejam eles originários de processos naturais ou elaborados pela sociedade. O Emprego da escala cartográfica de 1:5.000 em conjunto do conceito

³ Capacidade de auto-recuperação do perfil praiar (LINS-DE-BARROS, 2005).

integrado de vulnerabilidade constituem assim uma forma de interpretação da orla, considerando a exposição da mesma aos processos costeiros atuantes e sua interação com as intervenções antrópicas, procurando avaliar as fragilidades de um sistema a partir do seu conjunto.

3.4. Uso de indicadores para a avaliação ambiental

Indicadores são parâmetros utilizados para avaliar condições, processos ou desempenho de um determinado objeto de estudo (SÁNCHEZ, 2008). Indicadores são empregados em diversas formas de avaliação, sendo que quando aplicados à questão ambiental seu uso pode fornecer informações sobre as condições do meio ambiente e proporcionar suporte a tomada de decisão (SANTOS, 2007).

A análise através de indicadores busca avaliar o estado em que se encontra um determinado ambiente a partir da seleção de parâmetros que expressão as ocorrências, especificidades e necessidades do estudo. Os indicadores podem ser quantitativos ou qualitativos (COLTRINARI; MCCALL, 1995) e os resultados obtidos pela análise introduzidos em banco de dados, modelos matemáticos e computacionais, metodologias que empregam índices de avaliação ou escalas de significância (SÁNCHEZ, 2008).

A aplicação de indicadores para a avaliação ambiental tomou forma a partir dos relatórios do *estado do ambiente* (*state of the environment* – SOE) que são instrumentos desenvolvidos para avaliar novas abordagens de gerenciamento dos ecossistemas em diferentes escalas espaciais e propor novas políticas ambientais (BERGER, 1997). O objetivo principal dos SOE é identificar e informar os gestores sobre tendências ambientais de uma determinada paisagem, especialmente aquelas com limiares iminentes e que necessitam de mudanças nas políticas de uso e ocupação. A metodologia SOE é muito semelhante as matrizes de identificação de impacto, usualmente utilizadas em Relatórios de Impactos Ambientais – RIMA (SÁNCHEZ, 2008), distinguindo-se pela finalidade da aplicação.

Berger (1997) aponta que os relatórios SOE podem auxiliar na busca por repostas das seguintes questões:

- O que está acontecendo em determinado ambiente? (condições e tendências);
- Porque está acontecendo? (relações entre influências humanas e causas naturais);
- Porque esta ocorrência é significativa? (ecológica, econômica e efeitos na saúde);
- O que está sendo feito a respeito? (implicações para o planejamento e política de gestão);

Mesmo com sua relevância nos estudos ambientais, os relatórios SOE apresentam uma lacuna com relação aos parâmetros abiótico do ambiente (BERGER, 1997), sendo que somente nas últimas décadas é que taxas e processos geológicos, geomorfológicos, sedimentares, dentre outros, foram incorporados aos relatórios, o que se justifica pela insuficiência ou ausência completa de dados em alguns casos (BERGER, 1997). Muitas vezes as poucas informações disponíveis não são suficientes para uso como indicadores, pois são séries históricas relativamente pequenas para responder sobre tendências em escala geológica.

Em resposta a essas necessidades, a *International Union of Geological Sciences* (IUGS) estabeleceu em 1992, através da Comissão de Ciências Geológicas para Planejamento Ambiental (COGEOENVIRONMENT), um grupo de trabalho com o objetivo de desenvolver indicadores relacionados a temas das *Geociências* que auxiliassem na busca por respostas em estudos ambientais de curto prazo a partir da avaliação do *estado do ambiente*. Em 1996, a comissão completou o projeto apresentando um conjunto de parâmetros denominados *geoindicadores* que são definidos como:

“[...] medidas (magnitudes, frequências, taxas e tendências) de processos ou fenômenos geológicos que ocorrem em períodos de 100 anos ou menos, na – ou próximo à – superfície terrestre, sujeitos a variações significativas para a compreensão das mudanças ambientais rápidas” (IUGS, 1996, p. 1).

Entre 1992 e 1996, o grupo de trabalho da COGEOENVIRONMENT compilou um inventário norteador com uma lista de checagem de indicadores ambientais. Nesta lista foram identificados 27 indicadores para uso no monitoramento e avaliação de mudanças ambientais de áreas terrestres e costeiras em curto prazo

(IUGS, 1996). A aplicação da metodologia consiste na seleção de indicadores que reflitam as condições de um determinado sistema, ou seja, a lista de parâmetros a serem avaliados deve ser modificada conforme as especificidades do ambiente em que será aplicada a análise e as necessidades do estudo (BERGER, 1997; BUSH et al., 1999). Os indicadores selecionados dependerão do tipo de análise e das condições previamente identificadas por meio de levantamento de dados, monitoramentos e observações em campo.

Os geoindicadores podem ser utilizados na avaliação de eventos extremos ou de processos graduais em um intervalo menor que 100 anos (IUGS, 1996). A aplicação desta ferramenta de análise ambiental é ideal para avaliações rápidas de sistemas terrestres e costeiros, com pequena frequência de dados e com custo relativamente baixo (BUSH et al., 1999). Os indicadores selecionados podem descrever processos naturais e suas trocas ou a relação destes com intervenções antrópicas que alteram os processos físico-naturais (IUGS, 1996) constituindo assim um método integrador e não limitado a fatores biológicos e/ou geológicos.

Em ambientes costeiros, a seleção de indicadores pode contemplar parâmetros como: posição da linha de costa, configuração de dunas, elevação do terreno, taxa de ocupação, entre outros (SOUSA et al., 2012). A avaliação através de indicadores, segundo Bush et al. (1999), também pode auxiliar na identificação de áreas em risco, ou seja, porções espaciais onde existe tamanha vulnerabilidade que a probabilidade de que sua instabilidade, devido a intensidade dos processos atuantes, traga perigo à ocupação (VEYRET, 2007).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. Localização e breve histórico dos balneários

A área de estudo (figura 01) compreende os Balneários Querência e Atlântico Sul, localizados aproximadamente nas coordenadas $32^{\circ} 12' 21''$ S e $052^{\circ} 10' 56''$ W, ambos situados no Município do Rio Grande, litoral médio do Estado do Rio Grande do Sul de acordo com o GERCO-RS (FEPAM, 2012); e Balneário Hermenegildo, localizado aproximadamente nas coordenadas $33^{\circ} 39' 53''$ S e $053^{\circ} 15' 34''$ W, que faz parte do Município de Santa Vitória do Palmar, litoral sul do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2012).

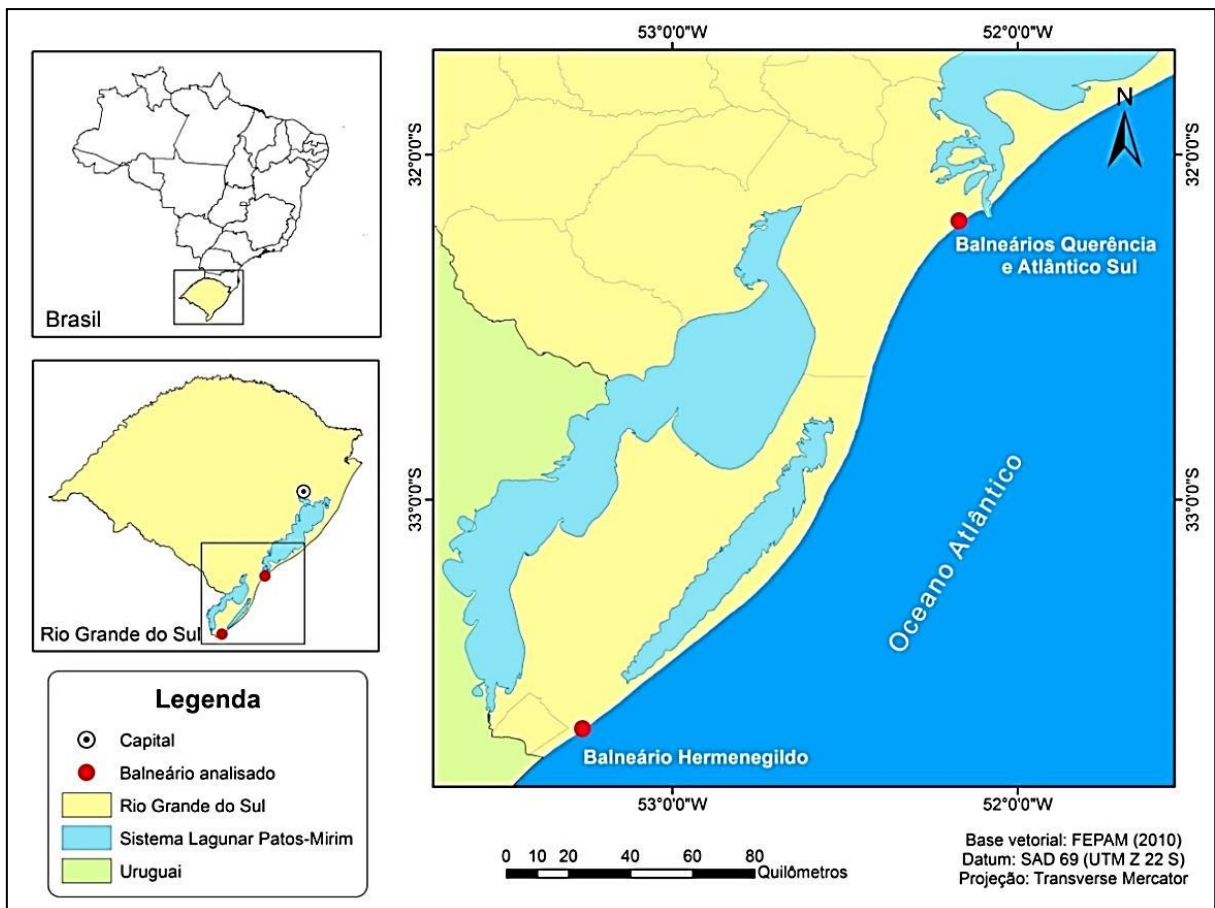


Figura 01: Mapa de localização dos balneários analisados.

Os Balneários Querência e Atlântico Sul estão aproximadamente a 25 quilômetros de distância da sede do Município do Rio Grande e tem como principais vias de acesso a RS-734, seguida da Avenida Rio Grande e Avenida Atlântica. Ambos balneários fazem parte de um contexto maior visto que estão inseridos no

núcleo urbano denominado Balneário Cassino que compõe o 1º Distrito Municipal (figura 02).

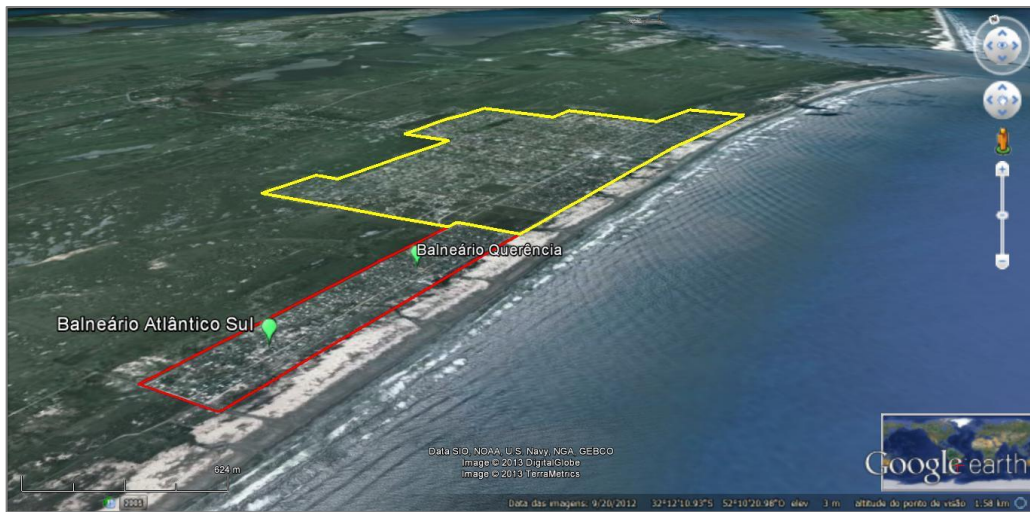


Figura 02: Delimitação da área urbanizada do Balneário Cassino (perímetro amarelo e vermelho). Destaque para o Balneário-Querência e Atlântico Sul (apenas o perímetro vermelho). Fonte: Google Earth, 2013.

Dada à condição de proximidade e relação de seus componentes físico-naturais e urbanos, estes dois balneários foram analisados de maneira conjunta constituindo uma única área de estudo e tratados neste trabalho a partir daqui como Balneário Querência-Atlântico Sul. A nomenclatura *balneário* foi adotada para descrever esses loteamentos com base na distinção setorial do Plano de Manejo de Dunas Costeiras do Município do Rio Grande (PMRG, 2006) e do Mapa de ações do Plano de Manejo (figura 03) elaborado pela Prefeitura Municipal em conjunto com o Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental – NEMA (2008).



Figura 03: Mapa de planejamento das ações do Plano de Manejo de Dunas Costeiras do litoral do Município do Rio Grande – Praia do Cassino. Fonte: NEMA, 2008.

A ocupação do núcleo urbano atualmente conhecido como Balneário Cassino, anteriormente Balneário Vila Siqueira, tem origem na última década do século XIX com a abertura da estação de hotelaria após a concessão de exploração de jogos (PMRG, 2012). Nos primeiros anos do século XX houve a comercialização de lotes e imóveis, o que alavancou o processo de ocupação. Com a proibição dos jogos de azar e a expansão dos loteamentos, o balneário Cassino foi se consolidando com a chamada “segunda moradia” ou residência de veraneio para os moradores de Rio Grande e região, além de figurar como um litoral de apelo turístico para os visitantes.

Lélis (2003) aponta que o Balneário Cassino entre os anos 1947 e 2000 aumentou sua área urbana cerca de oito vezes, o que é percebido com maior intensidade na faixa próxima ao campo de dunas e nas extremidades do balneário. O autor ainda destaca que grande parte das dunas que formavam o sítio histórico do Balneário Cassino foram retiradas na década de 1970 para o uso em aterros sobre banhados e áreas de marismas. Esses aterros tinham como objetivo principal sustentar a estrada da Barra e o Distrito Industrial (LÉLIS, 2003). Foi necessário um plano de recuperação iniciado na década de 1980 para que as dunas frontais pudessem se reestabelecer e o crescimento urbano se mantivessem relativamente distante da praia a partir de diretrizes de uso e ocupação (NEMA, 2008).

Os loteamentos localizados nas extremidades do Balneário Cassino são frutos da expansão contemporânea do núcleo urbano. A urbanização ao sul do setor central, correspondendo aos loteamentos Querência e mais recentemente Atlântico Sul, é exemplo de novas ocupações que originalmente não faziam parte do planejamento oficial do Município do Rio Grande. Essa porção do Balneário Cassino apresentou um incremento populacional vigoroso na última década, partindo de 1.308 habitantes em 2000 para 1.943 habitantes em 2010 (IBGE, 2012), um crescimento de 48,5%.

O Balneário Hermenegildo está situado a aproximadamente 20 quilômetros de distância da sede Municipal de Santa Vitória do Palmar. A principal forma de acesso ao balneário se dá pela rodovia BR-471, seguida da rodovia RS-833 e Avenida Alameda das Acácias. O balneário faz parte do 6º Distrito Municipal, conhecido como Distrito Atlântico. O início da ocupação do Balneário Hermenegildo data da última década do século XIX, mas só partir dos anos 1970 é que o processo de

urbanização se consolidou com a criação oficial em 1969 do 6º Distrito de Santa Vitória do Palmar (PMSVP, 2009). As décadas de 1950 e 1960 foram marcadas pela expansão da área ocupada, com o aterramento de lotes e vias com saibro, melhoramento do acesso ao balneário (estrada principal), fixação das dunas da planície arenosa através do plantio de acácias e implementos infraestruturais como água potável e energia elétrica (TEIXEIRA, 2007).

Com a intensificação das áreas de urbanização à beira mar, foram observados os primeiros problemas referentes à retrogradação da linha de costa (TEIXEIRA, 2007). A faixa de maior crescimento da ocupação é exatamente aquela estabelecida sobre o antigo cordão de dunas frontais (figura 04), área esta com um predominante processo erosivo que expõe as edificações ao risco devido a constante retirada de sedimento, o que levou nas últimas décadas à destruição de diversas moradias.

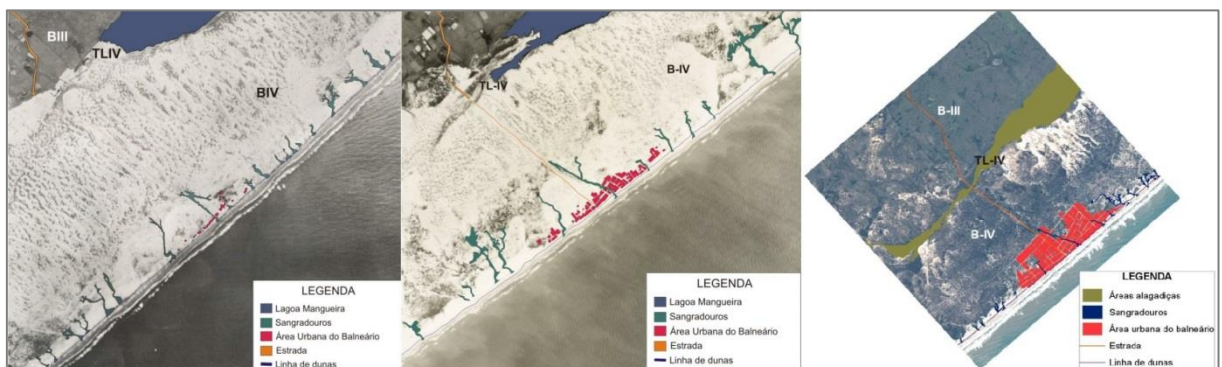


Figura 04: Evolução da área urbana do Balneário Hermenegildo (em vermelho) a partir de imagens fotogramétricas de 1947, 1964 e imagem de satélite de 2005. Fonte: Koerner, 2009.

Com o passar dos anos e a destruição de praticamente toda a primeira faixa de edificações defrontantes a praia, houve a iniciativa por parte dos proprietários de construir barreiras de proteção, que são estruturas pontuais de mitigação dos processos de retração da linha de costa utilizando materiais de natureza diversa, tais como: muros de alvenaria, estaqueamentos de madeira e pneus, sacos de areia e concreto, blocos de rochas (enrocamento), dentre outros. O risco iminente de destruição do patrimônio construído próximo à praia, a desvalorização imobiliária e a descaracterização cênica da orla promovida pelas estruturas de contenção são alguns dos aspectos negativos que se estabelecem no balneário (ESTEVES & SANTOS, 2001).

Os dados demográficos mostram que mesmo com um histórico de ocupação com mais de um século, a população fixa/anual do balneário é pequena. Isso possivelmente se deve ao fato do Hermenegildo ainda manter a característica de “casas de veraneio” ou segunda residência (ESTEVES & SANTOS, 2001). A última década apresentou um incremento populacional significativo de 11%, partindo de 477 habitantes e chegando aos atuais 530 segundo os dados do IBGE (2012), crescimento que é refletido também na expansão da ocupação no balneário durante o mesmo período.

4.2. Geologia e geomorfologia regional

A geologia da Província Costeira do Rio Grande do Sul está desenvolvida sobre uma margem continental do tipo passivo, com presença de planícies costeiras, sistemas lagunares e cordões litorâneos, que são marcas da evolução da costa brasileira (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995). São dois os elementos estruturais que compõem a Província Costeira do Rio Grande do Sul: o embasamento cristalino e a Bacia de Pelotas.

O embasamento é caracterizado pelo Escudo Sul-Riograndense e Uruguaio, composto por formações rochosas cristalinas Pré-Cambrianas e por sequências sedimentares e vulcânicas Paleozóicas e Mesozóicas da Bacia do Paraná, sendo estas rochas a fonte de sedimentos da Bacia de Pelotas (CALLIARI, 1998). A denominação Bacia de Pelotas define uma ampla bacia marginal aberta preenchida por sedimentos terciários e quaternários. Com base nessa estruturação, a Província apresenta dois grandes compartimentos geomorfológicos: das Terras Altas e das Terras Baixas.

A partir da dinâmica costeira e de ações intempéricas, os sedimentos provenientes da dissecação das Terras Altas acumulam-se nos terrenos mais baixos em um diversificado arranjo de depósitos transicionais e marinhos. Dentre as formações deposicionais das Terras Baixas, destacamos a Barreira Múltipla-Complexa, que corresponde a uma extensa faixa de terra alongada composta por um conjunto de três sistemas do tipo laguna-barreira que foram somados à planície costeira no decorrer dos últimos três grandes ciclos de variação do nível do mar (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995).

A barreira IV (figura 05) é o mais recente sistema deposicional do tipo laguna-barreira da Província Costeira do Rio Grande do Sul, tendo o seu desenvolvimento durante o período holocênico como consequência da última grande transgressão pós-glacial (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2005). Esta barreira foi instalada no pico máximo transgressivo onde nível do mar alcançou aproximadamente cinco metros acima do nível atual na região costeira do Rio Grande do Sul.

A alta disponibilidade de sedimentos arenosos presentes na plataforma continental interna e a fase prográdante que se seguiu durante o período regressivo, proporcionou a formação de uma barreira constituída essencialmente de areias praias e eólicas. Essa progradação se desenvolveu através da construção de cordões litorâneos regressivos que podem ser observados ao sul da cidade de Rio Grande (VILLWOCK; TOMAZELLI,1995). As areias praias desta barreira são quartzosas e de granulação fina a muito fina, apresentando também areias e cascalhos bioclásticos que são importantes constituintes dos sedimentos no trecho situado entre Rio Grande e Chuí (CALLIARI; KLEIN, 1993).

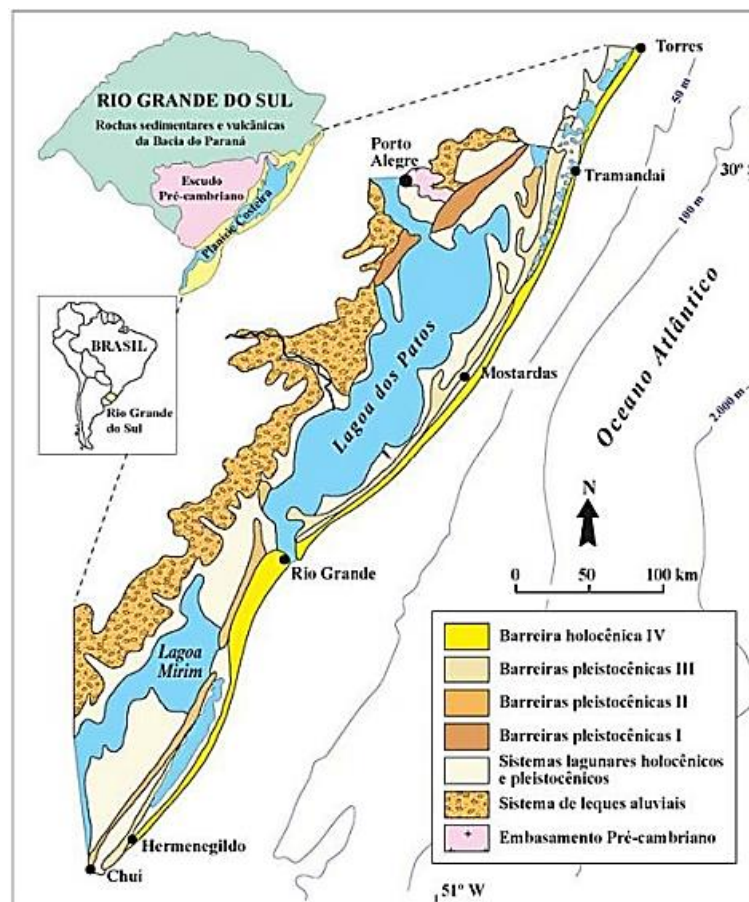


Figura 05: Configuração da Província Costeira do Rio Grande do Sul. Fonte: Tomazelli; Villwock, 2005.

A Barreira IV possui um campo de dunas bem desenvolvido, com largura variável e se estende praticamente ao longo de toda a linha de costa. O sistema de dunas costeiras do Rio Grande do Sul possui gênese e fisiografia semelhante, fruto dos processos transgressivos-regressivos do período holocênico associado ao abundante aporte de sedimentos originários do terraço marinho adjacente e da ação eficiente dos ventos (SEELIGER, 1998). As dunas livres, predominantemente do tipo barcanóide, migram no sentido SW em resposta aos ventos de alta energia provenientes de NE (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995).

Para Seeliger (1998) a fisiografia das dunas da região são influenciadas diretamente pelo transporte sedimentar, ação dos ventos e composição vegetal, elementos que agem na configuração, evolução e estabilidade das dunas. Neste contexto, as especificidades morfodinâmicas das praias se destacam, pois Querência-Atlântico Sul se beneficiam do estágio morfodinâmico dissipativo da praia do Cassino, de perfil praiado largo e dunas bem formadas, enquanto a praia do Hermenegildo apresenta estágio morfodinâmico intermediário a dissipativo, com presença de areias médias e menor largura de praia, refletindo na composição das formações dunares (figura 06).

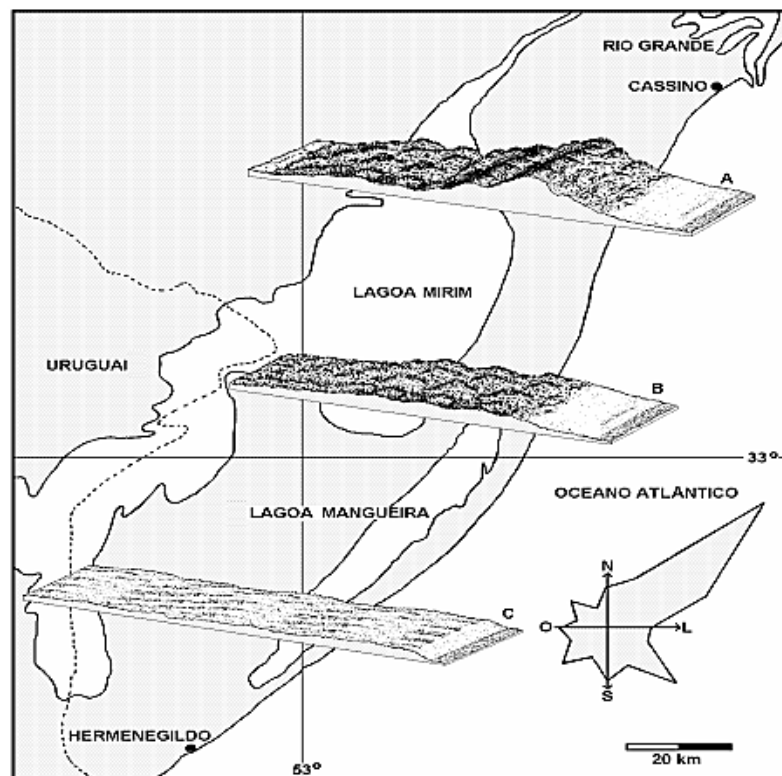


Figura 06: Fisiografia típica das dunas costeiras da região analisada. Dunas frontais A; dunas “hummock” B; e planos arenosos C. Fonte: Seeliger, 1998.

Dillenburg (2005) aponta que mesmo apresentando certa homogeneidade com relação a seus depósitos costeiros, a barreira IV apresenta certa heterogeneidade, visto que coexistem áreas de barreiras de natureza transgressiva e regressiva (figura 07). O autor ainda destaca que a linha de costa do Rio Grande do Sul é suavemente ondulada com reentrâncias na forma de concavidades/embaixamentos e saliências/projeções. Essa condição é proveniente do balanço de sedimentos positivo e negativo, respectivamente, prevalente em uma escala geológica na costa do Rio Grande do Sul (DILLENBURG, 2005).

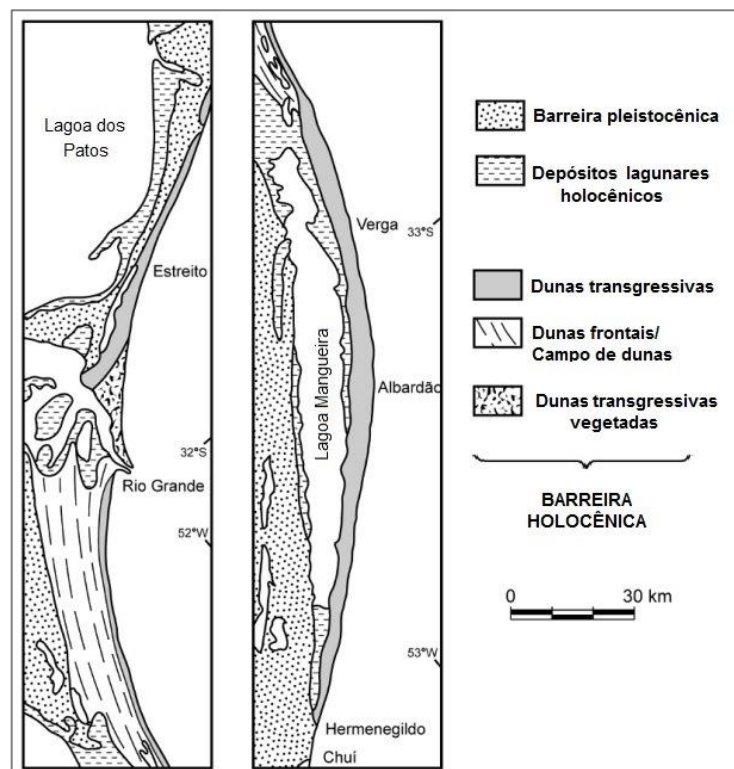


Figura 07: Província Costeira do Rio Grande do Sul com destaque para os embaixamentos e projeções da costa. Fonte: adaptado de Dillenburg & Hesp, 2009.

Dillenburg et al (2005) identificam a existência de uma correlação entre sinuosidade da linha de costa, o tipo da barreira e a topografia da plataforma continental adjacente. As barreiras erosivas foram identificadas em locais onde a curvatura é convexa e a plataforma adjacente é inclinada e estreita. Já as barreiras acrescidas foram identificadas nos locais onde a forma da costa é côncava e a plataforma adjacente larga e com declividade suave.

4.3. Clima regional e morfodinâmica costeira

O clima da Província Costeira do Rio Grande do Sul é marcado pela proximidade da Convergência Subtropical e pela influência estabilizadora do extenso sistema lagunar Patos-Mirim. Segundo Klein (1998) tais elementos imprimem uma característica temperada-quente à região costeira e, segundo a distribuição de fauna e flora, a área é classificada como uma zona de transição biogeográfica temperada-quente. A temperatura média anual varia entre 19°C e 17°C no norte e no sul da região, respectivamente, e as médias mensais mais baixas e mais altas variam entre 13°C em julho e 24°C em janeiro. A média pluviométrica anual fica entre 1200-1500 mm, com variações anuais relacionadas, principalmente, ao padrão e frequência da passagem de frentes frias (KLEIN, 1998). O autor ainda destaca que no Atlântico Sudoeste as variações interanuais na precipitação, com períodos de chuvas intensas ou secas prolongadas, parecem ser consequência dos efeitos do ciclo El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre o clima global (KLEIN, 1998).

Um componente de destaque na região é a ação dos ventos na morfologia, o qual não se resume a associação com ondas e correntes. A elaboração das paisagens litorâneas tem a ação dos ventos como efetivo agente morfológico, através dos movimentos de saltação ou arraste. Os ventos de direção mar → continente carregam grande quantidade de areia que formam os campos de dunas cuja orientação retrata a direção dos ventos dominantes (VILWOCK; TOMAZELLI, 1995). A origem dos ventos da costa do Rio Grande do Sul está relacionado, basicamente, a dois sistemas de alta pressão que atuam na região: o Anticiclone do Atlântico Sul e a passagem de sistemas frontais polares (KLEIN, 1998). Os ventos mais frequentes provêm do quadrante NE, principalmente na primavera e no verão, já os ventos S-SW possuem frequência secundária e são mais recorrentes no inverno, normalmente associados a frentes frias e tempestades (CALLIARI; KLEIN, 1993).

Calliari et al. (2010) apontam que a sobre-elevação do nível do mar acima da maré astronômica prevista está associada a ação de tempestades, sendo que sua ocorrência causa significativa perda de sedimento na costa. Esse fenômeno é denominado maré de tempestade e é amplificado quando coincide com o pico da preamar de sizígia. Segundo Calliari et al. (2010), o risco de inundação pela ação da água do mar em costas de topografia baixa é uma constante em diversos pontos no

litoral do Rio Grande do Sul. A origem destas ocorrências está relacionada a diferentes fatores, destacamos:

“[...] o empilhamento de água junto à zona costeira em função efeito do transporte de *Ekman* agindo sobre os ventos fortes soprando sobre longas pistas oceânicas, paralelas à costa, e de direção SW para o caso da costa do RS; a baixa pressão barométrica geralmente associada ao centro de baixa pressão, que aumenta o nível do oceano; o aumento da altura da arrebentação, que resulta também no aumento do nível do mar na zona de surfe interna e fatores adicionais, tais como a duração do vento, presença ou não do ciclone associado e a velocidade de seu deslocamento, trajetória e distância da costa” (CALLIARI et al., 2010, p. 54).

Calliari & Klein (1993) caracterizam a região em questão como um exemplo de costa dominada por ondas. Conforme Villwock & Tomazelli (1995) a ação das ondas é o agente dominante na hidrodinâmica da Província Costeira do Rio Grande do Sul, pois a configuração morfológica da linha de costa praticamente retilínea, com mínimas irregularidades e aberta, a deixa diretamente exposta à energia das mesmas. Para Calliari & Klein (1993) as mudanças temporais na configuração dos perfis indicam uma tendência à bisazonalidade, com predominância do perfil de acreção entre novembro e março, e perfil de erosão entre abril e outubro como resultado do regime de ondas dominantes na costa do Rio Grande do Sul.

“[...] a presença de energia de ondas moderada durante a primavera e verão caracterizaria a presença do perfil de acreção durante este período. Superimposto neste padrão de comportamento morfodinâmico, verifica-se uma diferenciação bisazonal, com predominância do perfil de acreção entre novembro e março e perfil de erosão entre abril e outubro, em função da sazonalidade do clima de ondas na costa do Rio Grande do Sul” (CALLIARI; KLEIN, 1993, p. 55).

Calliari et al. (2006) classificaram a macro e meso morfologia da costa do Rio Grande do Sul como cordão litorâneo largo associado a uma planície de cristas de praia. Para os autores, a variação na classificação modal das praias está relacionada a mudanças granulométricas. Embora apresentem o mesmo grau de exposição à dinâmica costeira, as praias do Litoral Sul apresentam maior variabilidade espacial devido a variações texturais dos sedimentos que as compõem. A ondulação, que corresponde às ondas mais regulares com períodos mais longos e menor esbeltes, provém do quadrante SE que associado à configuração de linha de costa com orientação SW-SE faz com que a deriva litorânea de sedimentos

resultante seja predominantemente na direção NE (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995). Esta ondulação tem como principal centro de geração o cinturão tempestuoso subpolar do Atlântico Sul.

As vagas, ondas irregulares de curto período e grande esbeltez resultante da ação de ventos locais, possuem preponderância de direção conforme os ventos oceânicos NE e E, característica de uma “Costa de Ondulação Leste” conforme denominado por Calliari & Klein (1993). Já as ondas de tempestade correspondem ao maior índice de energia hidrodinâmico a atingir a costa. Elas são fruto da ação de fortes ventos associados a tempestades (as já abordadas, marés de tempestade) e causam grandes impactos a morfologia litorânea, promovendo intensos processos erosivos e grande movimentação do material sedimentar junto à praia (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995). Este fenômeno é especialmente constatado na zona de arrebenção, onde as ondas dissipam sua energia e promovem a remobilização constante dos sedimentos (CALLIARI; KLEIN, 1993).

Com relação ao regime de marés, a costa do Rio Grande do Sul é classificada como de micromaré que tem como característica a pequena amplitude das marés astronômicas (menor que 2 metros) e secundárias quando associada à ação de agentes meteorológicos como ventos e pressão atmosférica (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995). Segundo os dados maregráficos, a amplitude média das marés do Rio Grande do Sul é inferior a 50 cm, o que é atribuído pela proximidade da costa ao ponto anfidrômico do Atlântico Sul somado a configuração de linha de costa (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995).

Outro componente da morfodinâmica costeira da região são os sangradouros; Esses cursos d'água desempenham papel importante na drenagem das planícies costeiras, escoando as águas pluviais das depressões dunares, banhados adjacentes e demais áreas alagadiças em direção à face praiar (FIGUEIREDO; CALLIARI, 2005). Essas feições são encontradas nas duas áreas analisadas neste trabalho, mas sua distribuição é variável ao longo da costa do Rio Grande do Sul, estando normalmente associado a períodos sazonais de intensa pluviosidade (canais intermitentes) o que ocasiona a desestabilização das dunas frontais por meio da abertura de lacunas e retirada de sedimentos interioranos, ao mesmo tempo em que os deposita na linha de costa (CALLIARI et al., 2010).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do presente trabalho foi constituído por uma sucessão de etapas que visaram à reflexão sobre os temas estudados, a análise e espacialização dos indicadores selecionados e a síntese dos resultados. A seguir são apresentados seis tópicos que abordam tais etapas:

5.1. Revisão bibliográfica e compilação de dados

Foi realizada uma revisão teórico-conceitual que permitiu uma melhor compreensão dos temas que compõem a análise. Foram consultados livros, artigos, dissertações, teses e legislações que tivessem como temas a questão ambiental no âmbito geomorfológico, os processos da morfodinâmica costeira, a aplicação de indicadores ambientais e o uso do conceito de vulnerabilidade. A compilação de dados consistiu-se no estabelecimento de uma revisão das informações sobre a área de estudo, em trabalhos previamente realizados com diferentes escalas e propostas, identificando assim os processos geomorfológicos atuantes e sua interface com a ocupação costeira. Os dados revisados, considerados relevantes para análise, foram apresentados no item 4 referente à *caracterização da área de estudo* e mais especificamente nos indicadores pertinentes do item 6, destinado aos *resultados e discussão*.

5.2. Delimitação do recorte espacial e trabalhos de campo

O recorte espacial de estudo foi delimitado a partir da escala cartográfica 1:5.000 sugerida para o estabelecimento de orla (MORAES; ZAMBONI, 2004). Foram escolhidos dois trechos de estudo: a área que compreende o Balneário Querência-Atlântico Sul, situado no Município do Rio Grande; e o Balneário Hermenegildo, no Município de Santa Vitória do Palmar. Essas áreas foram previamente vistoriadas, oportunidades estas onde foram definidos os traçados para os levantamentos topográficos (item 5.4) e seleção dos indicadores da lista de checagem (item 5.5). Os trabalhos de campo foram realizados entre os meses de setembro e outubro de 2012 com o objetivo de se obter dados topográficos para o Balneário Querência-Atlântico Sul. Para o Balneário Hermenegildo foram utilizados dados de campanhas realizadas em 2010-2011. Também foram efetuados registros fotográficos de feições e processos relevantes aos objetivos da pesquisa.

5.3. Elaboração da base cartográfica

A construção da base cartográfica por meio de arquivos *vetoriais* e *matriciais* teve por finalidade subsidiar a elaboração dos mapas temáticos. Fazem parte da base cartográfica, os vetores das delimitações físicas e políticas do Rio Grande do Sul, tais como limites municipais, entre outros, adquiridos por meio do site da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM, 2012). Também foram elaborados vetores específicos na escala 1:5.000 dos recortes de estudo a partir de imagens da superfície terrestre com alta resolução, tais como feições morfológicas (ex. campo de dunas, sangradouros) e de uso e ocupação do solo (ex. vias de circulação, edificações). Para identificação e construção destes vetores foram utilizadas oito imagens de satélites e uma imagem do sistema aerofotogramétrico ADAR 1000 (tabela 01).

Tabela 01: Relação de imagens/sensores utilizados.

Imagem/sensor	Resolução espacial (metros/pixel)	Ano de aquisição	Recorte espacial
Digital Globe*	1,0 m	2012	Querência/Atlântico Sul
Geoeye	0,5 m	2011	Cassino
Digital Globe *	1,0 m	2010	Hermenegildo
Quickbird	0,6 m	2009	Cassino
Quickbird	0,6 m	2007	Hermenegildo
Quickbird	0,6 m	2006	Cassino
Quickbird	0,6 m	2005	Hermenegildo
Digital Globe *	1,0 m	2002	Querência/Atlântico Sul
ADAR	1,1 m	2000	Hermenegildo

* imagens adquiridas através do software *Google Earth PRO* em formato TIFF.

O conjunto de imagens *Digital Globe* (2012, 2010, 2002) foi adquirido por meio da licença do software *Google Earth Professional*. Estas imagens foram exportadas no formato *Tagged Image File Format* (TIFF), extensão de maior qualidade disponível, o que lhe conferiu uma resolução espacial metros/pixel igual a 1,0 metros. A imagem *Quickbird* (2009) foi adquirida junto ao Laboratório de Gerenciamento Costeiro da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e a imagem *Quickbird* (2006) junto ao Laboratório de Topografia da mesma instituição. As demais imagens, *Geoeye* (2011), *Quickbird* (2007) e *Quickbird* (2005), foram adquiridas junto ao curso de Geoprocessamento do Instituto Federal do Rio Grande

do Sul (IFRS), Campus Rio Grande. A fotografia aérea do sistema ADAR 1000 (2000) foi adquirida junto ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG/FURG).

Com exceção do conjunto de imagens *Digital Globe*, as demais estavam previamente georreferenciadas e, para garantir a correspondência espacial do mosaico (JENSEN, 2009), todas as imagens foram corrigidas a partir da imagem de melhor resolução espacial, ou seja, com maior precisão para a coleta de pontos de controle (PC), a saber: imagem *Geoeye* (2011) para o recorte Querência-Atlântico Sul e *Quickbird* (2007) para o recorte Hermenegildo. Toda a base de dados, que inclui o levantamento com GPS geodésico, foi convertida para o sistema de referência SIRGAS2000 na projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM). O processamento dos dados foi realizado por meio dos softwares ArcGIS 10, ENVI 4.4, ERDAS 9.1 e Surfer 8. Para a elaboração do layout dos mapas temáticos, bem como convenções cartográficas utilizadas, foram consultados Martinelli (2007), Pavlopoulos et al. (2009) e Robinson et al. (1995).

5.4. Levantamento e tratamento dos dados topográficos

O levantamento topográfico teve como finalidade a obtenção de pontos com coordenadas x, y (posição) e z (altitude) distribuídos dentro dos recortes espaciais analisados. Os dados levantados serviram de base para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE). Esses dados respondem diretamente ao indicador *elevação do Terreno* (item 5.5.1.3) e contribuíram para a delimitação e interpretação dos indicadores *configuração de dunas* (item 5.5.1.2) e *distância média da faixa urbana* (item 5.5.1.5).

O levantamento foi efetuado através de GPS geodésico da marca *Leica* operando no modo *stop and go* com base fixa posicionada sobre Referência de Nível (RN) e estação móvel junto ao operador (figura 08). Esse método permitiu a aquisição das coordenadas com precisão planimétrica de 0,005 m e altimétrica de 0,02 m. Segundo Albuquerque (2013) a precisão do equipamento GPS geodésico é dada pelo código C/A e pelas portadoras L1, L2 e L2C. A base de dados topográficos consistiu de 1.510 pontos para o recorte Querência-Atlântico Sul e de 5.770 para o recorte Hermenegildo. Essa diferença na quantidade de pontos, mesmo tratando-se de recortes com valor de área aproximado, se deve ao fato de que o Balneário Hermenegildo já foi alvo de outros levantamentos topográficos

(KOERNER, 2009; ALBUQUERQUE, 2013), inclusive com a finalidade de se estabelecer um MDE (MAIA, 2011). Os pontos coletados em campanhas passadas foram incorporados a este trabalho para uma maior abrangência e distribuição da malha de pontos.

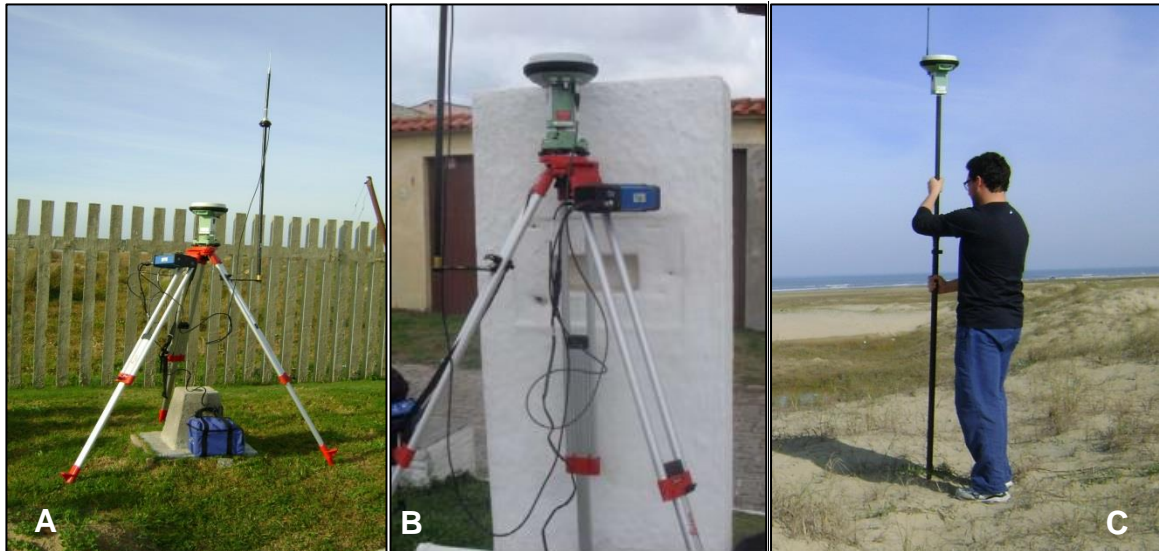


Figura 08: A – montagem do GPS geodésico sobre marco RN na estação CORSAN/Cassino; B – GPS geodésico sobre marco RN na Praça Central do Hermenegildo (Fonte: Albuquerque, 2013); C – coleta de pontos com antena móvel no modo *stop and go*.

No recorte Querência-Atlântico Sul foi utilizado como RN o ponto de apoio à rede altimétrica instalado no terreno de propriedade da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), localizado no Balneário Cassino, enquanto que no recorte Hermenegildo foi utilizado como RN à estação 1969A pertencente à rede altimétrica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tabela 02: Coordenadas das referências de nível.

Localidade	Tipo de marco	Latitude*	Longitude*
Cassino/CORSAN	RN de apoio à rede altimétrica	32° 11' 17" S	052° 09' 26" W
Hermenegildo/Praça	Estação da rede altimétrica do IBGE	33° 39' 55" S	053° 15' 36" W

* Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000.

Os levantamentos sobre o campo de dunas e sangradouro do recorte Querência-Atlântico Sul foram realizados na forma de oito perfis perpendiculares a linha de costa entre os meses de setembro e outubro de 2012 (figura 09). Para o recorte Hermenegildo, foram utilizados pontos coletados junto à base das estruturas

de contenção, escarpa erosiva (este último, quando não havia presença das estruturas) e nas vias de circulação, a partir de trabalhos realizados em levantamentos referentes aos anos de 2010 e 2011, que foram cedidos pelo curso de Geoprocessamento do IFRS – Campus Rio Grande (figura 09). Na área urbana de todos os balneários a coleta de pontos se deu nas vias de circulação pelos seguintes motivos: facilidade de acesso, limitação de 15° do ângulo de interrupção do sinal (ângulo de máscara) e/ou reflexão do sinal em obstáculos (multicaminhamento).

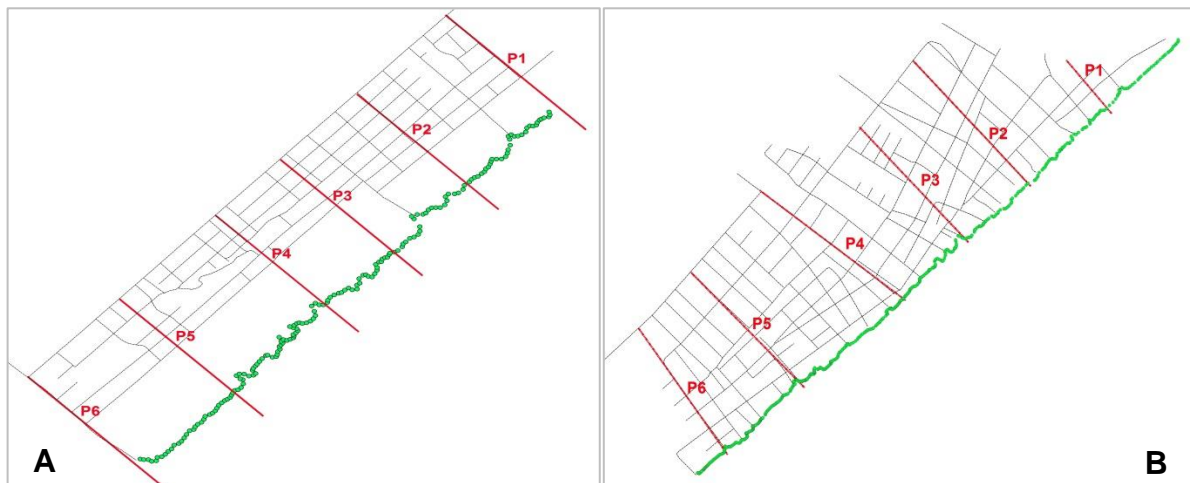


Figura 09: A – Distribuição dos perfis do levantamento topográfico para o recorte Querência-Atlântico Sul; B – Distribuição dos perfis do levantamento topográfico para o recorte Hermenegildo. Pontos verdes representam as coletas feitas na base das feições frontais (dunas, escarpas e estruturas de contenção).

De posse dos pontos levantados em campo, os dados foram inseridos em modelos geoidais locais para a obtenção da altitude ortométrica da coordenada Z. Para o recorte Querência-Atlântico Sul foi utilizado o valor de correção geoidal elaborado por Teixeira (2011) e para o recorte Hermenegildo o valor de correção geoidal apresentado por Albuquerque (2013), ambos a partir de nivelamento geométrico. Nesses modelos a altitude ortométrica (H) é obtida através da diferença entre a altura elipsoidal (h) medida pelo aparelho GPS e o valor de ondulação geoidal (N) estimado através do nivelamento, a partir da seguinte fórmula:

$$H = h - N \quad (1)$$

Com o modelo geoidal local e os dados levantados em campo foi possível estabelecer a altitude dos balneários em relação ao nível médio do mar e assim calibrar os três limiares de suscetibilidade com base em Maia (2011). Nesse

trabalho, o autor avalia a oscilação positiva do nível do mar associada à passagem de frentes no Balneário Hermenegildo, calculando o valor de elevação do nível do mar a partir de um modelo analítico de inundação que teve como componentes de entrada a velocidade de ventos (m/s), altura (m) e período (s) de ondas, elevação da maré astronômica (m) e elevação por pressão (m). Foram avaliados 16 eventos de alta energia ocorridos entre os anos de 1997 e 2008.

A classificação das cotas foi à mesma para os dois recortes, visto que para a validação do modelo analítico Maia (2011) utilizou os valores de elevação das marés meteorológicas monitorados por Parise et al. (2009) na praia do Cassino entre os anos de 2006 e 2007. Dos 16 eventos analisados por Maia (2011) em dez deles (63%) a elevação calculada não ultrapassou os 3 metros ficando entre as cotas 2 e 2,9 m. Em cinco (31%) a elevação calculada ultrapassou os 3 m e apenas em um dos eventos analisados (6%) a elevação calculada chegou a 5 m. Para a análise do recorte Querência-Atlântico Sul também foi consultado o trabalho de Parise (2007) sobre a circulação atmosférica regional associada a episódios de inundações a partir de eventos extremos.

Para a obtenção das curvas de nível foi elaborado um Modelo Digital de Elevação (MDE), que consiste em cotas altimétricas no formato *raster* (imagem digital) estruturado como uma matriz (VALERIANO, 2008). Os dados da altitude ortorretificada associados a coordenadas X e Y foram interpolados e distribuídos em uma matriz utilizando o método de krigagem (*Kriging*). A krigagem é um método interpolador que “calcula a cota de um ponto de interesse pela média ponderada das amostras de sua vizinhança, distribuindo os pesos de acordo com a variabilidade espacial” (VALERIANO, 2008, p. 76) da coordenada Z, determinada pelos dados geoestatísticos.

Os arquivos rasters resultantes da krigagem foram classificados em três gradientes, sendo consideradas áreas com maior suscetibilidade a eventos de alta energia como oscilação positiva do nível do mar e efeitos associados como inundações, àqueles terrenos estabelecidos em cotas inferiores a 3 metros. Áreas situadas entre as cotas de 3 e 5 metros são consideradas de suscetibilidade intermediária. Já os terrenos estabelecidos em altitude maior que 5 metros foram classificados como de menor suscetibilidade. Também foram construídos modelos

tridimensionais para uma melhor visualização da topografia e feições morfológicas presentes nos balneários.

5.5. Avaliação do estado do ambiente através de indicadores

Etapa do trabalho que constituiu na seleção dos indicadores geomorfológicos e antrópicos que foram posteriormente avaliados. Corresponde a uma série de parâmetros de checagem divididos em três níveis de suscetibilidade conforme os conceitos abordados no item 3. Os indicadores listados (tabela 03) foram escolhidos com base na metodologia proposta pela IUGS (1996), modificações aplicadas para o ambientes costeiros de Bush et al. (1999), nas adaptações feitas por Sousa et al. (2012) e refletem as especificidades das orlas marítimas, bem como o contexto urbano dos balneários analisados. A seguir são descritos cada um dos indicadores selecionados e a forma como foram classificados conforme seu grau de suscetibilidade ao dinamismo costeiro.

Tabela 03: Lista de checagem dos indicadores para conferência.

	Indicadores	Baixa susceptibilidade	Grau intermediário	Alta susceptibilidade
Ambiente costeiro →	Evolução da linha de costa	Processo deposicional com tendência à acreção. Ambiente progradante.	Predominância de processos deposicionais com processos erosivos alternados. Relativa estabilidade.	Processo erosivo com retração da linha de costa. Ambiente retrogradante.
	Configuração de dunas frontais	Presença de dunas frontais. Campo de dunas amplo e estável.	Presença de dunas incipientes e/ou esparsas. Campo de dunas descontínuo.	Ocorrência de dunas predominantemente escarpadas. Ausência de campo de dunas.
	Elevação do terreno	Elevação do terreno superior a 5 metros.	Elevação do terreno entre 3 e 5 metros.	Elevação do terreno inferior a 3 metros.
← Ambiente urbano	Estruturas de contenção costeira	Ausência de estruturas.	Estruturas de contenção compostas predominantemente por madeiras, pneus e sacos de areia.	Estruturas de contenção compostas predominantemente por muros de alvenaria, blocos de rocha, sacos de concreto.
	Distância média da faixa urbana	Média da distância da faixa urbana superior a 200 metros das feições costeiras.	Média da distância da faixa urbana superior a 50 metros e inferior a 200 metros das feições costeiras.	Média da distância da faixa urbana inferior a 50 metros das feições costeiras.
	Densidade da ocupação	Densidade menor que 30% da área total ocupada.	Densidade entre 30% e 70% da área total ocupada.	Densidade maior que 70% da área total ocupada.

Fonte: Adaptado de Bush et al., 1999 e Sousa et al., 2012.

5.5.1. Descrição dos indicadores e lista de checagem

5.5.1.1. *Evolução da linha de costa:*

A evolução da linha de costa é um indicador síntese do tipo de processo predominante em um determinado ambiente costeiro. Dada à influência multifatorial dos processos atuantes, a evolução da linha de costa é apontada por Garrison (2010) como o esquema classificatório mais útil para se analisar o comportamento da costa a eventos erosivos e deposicionais. Para chegar a esta classificação são investigados diversos fatores referentes ao comportamento morfodinâmico que se estabelece na costa, sendo o balanço sedimentar o principal ponto de análise. Em resumo, a classificação morfodinâmica de costa é dividida em erosivas e deposicionais, com estágios intermediários que oscilam entre os extremos (CALLIARI et al., 2003).

Nas costas erosivas predominam processos de remoção de material, onde o déficit sedimentar é maior que a deposição (GARRISON, 2010). Costas erosivas estão ligadas a fatores como aporte sedimentar negativo, associados a eventos de alta energia hidrodinâmica, incidência de ondas e orientação de linha de costa, dentre outros. Fatores antrópicos também podem influenciar os processos erosivos a partir de intervenções que promovam o encadeamento de fatores, como por exemplo, ocupações próximas à linha de costa (MUEHE, 2004).

Já as costas deposicionais apresentam processos de acreção e erosão alternados, ou em crescimento a partir da acreção acentuada que é resultado da taxa de acumulação positiva de sedimentos (GARRISON, 2010). A retenção e distribuição de sedimentos agem como uma camada protetora, resguardando a costa contra processos erosivos. As praias desses sistemas tendem a ser mais largas, com troca sedimentar favorecendo a progradação do terreno. Assim como as costas erosivas, costas deposicionais podem sofrer influência direta de intervenções antrópicas que aumentem o fluxo deposicional nestes ambientes, a partir de intervenções que alterem o fluxo deposicional de forma que haja maior acumulação de sedimentos (LOUZADA; NIENCHESKI, 2007).

Para a análise deste indicador foram consultados diversos trabalhos sobre os balneários analisados, com enfoque nos estudos da evolução da linha de costa da praia do Cassino e praia do Hermenegildo. Os resultados apresentados nos trabalhos de Lélis (2003), Lélis & Calliari (2004), Toldo Jr. (2005), Esteves (2006), Koerner (2009), Calliari et al. (2010), Koerner (2012) e Albuquerque (2013) forneceram as taxas médias anuais e a caracterização da evolução da linha de costa que respondem a lista de checagem.

Mesmo que exista um acelerado dinamismo em qualquer um dos processos apontados pelos autores, dadas às condições naturais do sistema costeiro, para fins de análise ambiental de orlas urbanizadas, a tendência a acresção está ligada aos mais baixos níveis de suscetibilidade. O ganho de terreno continental, no caso das costas deposicionais, favorece o aumento da faixa entre a linha de praia (área de maior dinamismo) e faixa urbana (área das edificações). As costas de deposição que se comportam como estáveis, onde foram constatados que os processos erosivos e deposicionais se alternam ao longo de sua evolução, neste caso estão inclusas no grau de suscetibilidade intermediário, pois podem oscilar entre os estágios acrescivos e erosivos, trazendo instabilidade à linha de costa. Já as costas que apresentam uma evolução predominantemente ligada à erosão, ou seja, onde existe a perda constante de terreno continental, são aquelas que apresentam o maior grau de suscetibilidade.

5.5.1.2. Configuração de dunas:

As dunas estão entre as principais feições que ocorrem no sistema costeiro. No caso das áreas estudadas, é o tipo de morfologia de maior ocorrência em área superficial ao longo da costa (SEELINGER, 1998). Basicamente, dunas costeiras são colinas de areia predominantemente fina acumuladas por intermédio da ação eólica e, muitas vezes, recobertas por diferentes gradientes vegetacionais (SUGUIO, 1992). Sua classificação pode ser tomada a partir de sua forma, orientação em relação à predominância dos ventos, mobilidade ou mesmo em referência ao padrão de ocorrência dentro do sistema dunar (CHRISTOFOLLETTI, 1980).

As áreas adjacentes às praias arenosas são ambientes ideais para o desenvolvimento das dunas costeiras, pois é onde existe um bom suprimento de

areia, depositada e selecionada pela ação das marés, juntamente com ventos oceânicos constantes (SEELIGER, 1998). Eventualmente, as dunas costeiras são submetidas a danos provocados pela ação erosiva dos processos hidrodinâmicos atuantes na costa de forma sazonal ou, em casos extremos, de forma contínua. A predominância de um sistema dunar está ligada a sua resiliência, que por sua vez é vinculada ao aporte sedimentar e a habilidade regenerativa da vegetação presente (CORDAZZO et al., 2006). A ação antrópica pode ser responsável pela desestabilização do ambiente dunar, por meio da supressão da vegetação e retirada de areia, ou pela promoção da mesma na forma de manejo que visem a conservação do ecossistema (NEMA, 2008).

Existem, basicamente, dois tipos de ocorrência de dunas na porção mais próxima a praia nas áreas estudadas: as dunas incipientes (ou embrionárias) e as dunas frontais estabelecidas (CORDAZZO et al., 2006). As dunas incipientes estão atreladas as maiores variações em curto prazo. Fatores como a variabilidade do transporte de areia, a resistência da vegetação aos altos índices de salinidade, o estresse físico promovido pela ação de ondas e marés, dentre outros, condicionam sua formação e permanência. No presente trabalho, a ocorrência de dunas incipientes não foi mapeada, não compondo a avaliação do indicador.

O segundo tipo são as dunas estabilizadas, também chamadas de dunas frontais. Conforme Hesp (2002), as dunas frontais “são cristas dunares arenosas vegetalizadas formadas nos setores mais próximos do mar das faixas de pós-praia” (HESP, 2002, p. 119). Essas feições, como o nome já expõe, estão dentro de sistemas mais estáveis, onde sua formação e permanência lhe conferem maior resistência às ações intempéricas. São menos suscetíveis aos processos sedimentares sazonais que as dunas incipientes e sua vegetação está mais distante da zona com maiores índices de salinidade e stress físico (CORDAZZO et al, 2006). A biomassa das dunas estabelecidas promove o enraizamento das colinas, conforme um desenvolvimento sucessivo de deposições de areia formando, segundo Cordazzo et al. (2006), uma verdadeira rede fixadora. A ocorrência de dunas frontais e campos de dunas estabilizados são o foco deste indicador.

Em termos ambientais, além de toda riqueza florística presente nos sistemas dunares costeiros, as dunas frontais desempenham um importante papel na

proteção das áreas à retroterra, principalmente aquelas ligadas a outros ecossistemas ou áreas urbanizadas (NEMA, 2008). O cordão de dunas, quando estável, é a feição costeira que efetivamente protege todas as outras feições que estão em sua retaguarda, sejam elas naturais ou construídas pela ação da sociedade, dos processos dinâmicos que se estabelecem na costa (NORDSTROM, 2010).

Sendo assim, para fins de classificação, as áreas analisadas que possuem dunas frontais expressivas e campo de dunas estável foram consideradas de baixa suscetibilidade a ação da dinâmica costeira. Áreas onde o cordão de dunas é formado, predominantemente, por feições inexpressivas, esparsas ou enclausuradas, foram consideradas de suscetibilidade intermediária, pois sua configuração debilita a função de proteção/amortecimento da costa, bem como dos habitats ecossistêmicos. Já as áreas onde as dunas frontais sofrem constantemente perda de seu quantitativo sedimentar, resultando em dunas predominantemente escarpadas, e áreas onde não existem dunas frontais, ou seja, trechos expostos diretamente à ação do dinamismo costeiro, foram considerados de alta suscetibilidade.

5.5.1.3. *Elevação do terreno*

A elevação do terreno diz respeito à altitude do terreno em relação ao nível médio do mar. O levantamento topográfico fornece dados altimétricos que auxiliam na caracterização morfológica da orla marítima e na identificação de áreas mais suscetíveis a oscilação do nível do mar. Para Bush et al. (1999) a elevação do terreno é um dos principais indicadores de suscetibilidade do ambiente costeiro a eventos de inundação. A ação das ondas e marés sob a linha de costa, que é fruto de fatores astronômicos e da interação oceano-atmosfera, promove o dinamismo responsável pela transgressão marinha em diferentes escalas e magnitudes.

Em curto prazo, as oscilações do nível do mar atingem as costas continentais com diferente grau de impacto. Para a região de estudo, Maia (2011) aponta a ação dos ventos como forçante primária dessa oscilação, seguida das marés astronômicas e da pressão atmosférica. Para o autor, os ventos intensos associados a uma ampla pista de geração/propagação de ventos promove um empilhamento de

água na costa chamado de maré meteorológica positiva, que é a principal causa de ocorrências de inundação nos balneários analisados. As marés que ultrapassam a linha de costa alcançam os terrenos interiores, em especial aqueles com cotas mais baixas. Áreas adjacentes a sangradouros, que são canais de drenagem que desembocam no mar, são mais suscetíveis aos impactos da inundação (MAIA, 2011), assim como as vias que cortam o cordão de dunas, pois devido à topografia baixa, estas feições agem como canais que conduzem a água do mar para o ambiente interior.

Com base em uma modelagem de fatores meteorológicos, oceanográficos e da elevação do terreno, Maia (2011) avaliou a suscetibilidade à inundação costeira no Balneário Hermenegildo. A partir de uma série histórica de dados meteorológicos e uso de levantamentos geodésicos, o autor traçou cenários de inundação no balneário com oscilações positivas do nível do mar nas cotas de 2 a 5 metros. De forma complementar, também foram consultados os trabalhos de Parise (2007) e Parise et al. (2009) referentes ao recorte Querência-Atlântico Sul.

Os resultados obtidos por Maia (2011) foram utilizados para calibrar os limiares de suscetibilidade do indicador *elevação do terreno* a partir dos seguintes critérios de classificação: áreas com elevação inferior a 3 metros são consideradas de alta suscetibilidade, sendo mais expostas ao dinamismo das marés meteorológicas sazonais e a um possível cenário de aumento do nível do mar. Áreas onde a elevação do terreno está entre as cotas de 3 a 5 metros são consideradas áreas de suscetibilidade intermediária, ainda dentro da faixa de ocorrência de sobre-elevação proposta por Maia (2011). E áreas onde a elevação ultrapassa os 5 metros são consideradas de baixa suscetibilidade, estando acima da cota máxima do modelo proposto em curto prazo.

5.5.1.4. Estruturas de contenção costeira:

Estruturas de contenção costeiras são tentativas de se estabelecer uma proteção mitigadora do intenso dinamismo que se estabelece em costas erosivas, sendo utilizadas há séculos (NORDSTROM, 2010). Essas obras podem ser de variados tipos, de quebra-mares e espigões que por meio da engenharia

proporcionam proteção para a orla marítima, ou mesmo obras mitigadoras locais como o uso de enrocamentos e revestimentos (KOERNER, 2012).

A ocorrência de *estruturas de contenção costeira* dentro dos recortes analisados se resume ao Balneário Hermenegildo, área onde se estabelece um forte processo erosivo. As estruturas de contenção estão presentes em praticamente toda a orla urbanizada deste balneário e não apresentam uma homogeneidade em sua implantação, forma ou mesmo na constituição do material utilizado, o que refletiu na classificação do indicador. Segundo Esteves & Santos (2001) e Korner (2009) essas obras não dispõem de planejamento e manutenção adequados, ou seja, são tentativas individuais de prevenir a perda patrimonial, mas carecem de um acompanhamento técnico especializado.

Para a análise das estruturas de contenção presentes no Balneário Hermenegildo, foram consultados os trabalhos de Esteves & Santos (2001) com a avaliação do impacto econômico sobre as ocupações e estruturas, Costi et al. (2007) e Costi & Calliari (2007) sobre a influência das estruturas na morfodinâmica praias, Teixeira (2007) com o monitoramento das estruturas e edificações a beira-mar, Koerner (2009) sobre a evolução da orla urbanizada e Albuquerque (2013) com trabalho sobre a variabilidade da linha de costa.

A partir desses trabalhos, o indicador *estruturas de contenção costeira* foi classificado da seguinte forma: foram consideradas de baixa suscetibilidade, as orlas onde não há ocorrência de estruturas, ou seja, onde sua ausência propicia a troca sedimentar e a evolução da linha de costa. Na perspectiva apresentada por Drew (2005), nessas áreas é possível o estabelecimento do equilíbrio dinâmico através da evolução morfológica da costa. A ausência de estruturas na orla pode estar vinculada a evolução progradante da costa ou mesmo a um período de estabilidade.

Foram classificadas como áreas de suscetibilidade intermediária as orlas que apresentam predomínio de estruturas de contenção que utilizam materiais de baixa resistência, como por exemplo, revestimentos e/ou estacas de madeira, pneus e sacos de areia. Nesses ambientes a troca sedimentar é temporariamente comprometida, mas não o suficiente para fixar a linha de costa. Já as classificadas como de alta suscetibilidade, são aquelas onde a mitigação do processo erosivo se

dá por meio de estruturas de contenção com maior resistência, como muros de alvenaria, enrocamentos com blocos de rocha, sacos com concreto e pneus concretados. Nessas áreas a fixação pontual da linha de costa traz consequências negativas frente ao dinamismo costeiro, expondo a ocupação através de projeções da costa e comprometendo a troca sedimentar, inclusive podendo agir sinergicamente com o processo erosivo.

Em todos os casos, a constituição dos materiais predominantes foi levada em consideração na ocorrência de estruturas mistas. Como observação, ressaltamos que este indicador, dentro da presente proposta, não está avaliando a competência das estruturas costeiras em proteger as edificações do risco iminente promovido pelo processo erosivo, e sim analisar qual é a contribuição dessas obras de proteção para um quadro de vulnerabilidade ambiental dentro do recorte analisado. A classificação em baixa, média e alta suscetibilidade leva em conta a predominância do tipo de estrutura de contenção presente na orla e não a ocorrência isolada de cada uma das estruturas.

5.5.1.5. *Distância média da faixa urbana:*

A ocupação nas proximidades imediatas da orla marítima tem contribuído com o elevado grau de alteração e deterioração da paisagem costeira (MUEHE, 2001). Muitos dos impactos frutos do dinamismo costeiro são absorvidos pela configuração natural das orlas (BRASIL, 2006). Nos casos onde a ocupação se estabelece muito próxima as praias, as edificações ficam diretamente expostas à dinâmica da mesma, como por exemplo, às variações sazonais provenientes das marés de tempestade, transgressão de dunas e mobilidade de praia ou, em larga escala, a oscilações do nível do mar. Além disso, a ocupação sobre as feições costeiras pode comprometer os processos de troca de sedimentos eólicos e/ou marinhos, provocando “desequilíbrio no balanço sedimentar e conseqüentemente na estabilidade de linha de costa” (MUEHE, 2001, p. 36).

Para que os efeitos da urbanização de orlas marítimas não comprometam a dinâmica do ambiente costeiro, são estabelecidos limites do uso e ocupação que promovam à proteção da zona costeira e a integridade das edificações próximas à linha de costa. No Brasil, o Decreto Federal nº 5.300 de 7 de Dezembro de 2004,

que regulamenta a Lei Federal nº 7.661 de 16 de Maio de 1988 institui limites de orla, sendo que para orlas urbanizadas devem ser observados a faixa limítrofe de ocupação de 50 metros contadas a partir da linha de preamar ou do limite final dos ecossistemas, tais como:

“[...] as caracterizadas por feições de praias, dunas, áreas de escarpas, falésias, costões rochosos, restingas, manguezais, marismas, lagunas, estuários, canais ou braços de mar, quando existentes, onde estão situados os terrenos de marinha e seus acrescidos” (BRASIL, 2004, p. 8).

Em ambientes costeiros não urbanizados essa faixa de proteção é ampliada de 50 para 200 metros, seguindo os mesmos critérios de limite de ecossistemas (figura 10).

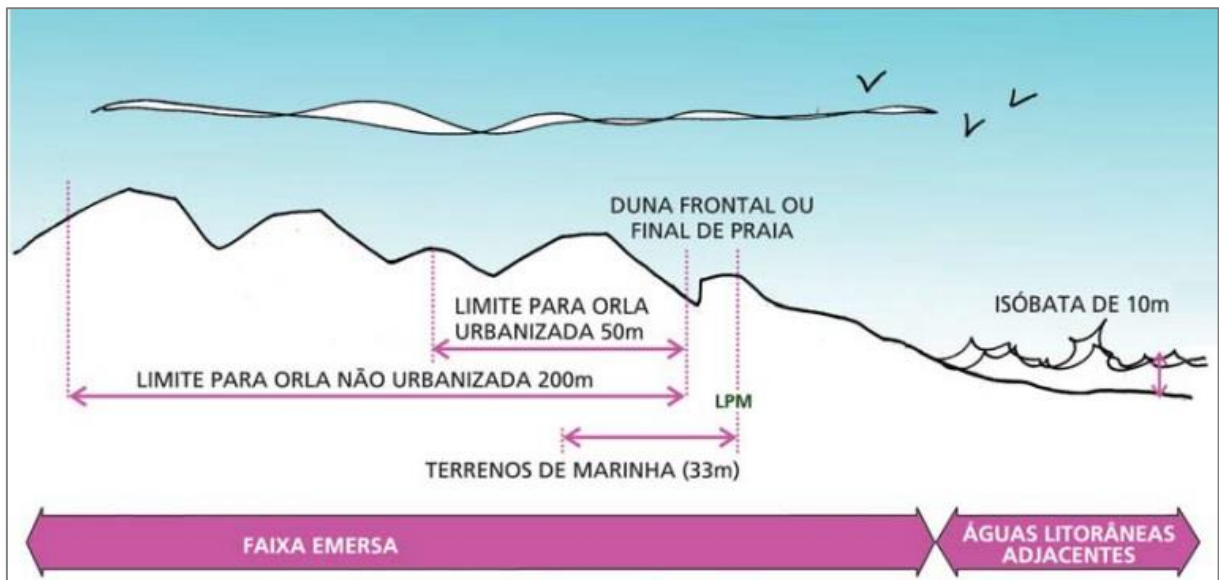


Figura 10: Esquema da delimitação de orla para fins de gestão costeira. Fonte: BRASIL, 2006.

Em muitos casos as ocupações costeiras no Brasil não se enquadram nos critérios estabelecidos pela legislação. Muehe (2004) aponta que existe a necessidade de adequar os limites da faixa de proteção da orla às especificidades regionais e locais das costas brasileiras. Em áreas onde a ocupação está consolidada, cabe mensurar a distância desta faixa de amortecimento/proteção e averiguar se ela atende aos critérios estabelecidos pela legislação. Oliveira (2009), ao avaliar a ocupação das praias da Ilha de Santa Catarina, qualificou a distância da faixa urbana nas orlas, chamando-a de recuo, a partir dos critérios propostos pelo Projeto Orla. Neste trabalho, o autor classificou a tipologia urbana dos balneários segundo os estágios de urbanização estabelecidos e a configuração do recuo.

Moller et al. (2012) aplicou o conceito de recuo aos balneários localizados entre a Barra do Rio Grande e a Barra do Chuí, mensurando e comparando a distância média da linha de ocupação através de imagens de satélite.

Para evitar relação com análises que estabelecem taxas de retração da linha de costa ou mesmo com estudos urbanos que também utilizam o termo “recuo” para índices urbanísticos, neste trabalho adotaremos a terminologia *distância média da faixa urbana* para nos referirmos a mensuração da distância entre o limite das feições costeiras e a faixa urbana situada diretamente em frente da linha de costa. Para o cálculo, foi utilizada a fórmula da distância euclidiana no plano cartesiano bidimensional:

$$D = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2}. \quad (2)$$

Onde:

D é a distância entre a feição costeira e a faixa urbana;

p são os pontos da feição costeira no plano;

q são os pontos das ocupações no plano;

x são os valores da coordenada Leste;

y são os valores da coordenada Norte.

As coordenadas X e Y das variáveis formam às linhas médias que correspondem à ocupação e à feição costeira presente no recorte espacial analisado. A linha de ocupação foi estabelecida a partir da média das coordenadas E e N das edificações mais próximas à linha de costa. Já a linha da feição costeira corresponde à ocorrência segundo as especificidades de cada balneário: Querência-Atlântico Sul, dunas frontais; Hermenegildo, base das estruturas de contenção que revestem a escarpa erosiva ou a própria escarpa no caso de trechos onde existem dunas. Depois de realizada a etapa de elaboração das linhas médias foi mensurada a distância entre as linhas, obtendo-se assim a *distância média da faixa urbana*.

Com base nos critérios estabelecidos pela legislação, o indicador foi classificado da seguinte forma: são consideradas de baixa suscetibilidade as

distâncias médias da faixa urbana superiores a 200 metros. As de suscetibilidade intermediária são definidas como maiores que 50 metros e inferiores a 200 metros de distância média. Já aquelas faixas urbanas que estão a uma distância média inferior aos 50 metros mínimos estabelecidos pela legislação, e conseqüentemente mais próximas da porção mais instável da orla, são consideradas de alta suscetibilidade aos processos costeiros.

5.5.1.6. Densidade da ocupação:

À medida com que os loteamentos se estabelecem e expandem suas áreas construídas, as alterações urbanas promovem diversas respostas geomorfológicas (ARAÚJO, 2007) contribuindo para a vulnerabilidade dos sítios a partir de perdas ambientais. A urbanização modifica os processos físico-naturais estabelecidos conforme seu estágio de desenvolvimento (NORDSTROM, 2000). Assim que a urbanização é consolidada, inicia-se o processo de concentração da área construída com o surgimento de edificações maiores e mais próximas que eliminam as áreas de amortecimento como terrenos vazios, áreas verdes e sistemas dunares (tabela 04).

No caso do ambiente costeiro, sob o ponto de vista geomorfológico, essas intervenções no terreno são mais significativas quando a densidade da ocupação se estabelece sobre o campo de dunas ativo e próxima a linha de costa, paisagens caracterizadas pelo dinamismo acelerado. Nesses casos, as alterações do fluxo sedimentar e na forma das feições costeiras podem acarretar em desequilíbrios que contribuem para um aumento da suscetibilidade aos efeitos de tempestades, alagamentos, inundações e/ou soterramento através da migração de dunas.

A densidade da ocupação é muitas vezes elaborada a partir das taxas de ocupação por lote ou mesmo por quadra (parâmetro urbanístico), mas devido à heterogeneidade do tamanho e forma das quadras dos balneários analisados foi adotado para este trabalho o conceito de densidade a partir do método estatístico *kernel* (*Kernel Density*). A densidade *Kernel* é um método não paramétrico de estimativa em função da densidade. A partir do cálculo de área de cada polígono vetorizado referente às ocupações, foi possível distribuir as células de densidade que correspondem a contribuição percentual de cada ocupação dentro de 1 m² de

raio, que é comparado ao valor total em área de todos os polígonos que fazem parte do recorte espacial.

Tabela 04: Estágios do desenvolvimento urbano e seus possíveis impactos negativos.

Estágio	Impacto negativo
1. Transição do estágio pré-urbano para o urbano inicial	
<ul style="list-style-type: none"> • Supressão da vegetação; • Corte das dunas; • Construção de edificações esparsas; • Perfuração de poços; • Construção de fossas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Degradação do campo de dunas; • Pressão sobre o lençol freático; • Contaminação do solo.
2. Transição do urbano inicial para o urbano médio	
<ul style="list-style-type: none"> • Retirada total da vegetação; • Adensamento das edificações; • Compactação do solo; • Desvio de canais de drenagem; • Efluentes não tratados lançados nos canais; • Terraplanagem das vias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Processos erosivos pelo escoamento superficial concentrado; • Redução da taxa de infiltração; • Elevação do lençol freático; • Presença de pontos de alagamento.
3. Transição do urbano médio para o completamente urbano	
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento dos pavimentos das edificações existentes; • Maior quantidade de água lançada nas vias (escoamento superficial); • Necessidade de sistema de escoamento artificial para as águas pluviais; • Necessidade de tratamento sanitário do esgoto; • Pavimentação das vias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução severa da taxa de infiltração. • Picos de alagamentos; • Comprometimento dos canais naturais de escoamento.

Fonte: Adaptado de Araújo, 2007 e Nordstrom, 2000.

Conforme os indicadores anteriores, a *densidade da ocupação* foi classificada na forma de três gradientes de suscetibilidade, baseados na distribuição das taxas propostas por Sousa (SOUSA, 2007): células com uma pequena densidade de ocupação, contribuição menor que 30% da área total, são classificadas como de baixa suscetibilidade. Representam, dentro dos recortes

analisados, áreas onde a ocupação é rarefeita e constituída por pequenas edificações. Células com contribuição maior que 30% e até 70% são consideradas de suscetibilidade intermediária e correspondem a áreas marcadas pela consolidação urbana. E finalmente, células com densidade maior que 70% são classificadas com de alta suscetibilidade, pois estão relacionadas às maiores concentrações em m² de área construída dentro do recorte.

5.6. Estimativa de crescimento da ocupação

O cálculo de crescimento da ocupação teve como objetivo estimar a expansão urbana dos balneários estudados por meio de um recorte temporal de 10 anos, próximo ao período atual, utilizando imagens de alta resolução da superfície terrestre. Mesmo que seja visível o crescimento e expansão da área ocupada apenas observando as imagens, o levantamento proporciona uma aproximação da real taxa de crescimento de cada balneário.

Foram selecionadas quatro séries de imagens para compor o mosaico do levantamento. Devido às limitações impostas com relação à aquisição de dados, as datas para cada balneário não são concomitantes. Para o Balneário Querência-Atlântico Sul foram selecionadas as imagens de 2002, 2006, 2009 e 2012. Para o Balneário Hermenegildo foram selecionadas as imagens 2000, 2005, 2007 e 2010. Conforme descrito no item 5.3, todas as imagens foram registradas, mas devido as diferentes resoluções espaciais (incluindo RMS maior que 0,5 metros) e a ausência de ortorretificação, este estudo foi tomado como uma estimativa.

O levantamento foi dividido em duas etapas. A primeira constituiu-se da vetorização de polígonos referentes a cada edificação que fosse possível distinguir nas imagens. Realizada a etapa de vetorização manual dos alvos, foram calculados os valores referentes à área de cada polígono (edificação), obtendo-se o quantitativo total em área (m²) da ocupação correspondente a cada imagem. Posteriormente os dados de área total foram tabulados em planilha eletrônica para se obter os gráficos de crescimento da área construída dentro da série temporal pesquisada e as áreas de expansão, observando a contribuição de cada imagem e tendo como base a mais antiga do mosaico.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item primeiramente serão apresentados os resultados da avaliação individual dos indicadores e, em seguida, a estimativa de crescimento da ocupação nos balneários em conjunto com a análise de vulnerabilidade. A parte final do capítulo é destinada a síntese da análise, onde é apresentada a contribuição de cada indicador para a vulnerabilidade dos balneários por meio de um quadro comparativo.

6.1. Avaliação dos indicadores

6.1.1. Indicador *evolução da linha de costa*

A retrogradação e progradação de costas arenosas com regime de micromarés “resultam principalmente da dinâmica entre a quantidade e o tipo de suprimento sedimentar, energia física das ondas e mudanças relativas do nível do mar” (TOLDO JR et al., 2005, p. 31). No caso do Balneário Querência-Atlântico Sul, além da influência estuarina, a intervenção antrópica correspondente aos Molhes da Barra exerce influência decisiva na dinâmica evolutiva da linha de costa, pois interfere no fluxo e deposição dos sedimentos, bem como na propagação de ondas.

Segundo Calliari & Klein (1993) a competência hidrodinâmica do canal, que lança no mar uma grande quantidade de material, atua como uma barreira para os sedimentos transportados. Lélis (2003) destaca que esse processo viabiliza um maior depósito de sedimentos e incide na variação positiva da linha de costa no trecho de praia ao sul da desembocadura lagunar. O autor analisou 12 quilômetros de costa a partir do Molhe Oeste em direção ao sul e identificou uma progradação média de 114,83 metros para o referido trecho de praia entre os anos de 1947-1975. Analisando o mesmo trecho com dados entre 1975-2000, o autor constatou uma redução no acréscimo, sendo que a progradação média calculada para este período foi de 36,67 metros.

Contabilizando as duas séries (um recorte temporal de 53 anos), Lélis & Calliari (2004) chegaram à taxa média de 4,10 metros/ano de acresção para o trecho entre os anos de 1947-1975, 1,46 metros/ano entre 1975-2000 e 3,22 metros/ano entre 1947-2000. Assim como Calliari & Klein (1993), Lélis (2003) também aponta à

influência imposta pela estrutura dos molhes na alteração do comportamento praial, sendo este responsável pela existência de uma “zona de sombra” na praia:

“[...] dependendo da direção de propagação da ondulação, um determinado trecho fica relativamente mais protegido do que o restante da costa. Além disso, processos de refração associados aos padrões de difração ocorrentes na extremidade do molhe, induz um padrão hidrodinâmico muito mais complexo e heterogêneo nesse setor da costa” (LÉLIS, 2003, f. 45).

Outros trabalhos realizados na Província Costeira do Rio Grande do Sul também distinguem trechos progradante ou zonas de acreção que colaboram com os dados apresentados por Lélis (2003) e Lélis & Calliari (2004). Esteves (2006), procurando identificar padrões na variação de linha de costa do Rio Grande do Sul em curto-termo através de levantamentos geodésicos entre os anos de 1997 e 2002, caracterizou o trecho onde se encontra o Balneário Querência-Atlântico Sul como uma faixa litorânea de evolução progradante com linha de costa em acreção (figura 11).

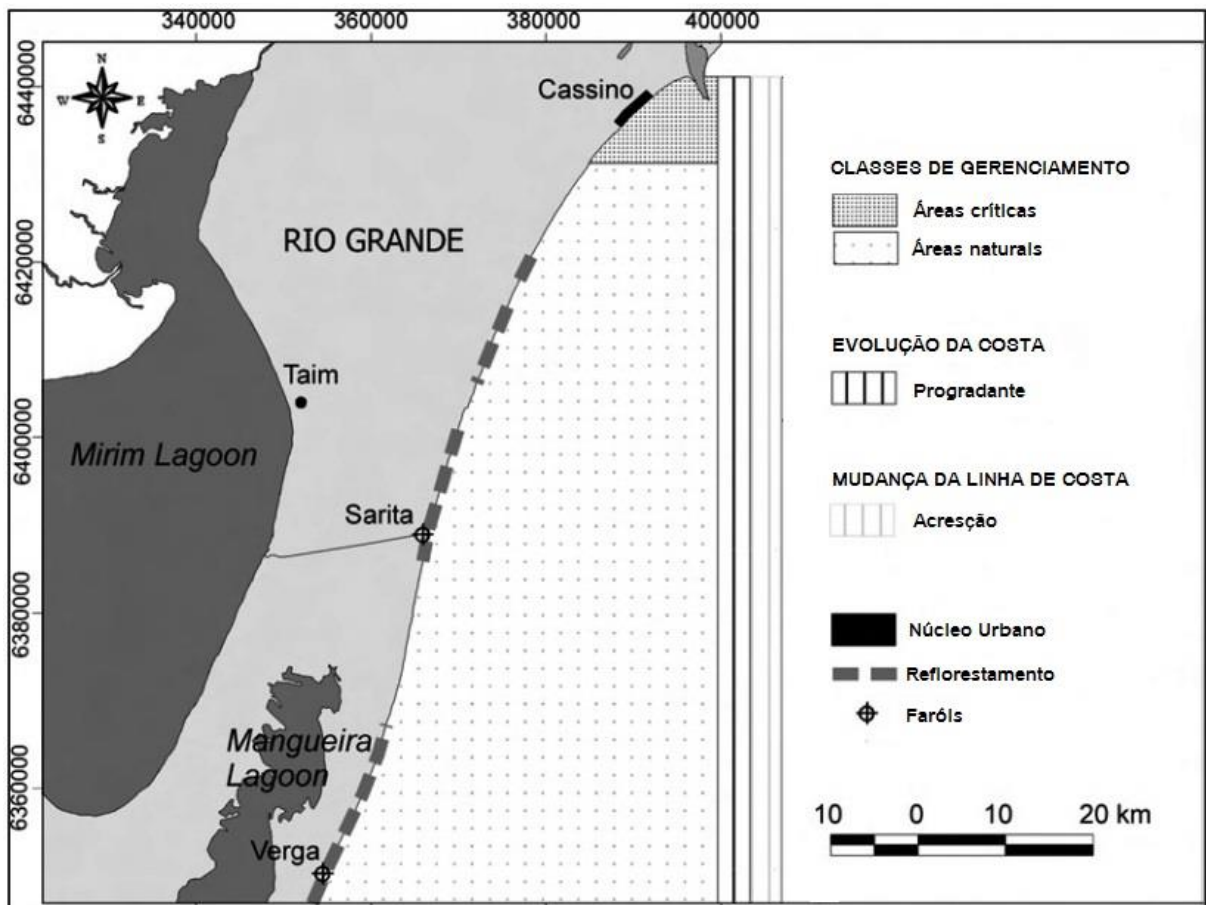


Figura 11: Evolução e tendência da variação da linha de costa na faixa litorânea entre o Molhe Oeste (Rio Grande) e o Farol do Verga (Santa Vitória do Palmar). Fonte: Esteves, 2006.

Em trabalho publicado no mesmo ano, Speranski & Calliari (2006), ao classificarem os padrões de erosão e acresção da linha de costa do Rio Grande do Sul por meio de modelagem de diagramas de refração de ondas, também identificaram uma zona de acresção próxima ao Balneário Querência-Atlântico Sul. Diferente da faixa de acresção delimitada por Esteves (2006) a ocorrência de acresção identificada por Speranski & Calliari (2006) é pontual e limitada, estando situada em meio a uma pequena faixa de erosão ao norte e de estabilidade ao sul.

Outra característica herdada pela descarga lagunar de sedimentos é indicada por Calliari et al. (2006). Os autores destacam que os menores valores texturais da granulometria da Província Costeira do Rio Grande do Sul são encontrados ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos (entre 2,75 e 2,5 ϕ) prolongando-se por 12 quilômetros (CALLIARI et al., 2006). Essa característica está ligada ao aporte de sedimentos de origem lagunar que, como destaca Calliari & Faria (2003), a partir da entrada de sistemas frontais vindos do sul do continente, com ventos intensos e direção constante, associados à grande pista de vento, favorecem o desenvolvimento de ondas com energia significativa para remobilizar o pacote de sedimentos finos armazenados na antepraia e zona de arrebenção. Os chamados *bancos de lama* são então lançados para o pós-praia durante os processos sucessivos de deposição e são gradativamente destruídos pela ação hidrodinâmica das ondas e marés (MARTINS et al., 2003). O restante do material é recoberto por areia pela ação eólica (CALLIARI & FARIA, 2003).

A partir da revisão de dados exposta nos trabalhos citados, a avaliação do indicador *evolução da linha de costa* para o Balneário Querência-Atlântico Sul foi considerada como de baixa suscetibilidade. O ganho de terreno continental é notoriamente identificado nas adjacências ao sul do Molhe Oeste desde 1941, através dos levantamentos efetuados pela antiga Diretoria de Obras do Porto e Barra do Rio Grande (CALLIARI; KLEIN, 1993), mas apenas com os trabalhos mais recentes, utilizando fotografias aéreas e dados geodésicos, foi possível estimar a extensão e as taxas de progradação da linha de costa na região. A dinâmica da desembocadura estuarina é um componente que exerce forte influência no tipo e estoque de sedimento encontrado no trecho progradante, agindo de forma sinérgica com os Molhes da Barra a partir do abrandamento da incidência de ondas (zona de sombra).

Já o trecho de praia onde está situado o Balneário Hermenegildo apresenta uma predominante escarpa erosiva que deixa amostra os depósitos turfáceos da face da praia. Calliari et al. (2010) atribuem como principal causa da erosão na praia do Hermenegildo, o processo convergente de energia de ondas de tempestade providas do quadrante sul com incidência oblíqua sobre a linha de costa. Essa concentração de energia tem relação com a refração sobre a batimetria irregular da antepraia (CALLIARI et al., 1998). Monitoramentos realizados na orla do balneário apontam uma estimativa de 2,5 metros/ano de taxa de recuo da linha de costa (CALLIARI et al., 2010). Em outro trabalho, é constata uma retrogradação mais acentuada para o trecho, com estimativas na casa de 4 metros/ano de erosão (TOLDO JR., 2005).

Koerner (2009) a partir da análise de fotografias aéreas e imagens de satélite, tendo como referencia a urbanização da orla marítima, calculou uma retração de 50 metros entre os anos de 1964 e 2005. Com base nesses dados o autor, em trabalho posterior, estimou em 1,22 metros/ano a taxa de erosão no Balneário Hermenegildo (KOERNER, 2012). Em pesquisa recente, Albuquerque (2013) utilizando um conjunto de técnicas de levantamentos geodésicos, geoprocessamento de fotografias aéreas, imagens de satélite, modelagem de séries históricas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e ventos, constatou uma taxa de retração média da costa de 1,68 metros/ano. O autor destaca que a partir da análise de um recorte temporal de 65 anos de dados, as maiores taxas de retração correspondem aos intervalos entre 1996-2000 (6,29 metros/ano) e 2005-2006 (5,25 metros/anos). Segundo Albuquerque (2013) esses picos de erosão coincidem com a ocorrência de El Niño de Oscilação Sul (ENOS) intenso, anomalias na TSM e ventos do quadrante SW.

Speranski & Calliari (2000) e Speranski & Calliari (2006) mostram que a praia do Hermenegildo está inclusa em uma extensa faixa de erosão localizado no extremo sul da costa do Rio Grande do Sul. A identificação dessa faixa de erosão também aparece nos trabalhos de Toldo Jr. et al. (2006), no Macro Diagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil (ZAMBONI; NICOLODI, 2008) e no trabalho de Esteves (2006) a partir do já citado mapeamento da variação da linha de costa no Rio Grande do Sul (figura 12).

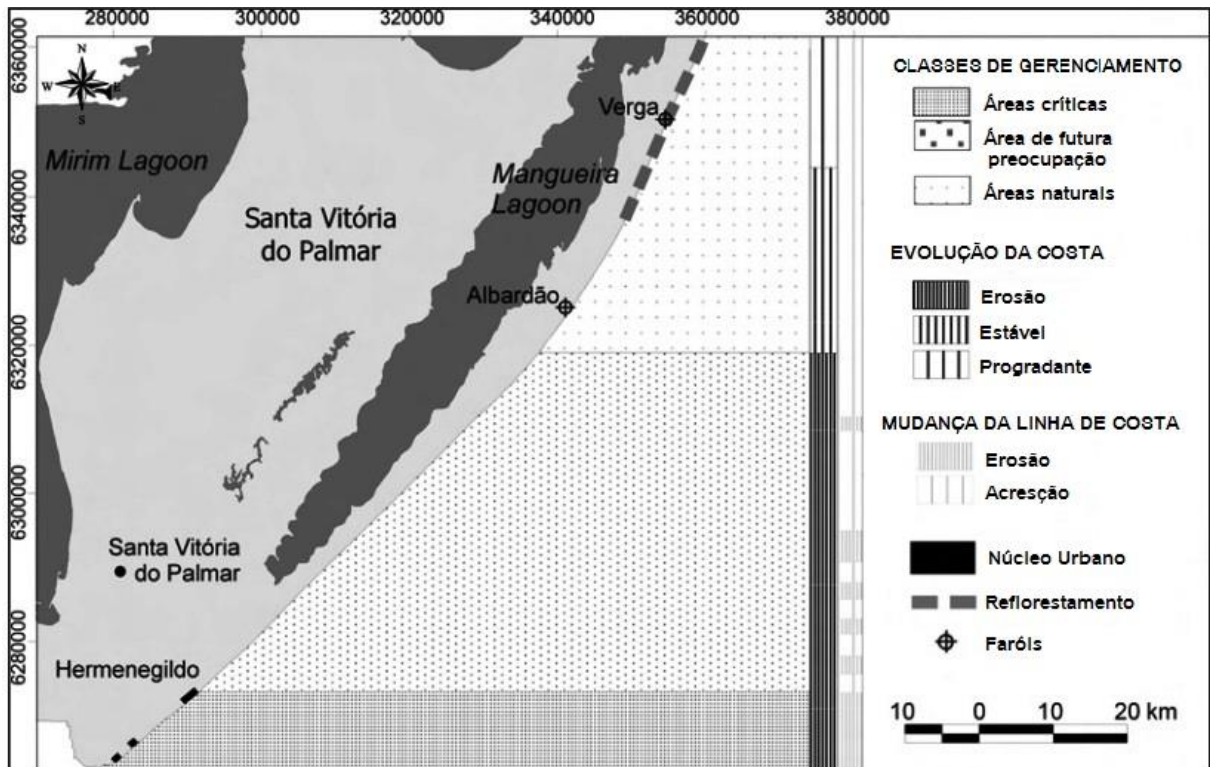


Figura 12: Evolução e tendência da variação da linha de costa na faixa litorânea entre o Farol do Verga (Santa Vitória do Palmar) e a Barra do Chuí (Santa Vitória do Palmar). Fonte: Esteves, 2006.

A orientação da costa é um fator importante com relação à variação da linha de costa (ESTEVES, 2006; DILLENBURG; HESP, 2009) como evidencia o trabalho de Speranski & Calliari (2006). Neste contexto, Esteves (2004) aponta que as menores variações de linha de costa ocorrem nos trechos referentes às projeções litorâneas. Albuquerque (2013) salienta que, no caso do Balneário Hermenegildo, a incidência de ventos SW possui maior impacto erosivo sobre a costa, sendo que essa ocorrência é “função da orientação da linha de costa do Rio Grande do Sul (NE-SW), a qual propícia o empilhamento de água na mesma” (ALBUQUERQUE, 2013, f. 69), a partir do efeito Coriolis e do gradiente de pressão do vento, conhecido como transporte de Ekman (CALLIARI et al., 2010; GARRISON, 2010).

Com base nos dados citados, o Balneário Hermenegildo foi avaliado como de alta suscetibilidade no que se refere à *evolução da linha de costa*. O processo de retração da costa no trecho analisado toma maiores proporções, pois existe uma expressiva ocupação próxima à linha de costa. As taxas mostram a acentuada perda de terreno e, assim como na avaliação do Balneário Querência-Atlântico Sul, esse indicador condiciona outros parâmetros avaliados (*configuração de dunas, estruturas de contenção e distância média da faixa urbana*).

6.1.2. Indicador *configuração de dunas*

O Balneário Querência-Atlântico Sul, nos seus 2.500 metros de faixa costeira, apresenta dunas frontais e campo de dunas estabelecido (figura 13). Segundo Seeliger (1998), naturalmente, o campo de dunas dessa porção da costa possui uma fisiografia típica de praias dissipativas, do tipo barcanóide com orientação a SW conforme a incidência predominante de ventos NE, seguidas de reverso com áreas depressionárias sazonalmente alagadiças.

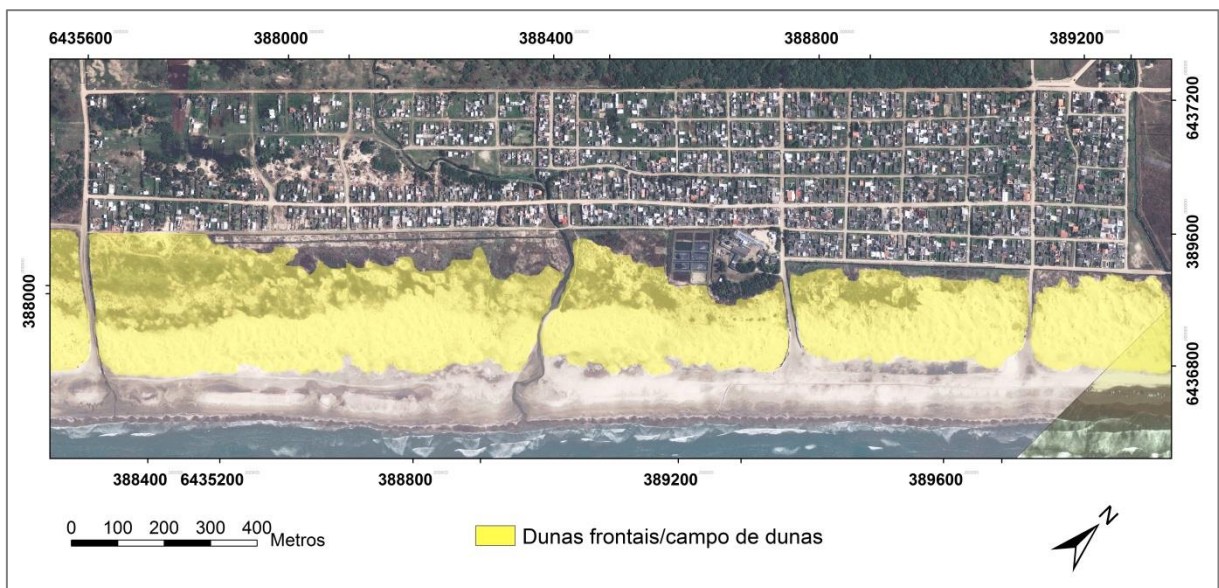


Figura 13: Ocorrência e distribuição das dunas frontais e campo de dunas no Balneário Querência-Atlântico Sul.

A continuidade das dunas frontais, e conseqüentemente do campo de dunas, é interrompida no balneário por três vias aplainadas que possibilitam o acesso de automóveis à praia. Para Nordstrom (2010) a remoção de obstáculos topográficos de dunas costeiras promove significativo impacto negativo, visto que nivelam os terrenos interiores com a praia diminuindo a eficácia do sistema dunar como barreira protetora dos processos costeiros, tais como os efeitos das marés de tempestade. Por esse motivo, as áreas onde há ocorrência de vias foram consideradas áreas de suscetibilidade intermediária. No trecho central existe um canal de drenagem (sangradouro) que também rompe a continuidade do campo de dunas e, assim como as vias de acesso à praia, acarreta em uma maior suscetibilidade nesta área.

Na porção interior, o campo de dunas é limitado pelas vias adjacentes à ocupação (Avenida Beira Mar e Avenida Cassino). No trecho que compreende a ocupação mais consolidada do balneário (a direita da imagem), o limite entre o

campo de dunas e o terreno alterado pela urbanização é bem nítido, com dunas que chegam a 8 metros de altura. O acúmulo de areia observado nesse trecho parece ser influenciado pela estabilização promovida pela vegetação (plano de manejo), fixação urbana e manutenção das vias, visto que está última remobiliza a areia transgressora de volta para o campo de dunas, normalmente depositando-a na base da duna mais próxima (PMRG, 2012).

Já a porção ocupada mais recentemente, que compreende quase que inteiramente o Balneário Atlântico Sul (porção localizada a esquerda da imagem) ainda apresenta uma morfologia semelhante a do campo de dunas. Nesse trecho há ocorrência de dunas interiores com altura chegando a 9 metros e que correspondem ao antigo cordão de dunas frontais (figura 14).

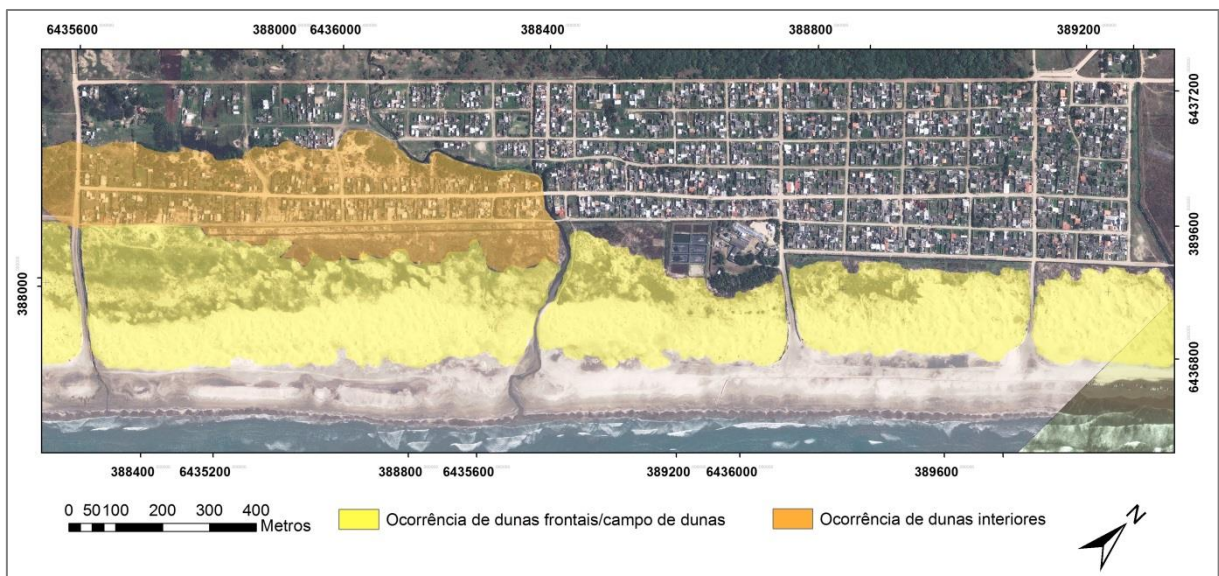


Figura 14: Ocorrência e distribuição das dunas frontais/campo de dunas e dunas interiores no Balneário Querência-Atlântico Sul.

No mesmo trecho, na porção mais a esquerda da figura 12 onde o campo de dunas (sobreposição amarela) e as dunas interiores (sobreposição laranja) se interdigitam, existe uma área onde são mais evidentes os efeitos da transgressão das dunas. Nos meses de primavera e verão, a via (Avenida Cassino) e edificações adjacentes ao campo de dunas são invadidas pela areia. Esse fenômeno foi observado por Noguez & Hartmann (2005) desde o início da ocupação do Balneário Atlântico Sul e com o passar dos anos tem sido minimizado com a retirada do excesso de areia da via pela Secretaria Especial do Cassino (SEC).

Borba & Calliari (2008), em levantamentos sobre a vegetação realizados no balneário, identificou a espécie *Panicum racemosum* como a espécie dominante das dunas frontais. Segundo Cordazzo (2006) essa gramínea é a principal colonizadora das dunas frontais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, promovendo a estabilização das dunas a partir da retenção de areia. Ainda com relação ao ecossistema dunar é importante destacar que as dunas defrontantes aos balneários foram degradadas durante as décadas de 1970 e 1980 sendo que os efeitos da ocupação e a retirada ilegal de aterros foram atenuados a partir de marcos legais, implantação do plano de manejo de dunas e diretrizes de ocupação do solo (NEMA, 2008).

Segundo o Relatório Veraneio 2011/2012 do Plano de Manejo de Dunas do Rio Grande (PMRG, 2012) os principais impactos antrópicos ao sistema dunar do balneário são: ocupações irregulares, disposição inadequada de resíduos e tráfego de veículos. Legalmente o cordão de dunas costeiro é uma Área de Preservação Permanente amparado pela Resolução CONAMA Nº 303/2002, pelo Artigo 241 do Código Estadual do Meio Ambiente (Lei Nº 11.520/2000) e pela Lei Orgânica do Município do Rio Grande Nº 5.261/1998. Para mitigar os efeitos dos impactos negativos sobre as dunas, a Prefeitura Municipal do Rio Grande junto do Núcleo de Educação Ambiental (NEMA) desenvolve o Plano de Manejo de Conflitos de Urbanização, Campos Arenosos e Dunas (PMRG, 2012).

A partir das características levantadas acima, o indicador em questão foi avaliado como de baixa suscetibilidade na maior parte do recorte analisado. Nos segmentos onde as dunas são cortadas, por vias e sangradouros, a suscetibilidade do indicador pode ser considerada intermediária, pois essas ocorrências suprimem a presença da feição e promovem à descontinuidade do cordão de dunas, que é um componente essencial para a proteção do balneário contra os efeitos de marés meteorológicas positivas, visto a baixa declividade do terreno.

O sistema dunar da praia do Hermenegildo é composto por fisiografia de planos arenosos (SEELIGER, 1998). Dentro do recorte espacial analisado, a configuração de dunas é praticamente inexistente, sendo que a maior parte do antigo campo de dunas está soterrado pela urbanização. Os dois trechos nas extremidades do balneário são as principais áreas de ocorrência de dunas na

atualidade, mas existem pequenos enclaves (resquícios do cordão de dunas de forma descontinuada) ao longo da orla urbanizada (figura 15). Somada às ocorrências e enclaves, a faixa de dunas frontais corresponde aproximadamente a 24% dos 2.500 metros de extensão da orla.

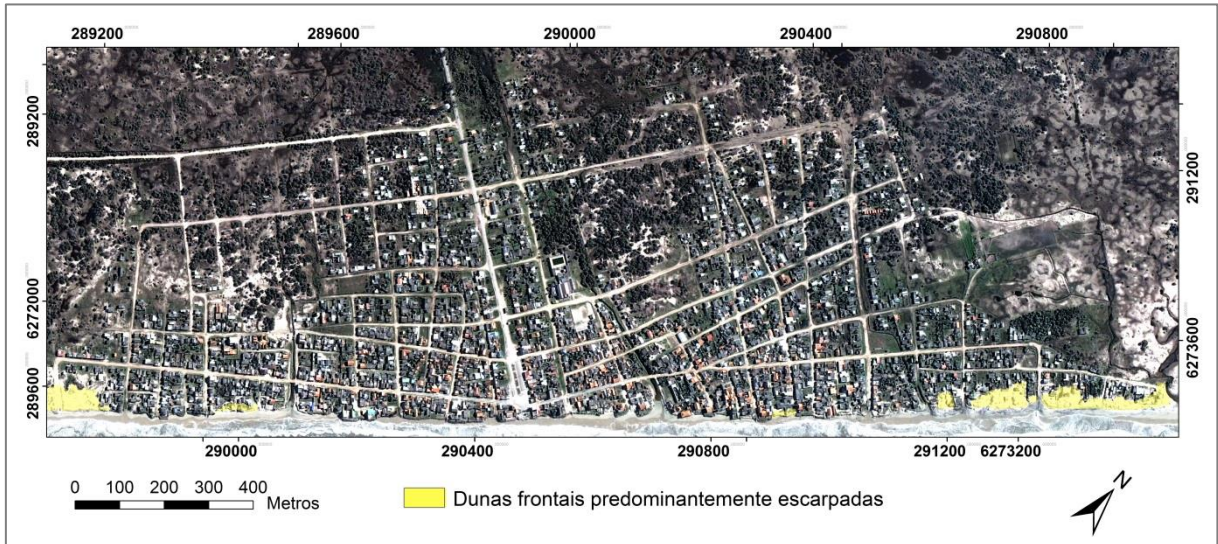


Figura 15: Ocorrência de dunas frontais no Balneário Hermenegildo.

Nas áreas de ocorrência, as dunas chegam a 4 metros de altura e se estendem por no máximo 50 metros do topo da escarpada até a primeira edificação. A urbanização sobre o campo de dunas foi alavancado nas décadas de 1960 e 1970, seguidos do intenso processo erosivo que se estabelece nesta porção da costa do Rio Grande do Sul, acabaram por praticamente extinguir as dunas defrontantes ao balneário. A extração irregular de areia também é pontada como um dos fatores que levaram a supressão das dunas (PMSVP, 2009).

Foi observado nos trabalhos de campo a invasão de areia sobre as edificações nas duas áreas de ocorrência de dunas (figura 16 B), o que também é constatado pelo Plano de Manejo de Dunas Costeiras do Município de Santa Vitória do Palmar (PMSVP, 2009). Assim como no Balneário Querência-Atlântico Sul, a gramínea *Panicum racemosum* é a espécie dominante das dunas (PMSVP, 2009), mas a descontinuidade, o alto grau de degradação proporcionado pela ocupação e o processo erosivo, impedem a estabilidade e morfogênese das dunas no balneário. A Lei Orgânica do Município de Santa Vitória do Palmar, que instituiu o Código Municipal do Meio Ambiente (Lei N° 3.372/2002), não impõe nenhuma outra restrição de uso e ocupação costeira além daquelas dispostas pela legislação

Federal, CONAMA e Código Estadual, ou mesmo utiliza algum tipo de dispositivo de manejo em específico para minimizar os impactos provenientes da urbanização sobre o sistema dunar.



Figura 16: Trecho com dunas frontais (foto A) e invasão de areia sobre as edificações no Balneário Hermenegildo (foto B).

Conforme as características mencionadas, foi avaliada como alta a suscetibilidade do indicador *configuração de dunas* para o Balneário Hermenegildo. A pressão imposta pela ocupação suprimiu o cordão de dunas conforme houve a retração da linha de costa, impondo um quadro impactante para o sistema dunar defronte ao balneário visto que é pressionado pelo dinamismo dos processos costeiros e antrópicos.

6.1.3. Indicador *elevação do terreno*

O sítio urbano do Balneário Querência-Atlântico Sul está estabelecido predominantemente dentro das cotas de 3 a 5 metros de elevação. As áreas com menor elevação estão inclusas na faixa de praia emersa e na ocorrência de sangradouros. Um dos canais, localizados no centro do recorte (figura 17), contribui de forma significativa para a avaliação deste indicador, pois confere baixa elevação a um trecho ocupado do balneário que, também por influência do canal, fica defronte a uma descontinuidade das dunas frontais.

Outro sangradouro, porção norte do recorte, também confere uma baixa elevação em uma área ocupada, mas como atenuante a foz meandra para leste (para além da delimitação do recorte) não interrompendo as dunas adjacentes a esta ocupação. As maiores cotas de elevação do terreno estão associados a grandes acumulações de areia na forma de dunas frontais e uma ocorrência de dunas no

interior do balneário, o que remete a fisiografia do cordão de dunas regresso e que atualmente é impactado pela crescente ocupação.

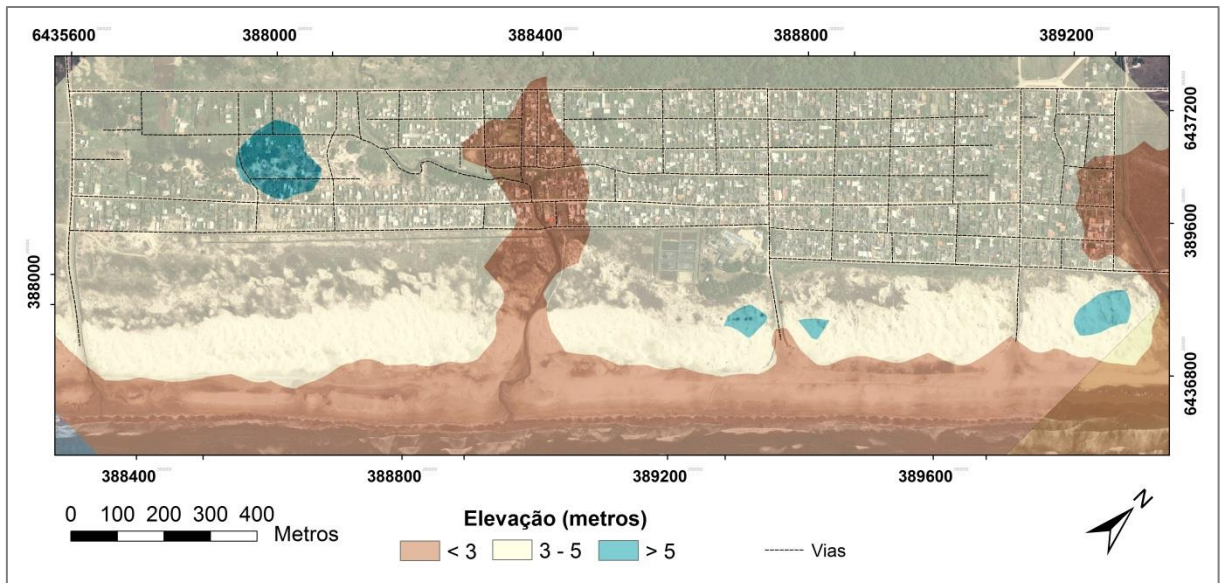


Figura 17: Elevação do recorte Querência-Atlântico Sul com a classificação da suscetibilidade com base nas cotas altimétricas.

Segundo Parise (2007) a oscilação positiva do nível do mar mais significativa na região provém dos ventos intensos de SW, com marés meteorológicas que promovem a sobre-elevação e a consequente intrusão de água do mar nas áreas com topografia mais baixa. A autora ainda destaca que a ciclogênese ao sul do Uruguai com deslocamento para sudeste é responsável pelas maiores ocorrência de inundações para a região costeira onde o Balneário Querência-Atlântico Sul se encontra.

As grandes marés meteorológicas positivas, popularmente chamadas de “ressacas”, atingem a costa do Rio Grande do Sul de forma sazonal, predominantemente nos meses de outono-inverno (figura 18). A extensa pista de vento é o principal fator que propicia o empilhamento e sobre-elevação do mar a partir das ondulações (Parise, 2007). A oscilação positiva associada à topografia plana e baixo declive confere não só aos balneários, mas a grande parte do território urbanizado do Município do Rio Grande um elevado grau de risco associado à inundação (ZAMBONI; NICOLODI, 2008).



Figura 18: Episódios de maré meteorológica positiva na praia do Cassino. Fonte: foto A Parise, 2007; foto B Jornal Zero Hora, 2011; foto C Ulisses Oliveira e foto D Jornal Agora, 2011.

Ao observar o Modelo Digital de Elevação (MDE), a suscetibilidade relacionada à topografia do recorte Querência-Atlântico Sul é marcada pela baixa elevação no reverso das dunas e declividade do perfil. As dunas frontais são expressivas, constituindo uma barreira protetora contra os efeitos da sobre-elevação do mar como discutido no item 6.1.2, mas apresentam descontinuidades devido à presença de uma cava esculpida pelo sangradouro localizado no centro do balneário e da abertura de vias de acesso à praia (figura 19). As edificações estão localizadas atrás do amplo campo de dunas, mas ocupam áreas depressionárias atreladas ao reverso do cordão de dunas.

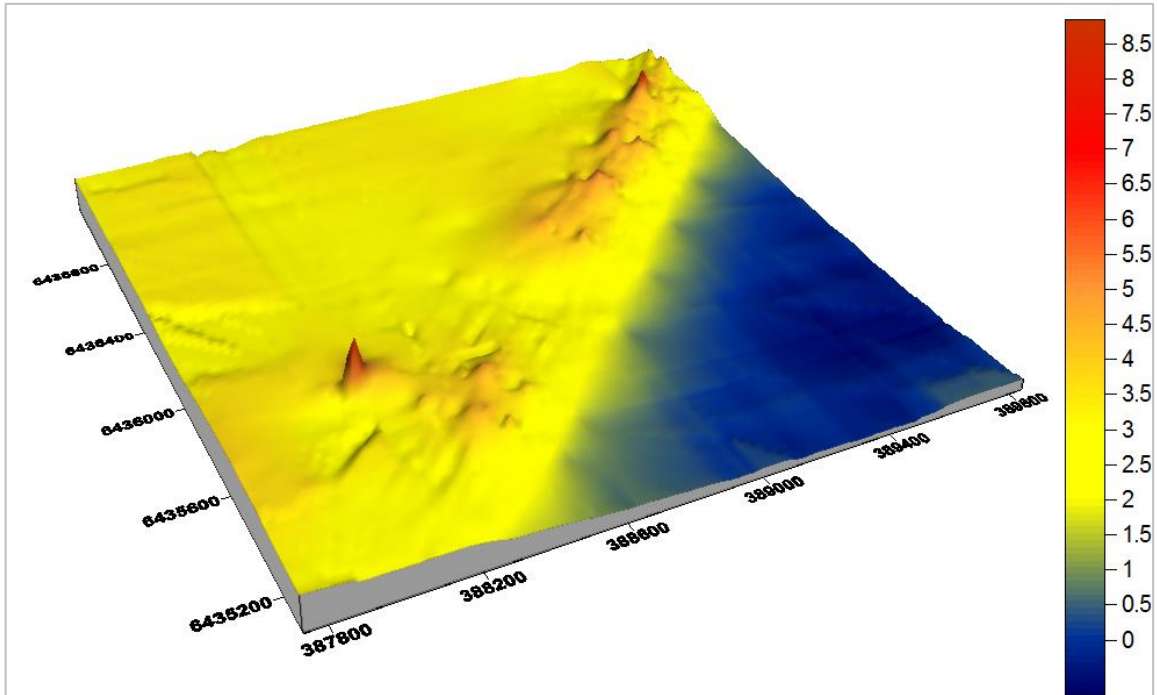


Figura 19: Modelo Digital de Elevação (MDE) tridimensional do recorte Querência-Atlântico Sul com extrapolação dos valores de Z.

A maior parte da ocupação no Balneário Hermenegildo está estabelecida entre as cotas de 3 a 5 metros, mas as áreas de expansão urbana ficam entre as cotas com elevação superior a 5 metros. A faixa que possui as mais baixas cotas e, conseqüentemente, maior suscetibilidade para o indicador *elevação do terreno*, são aquelas próximas ao estreito perfil praiado emerso (figura 20). Os quatro canais de drenagem presentes no recorte esculpem a morfologia do terreno estabelecendo cotas progressivamente mais baixas, principalmente na porção N-NE do balneário.

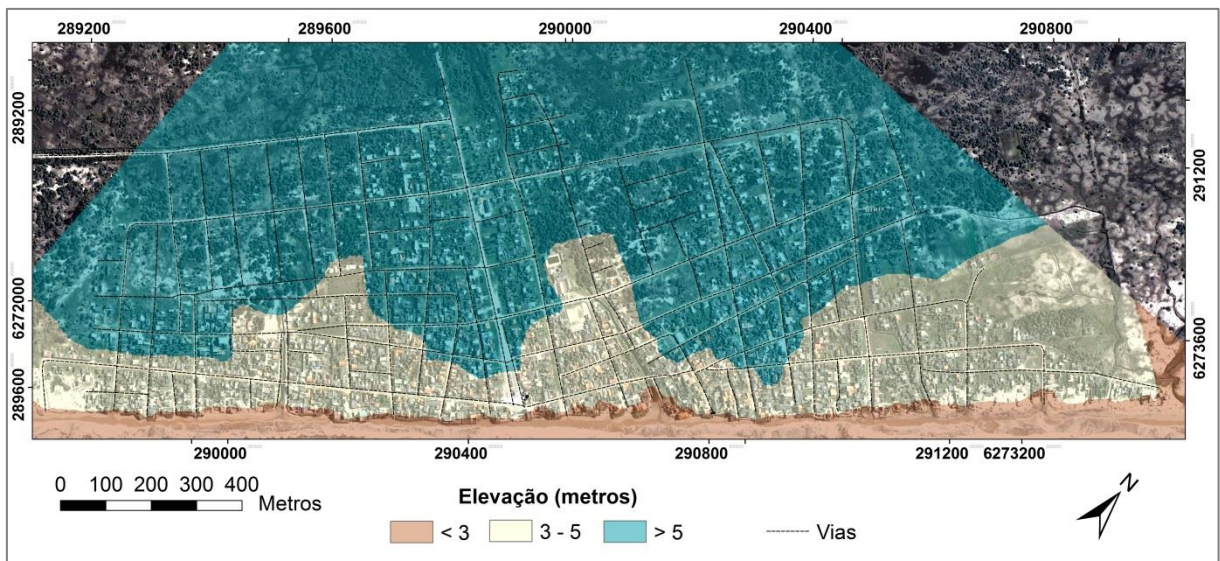


Figura 20: Elevação do recorte Hermenegildo com a classificação da suscetibilidade com base nas cotas altimétricas.

Para o recorte Hermenegildo, Maia (2011) salienta que os aterramentos introduzidos na área urbana do balneário promoveram um incremento na elevação do terreno, o que acabou também por contribuir para a eficiência do escoamento superficial. Como fator de suscetibilidade, o autor ressalta a baixa topografia associada aos canais de drenagem próximos a linha de costa, pois mesmo que de forma natural tenham função inversa, acabam por se tornar áreas onde a intrusão de água do mar torna-se facilitada (figura 21).



Figura 21: Intrusão de água do mar através dos sangradouros.

Assim como Parise (2007), Maia (2011) destaca a ação de marés meteorológicas positivas fruto dos processos ciclogênicos atuantes na região. Segundo Maia (2011), o trecho central do balneário localizado próximo a linha de costa é o mais suscetível a eventos de inundação devido a estreita faixa de praia, seguido da porção N-NE, neste caso por motivo da baixa declividade associada à configuração de dunas e da presença de um canal de drenagem nas adjacências.

Avaliando a ocupação do Balneário Hermenegildo como um todo, área urbana histórica e áreas em expansão, podemos constatar que o sítio urbano está estabelecido em cotas com elevação superior as do Balneário Querência-Atlântico Sul. Isto confere, comparativamente, uma menor suscetibilidade a oscilações positivas do nível do mar em um quadro de expansão do balneário para os terrenos mais elevados (interiores). A porção com alta suscetibilidade referente a elevação do terreno no balneário, se restringe a uma pequena faixa próxima a linha de costa e as áreas adjacentes aos canais de drenagem, conforme exposto por Maia (2011).

A presença de canais de drenagem é expressiva no recorte e com a extrapolação de Z do MDE é possível identificar o comportamento da drenagem local e destacar a baixa elevação na porção norte do balneário (figura 22). O terreno

possui um desnível progressivo que confere uma maior competência ao escoamento superficial, aliada a baixa permeabilidade do solo (depósitos turfáceos) e a ampla cobertura de saibro introduzido na área urbana fazem com que o balneário não apresente pontos significativos de alagamento.

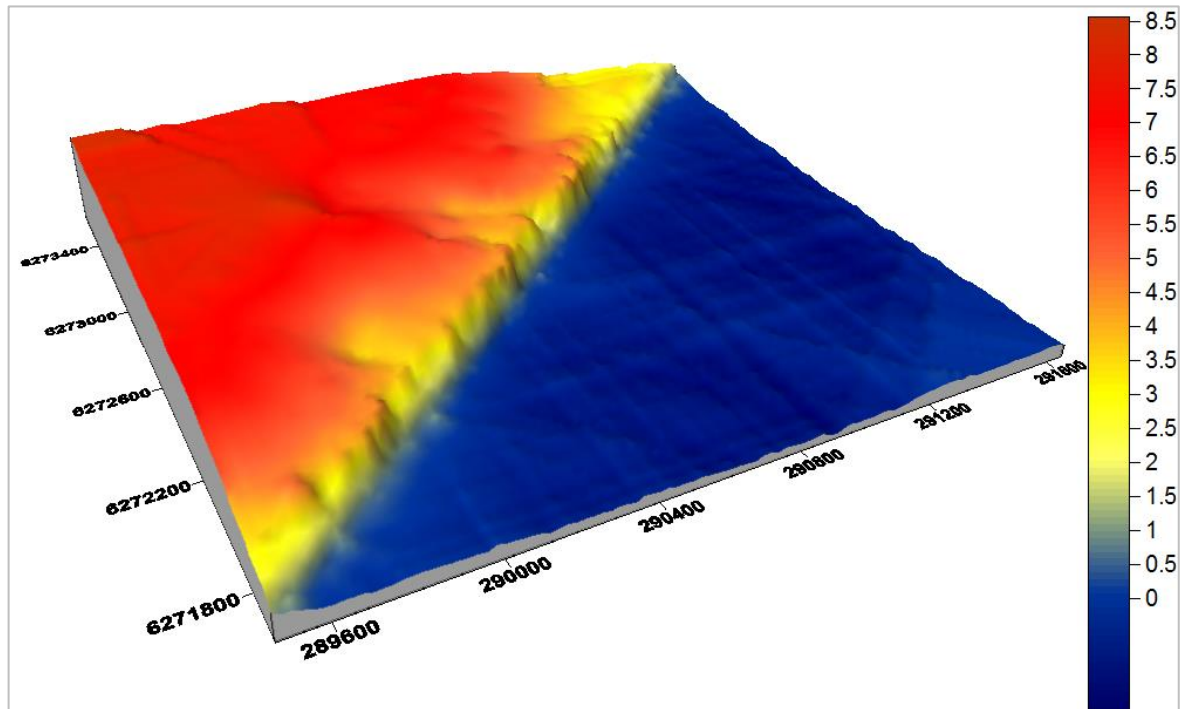


Figura 22: Modelo Digital de Elevação (MDE) do recorte Hermenegildo com extrapolação dos valores de Z.

6.1.4. Indicador estruturas de contenção costeira

O Balneário Querência-Atlântico Sul não apresenta estruturas de contenção dentro do recorte delimitado para a análise. Mas, como discutido no indicador *evolução da linha de costa* (item 6.1.1), existe na região uma obra de engenharia costeira que interfere na dinâmica morfológica de um extenso trecho de praia onde balneário está localizado. A característica progradante da linha de costa, a configuração das dunas e o resguardo da distância entre a praia e as ocupações, tornam a presença de estruturas de contenção desnecessárias no balneário, conferindo baixa suscetibilidade à avaliação do indicador.

Apenas o Balneário Hermenegildo apresenta estruturas de contenção costeira dentro do recorte analisado. Segundo Esteves & Santos (2001) o início do uso de estruturas de contenção no balneário, data da década de 1950, período que também

marca o início da expansão urbana (TEIXEIRA, 2007). A formação do sítio urbano está historicamente ligada a ocupação próxima da linha de costa (KOERNER, 2009).

Conforme destacam Costi et al. (2007) as estruturas podem refletir a energia das ondas ou mesmo intensificar alguns processos da zona de *surfe* e assim agravar a erosão, levando a redução da praia (redução “ativa”) ou impedindo a migração do perfil praial (redução “passiva”). Os autores, a partir de levantamentos topográficos do perfil de praia antes e após a passagem de sistemas frontais, constataram que o processo erosivo é mais acentuado em frente a estruturas de contenção com muros de concreto se comparado aos perfis adjacentes com presença de dunas frontais.

Costi & Calliari (2007) também através de levantamentos topográficos antes e depois da passagem de sistemas frontais, diagnosticaram diferentes respostas conforme o tipo de estrutura ou ausência de proteção. Levantamentos em frente a revestimentos compostos por blocos de granito ou muros de concreto assumiram a forma de perfis de erosão mais rapidamente. Comparativamente, o perfil localizado em frente das dunas frontais foi o que obteve a maior recuperação a partir do aporte de sedimentos, enquanto os perfis com presença de estruturas continuavam a perder seu quantitativo sedimentar.

Os autores sugerem que a causa desse déficit pode estar relacionado ao fato da estrutura de contenção intensificar a velocidade do refluxo (*backwash*) através da reflexão do espriamento (*swash*). Outra possibilidade, apontada como mais provável pelos autores, é a redução da infiltração causada pelas fundações das estruturas no caso dos muros de concreto, visto que o perfil localizado em frente a este tipo de estrutura perdeu mais sedimento que o do revestimento com blocos de granito (o qual não possui fundação). Somado a redução antrópica da infiltração, estão os baixos níveis naturais de permeabilidade da praia do Hermenegildo, fruto das formações turfáceas presentes na região (PEREIRA et al, 2005).

O trabalho de Costi & Calliari (2007) também aponta que aqueles segmentos da orla urbanizada que não possuem estruturas de contenção respondem à dinâmica erosiva com a retração, a partir da perda de terreno; enquanto os segmentos com estruturas se mantem fixos, podendo acentuar o déficit sedimentar

através da interceptação do transporte eólico, dada a irregularidade que se estabelece ao longo da praia. A partir do efeito de difração e refração de ondas de marés meteorológicas “as casas sem proteção ao lado de casas protegidas acabam por ficarem mais expostas do que se estivessem sozinhas” (KOERNER, 2012, p. 88). O mesmo autor ainda destaca que:

“Quanto ao efeito de erosão no final da estrutura de proteção, este também parece estar ocorrendo no balneário, devido ao efeito de refração de ondas causado pelo conjunto de todas as estruturas de contenção existentes na praia [...] Acreditamos que as estruturas de contenção de todo o balneário estejam causando um efeito sobre a orla urbanizada ao norte, erodindo-a, funcionando como se o balneário fosse um ‘promontório rochoso’” (KOERNER, 2012, p. 90).

Essa retração é evidenciada no trecho onde ainda existem dunas frontais, principalmente na porção norte do balneário, como mostram os trabalhos de Koerner (2009) e Albuquerque (2013).

Teixeira (2007) ao realizar um levantamento das estruturas de contenção, identificou a composição dos principais materiais empregados nas obras até então realizadas: entulhos, revestimento com rochas (granito ou gnaisse), muros de concreto armado, muros de alvenaria, estruturas mistas de madeira/alvenaria e estacas de madeira. Adicionalmente, foi possível verificar nos trabalhos de campo o uso misto de estacas de madeira com pneus concretados e não concretados, sacos de areia, blocos e tetrápodes de concreto, aterros contidos por cercas de madeira e concretagem direta da escarpa erosiva, o que mostra a heterogeneidade dos materiais utilizados para proteger as edificações.

Com base no tipo de material, forma e resposta morfológica da estrutura à dinâmica costeira (critérios estabelecidos no item 5.5.1.4), foram mapeados os três tipos de ocorrência propostos pela classificação: ausência de estruturas; estruturas compostas predominantemente por madeiras, pneus e sacos de areia; e estruturas compostas predominantemente por muros de alvenaria, blocos de rocha e/ou concreto, sacos de concreto e pneus concretados. Por meio do mapeamento dos 2.500 metros de orla urbanizada (figura 23), foi possível calcular que 1.318 metros da orla (equivalente a 53% do trecho) possuem estruturas de contenção compostas predominantemente por muros de alvenaria, blocos de rocha ou concreto, sacos de concreto e pneus concretados, o que classifica o indicador *estruturas de contenção*

costeira como de alta suscetibilidade. De forma complementar, constatou-se que em 839 metros da orla existem estruturas de contenção compostas predominantemente por madeiras, pneus e sacos de areia (33%) e 343 metros da orla não possuem estruturas de contenção (14%).

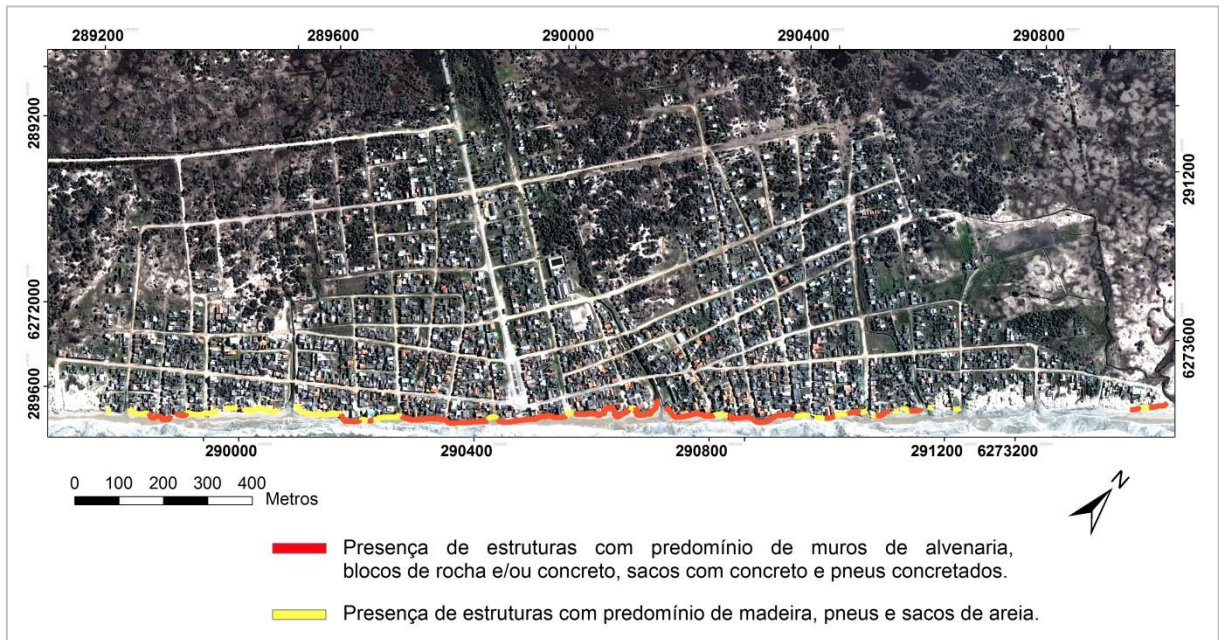


Figura 23: Ocorrência e tipo de estruturas costeiras presentes na orla do Balneário Hermenegildo.

De forma a corroborar com a proposta da análise, destacamos que as estruturas de contenção presentes no recorte visam mitigar pontualmente os efeitos da erosão e não podem ser tomadas como alternativas de proteção ambiental da orla como um todo.

“O ideal é que seja feita uma estrutura única para toda a orla urbanizada do balneário, de modo que não fique uma costa com trechos estruturados e outros sem proteção como ocorre atualmente, já que assim algumas casas acabam ficando muito mais expostas que outras” (KOERNER, 2012, p. 92).

Para Esteves & Santos (2001) a ocorrência segmentada das estruturas pode agir de forma sinérgica a erosão, reduzindo a largura da praia emersa. Estruturas com embasamento técnico são desenhadas para dissipar ou absorver o impacto das ondas (TEIXEIRA, 2007), mas o uso de materiais diversos sem o devido planejamento podem agravar os efeitos da erosão (ALBUQUERQUE, 2013).

Esteves & Santos (2001) destacam que as estruturas costeiras do Balneário Hermenegildo não possuem projetos técnicos adequados. Teixeira (2007) constata

que devido ao dinamismo de praia, quanto mais rígidas as estruturas, como por exemplo, os muros de alvenaria, maior a ocorrência de colapsos. Esteves & Santos (2001) argumentam que a cada evento de alta energia, as estruturas que não são destruídas ainda assim podem ser danificadas, o que requer manutenção constante e que na maioria das vezes não é realizada. Nos trabalhos de campo também foi possível identificar que em alguns casos a destruição é seguida do araste ou soterramento de pedaços das estruturas, que pode trazer outros riscos aos usuários da orla (figura 24 B).



Figura 24: Foto A – impacto das ondas sobre as estruturas de contenção. Foto B – rochas que faziam parte de uma estrutura e foram desagregados durante a maré de tempestade.

Para Nordstrom (2010) as modificações da linha de costa, mesmo aquelas intervenções aparentemente benignas, podem trazer significativas perdas ambientais. Estruturas e edificações próximas à linha de costa afetam progressivamente as inter-relações morfodinâmicas, diminuindo a resiliência das feições a partir do comprometimento ou interrupção do fluxo sedimentar, deixando à costa mais suscetível aos impactos futuros.

“[...] a proteção das casas à beira-mar também pode ser identificada como causadora de erosão em uma escala local. Estas estruturas rígidas servem como barreiras que impedem o espriamento e a dissipação da energia das ondas na beira da praia, fazendo com que as ondas retornem com ao mar ainda com energia carregando sedimentos com elas. A consequência local disto é uma redução do volume de areia na praia, aumentando sua profundidade, ou seja, permitindo que a linha da água fique ainda mais próxima das casas” (KOERNER, 2012, p. 137).

A maior parte das estruturas de contenção encontradas no Balneário Hermenegildo são tentativas de mitigar os efeitos da erosão costeira de forma emergencial. A partir de uma perspectiva integrada da paisagem de orla, o enrijecimento da linha de costa nos parece ser a única certeza dos efeitos destas estruturas. A proteção oferecida pelas estruturas mais rígidas (rochas, concreto),

mesmo que em alguns casos se mostre eficiente ao conter o risco iminente, traz mais prejuízos à orla como um todo do que resultados, enquanto as estruturas de madeira, pneus e sacos de areia possuem caráter imediatista e temporário dado à baixa durabilidade dos materiais.

Como apontado por Garrison (2010), Koerner (2012) e Teixeira (2007), verdadeiros projetos de engenharia costeira visam minimizar o impacto da dinâmica costeira, amortecendo os efeitos intensivos e protegendo toda a extensão de orla, de forma a abrigar a maior porção de área urbanizada e não intervindo pontualmente. Conforme Koerner (2012) o manejo de áreas costeiras em erosão não passa apenas pela implantação de obras como espigões dissipativos, quebra-mares ou engordamento de praia, mas também por intervenções na forma de diretrizes de uso e ocupação do solo. Restrições de uso em ambientes costeiros são ferramentas úteis para se evitar prejuízos patrimoniais futuros e perdas ambientais (MUEHE, 2004), principalmente em municípios que carecem do financiamento necessário para intervir de forma estrutural em toda a faixa de orla urbanizada.

6.1.5. Indicador *distância média da faixa urbana*

A ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul segue um padrão retilíneo praticamente homogêneo. A Avenida Beira Mar é a via limítrofe entre o campo de dunas e a ocupação do Balneário Querência, assim como faz em grande parte do Balneário Cassino. Em sentido SW, após a Rua do Hotel (em frente à Estação de Maricultura – EMA/FURG), a Avenida Cassino torna-se a via limítrofe, cerca de 70 metros mais distante da praia. A partir da vetorização das ocupações presentes nas imagens de satélite Geoeye 2011 e Digital Globe 2012, foram selecionadas as edificações que tangenciam essas duas vias e que formam a *linha média das ocupações* (figura 25) correspondendo a um total amostral de 251 pontos.

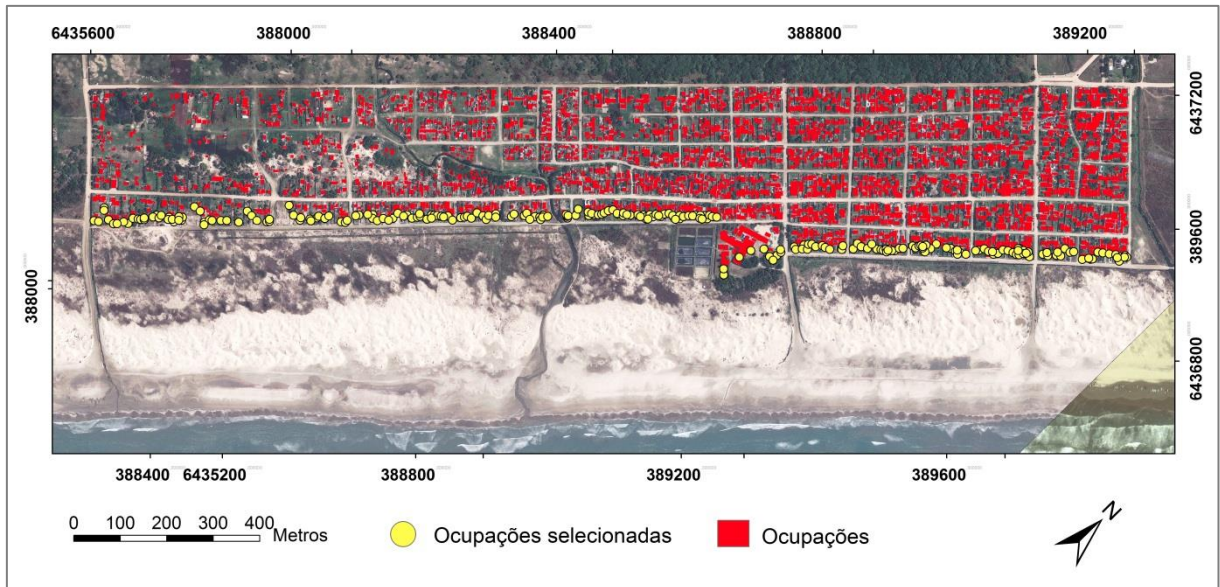


Figura 25: Polígonos vermelhos representam as ocupações do Balneário Querência-Atlântico Sul e pontos amarelos representam as ocupações selecionadas.

No outro extremo, encontra-se a interface do campo de dunas com o prisma praiado emerso. As amostras desta feição foram obtidas a partir da interpretação da imagem de satélite Digital Globe 2012 (com data de 20/09/2012), com auxílio de pontos coletados em campo com uso de GPS Geodésico durante os meses de setembro e outubro de 2012, com o intuito de detectar as cristas e base das dunas frontais. No total foram elencados 177 pontos amostrais que formam a *linha média do fronte das dunas* (figura 26).

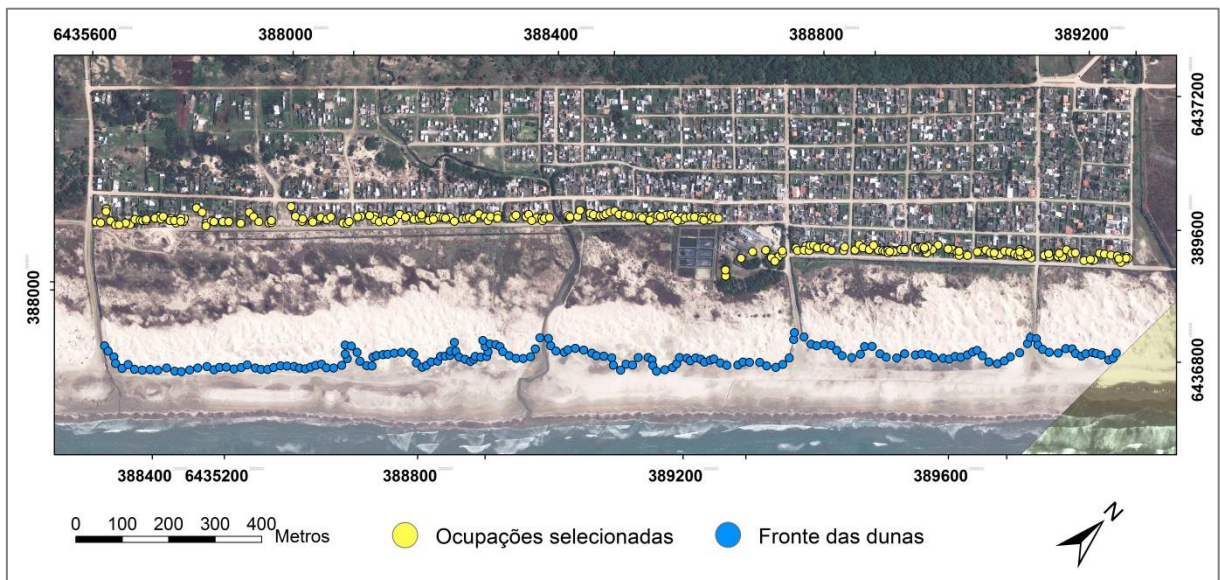


Figura 26: Pontos amarelos representam as edificações e pontos azuis correspondem às amostras do fronte das dunas.

A partir da média aritmética das coordenadas UTM de X e Y de cada ponto amostral, foi possível chegar a um ponto médio para as ocupações e outro para a frente das dunas. Com o ponto médio de cada feição foi possível medir a distância média entre a ocupação e o frente das dunas, obtendo assim o valor de análise do indicador. Para uma melhor visualização das médias foram traçadas linhas a partir dos pontos médios (figura 27). Como resultado, para o Balneário Querência-Atlântico Sul a *distância média da faixa urbana* foi de 269,48 metros, o que indica a existência de uma extensa zona de amortecimento. Na avaliação do indicador esse valor é classificado como de baixa suscetibilidade.

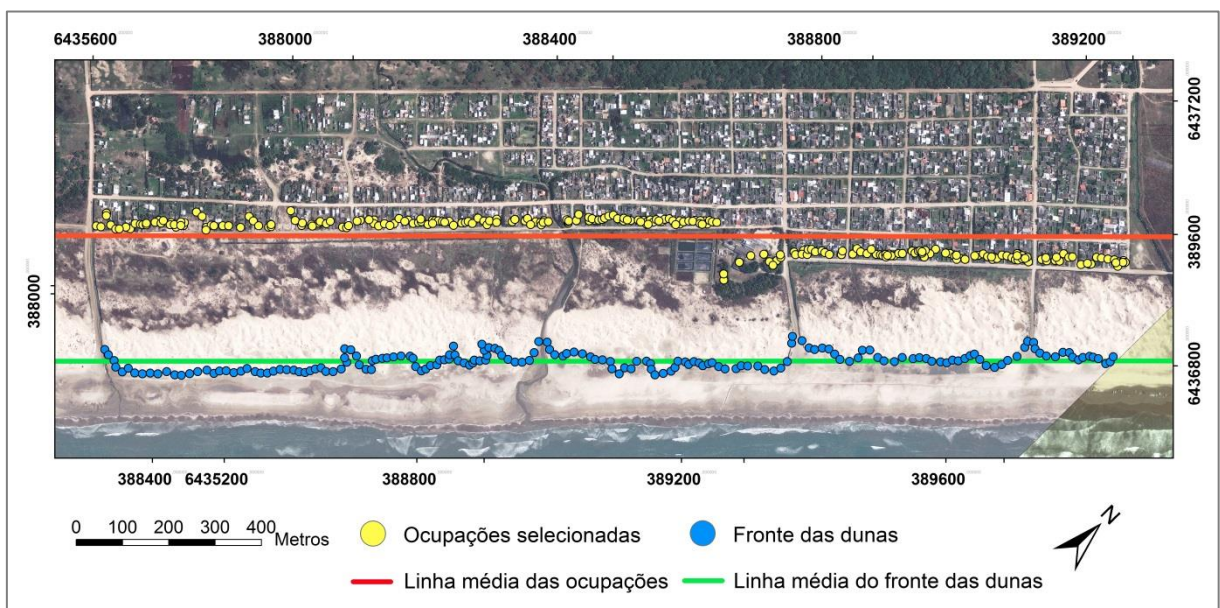


Figura 27: Pontos amostrais e linhas médias da ocupação e do frente das dunas do Balneário Querência-Atlântico Sul.

A distância média constatada no balneário é resultado da preservação de uma larga faixa de proteção/amortecimento da dinâmica costeira materializado pelas dunas frontais e campo de dunas. A orla da praia do Cassino está dentro das diretrizes do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (BRASIL, 2004), sendo sua distância média superior aquelas imposta às orlas não urbanizadas. Com a tendência a acresção diagnosticada no item 6.1.1, essa distância também tende a aumentar conforme o perfil praiar e o campo de dunas se deslocam. Essa constatação não significa que deva haver novos parcelamentos sobre o campo de dunas, visto que isso iria de encontro aos marcos legais da esfera federal, estadual e municipal, principalmente a Lei Federal nº 4.771 de 15 de setembro de 1965 que instituiu o Código Florestal, estabelecendo que as ocorrências de vegetação fixadora

de dunas sejam consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP), assim como faz a resolução CONAMA n° 303 de 20 de março de 2002.

O Balneário Hermenegildo, por sua vez, possui uma ocupação extremamente próxima à praia, apresentando em alguns pontos uma projeção da área urbana em relação à linha de costa atual. A via mais próxima da praia é a Avenida Mar da Tranquilidade, mas esta não corresponde como primeira via adjacente à ocupação. O processo erosivo que se estabelece no balneário acabou por descaracterizar as quadras mais próximas da linha de costa, deixando as edificações da faixa urbana em contato direto com os processos da dinâmica costeira. Após a vetorização das ocupações a partir das imagens de satélite Quickbird 2007 e Digital Globe 2010, foram selecionadas as edificações mais próximas da linha de costa formando a *linha média das ocupações* do Balneário Hermenegildo (figura 28) que perfazem um total de 232 amostras.

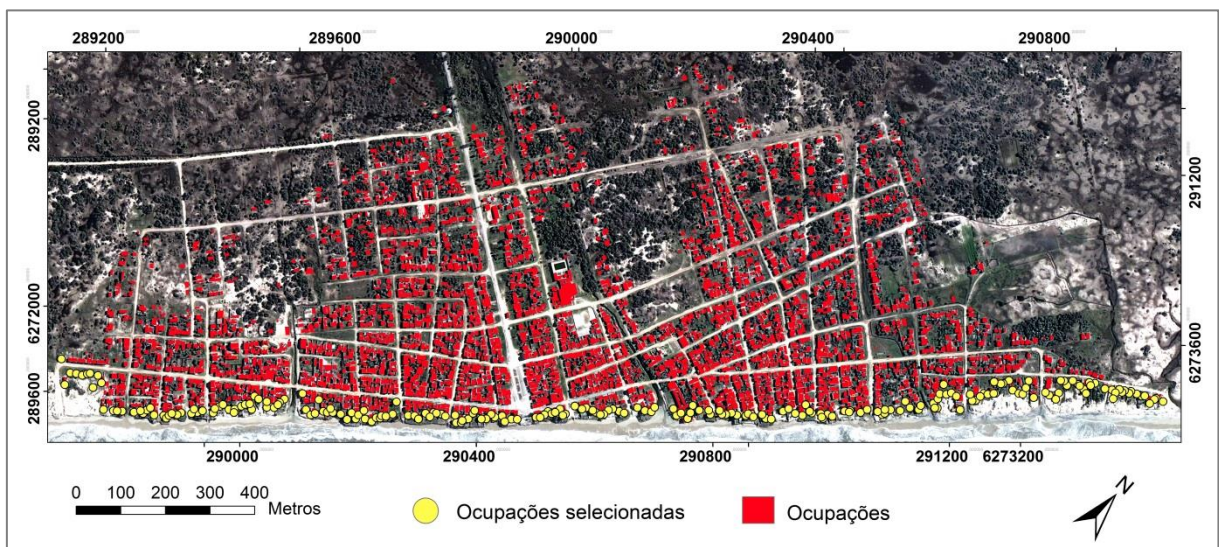


Figura 28: Polígonos vermelhos representam às ocupações do Balneário Hermenegildo e pontos amarelos as ocupações selecionadas.

Na ausência de um campo de dunas, com feições frontais e pós-praia definidos, foi tomada como referência a escarpa erosiva das áreas com ocorrência de dunas e, na maior parte da orla, as estruturas de contenção costeira. Foram coletados 494 pontos amostrais por meio de GPS geodésico que formam a *linha média do fronte das dunas escarpadas/estruturas de contenção* (figura 29).

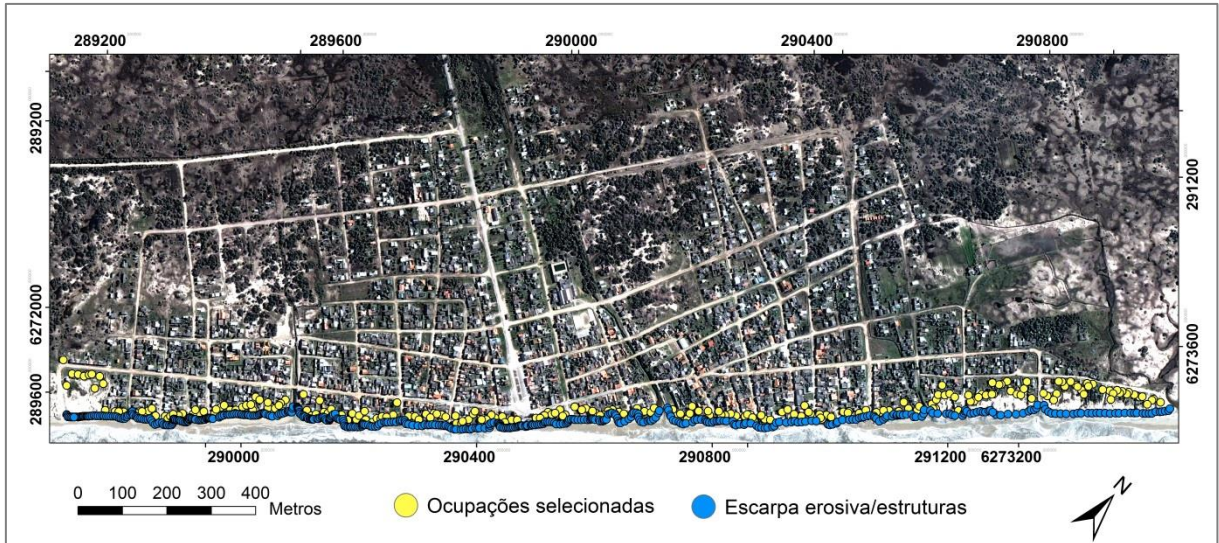


Figura 29: Pontos amarelos representam as edificações e pontos azuis correspondem as amostras da escarpa erosiva/estruturas de contenção do Balneário Hermenegildo.

Assim como no caso do recorte Balneário Querência-Atlântico Sul, a partir das coordenadas X e Y das amostras das ocupações selecionadas e da escarpa erosiva/estruturas de contenção, foi possível encontrar um ponto médio geral, mensurar a distância entre os pontos de cada feição e traçar uma linha representativa a partir das mesmas (figuras 30). Como resultado o Balneário Hermenegildo apresentou uma *distância média da faixa urbana* de 28,83 metros, resultado correlacionado a retração da linha de costa e a ocupação historicamente assentada sobre o cordão de dunas frontais. Segundo a classificação proposta, com base na legislação federal, o indicador foi avaliado como de alta suscetibilidade.

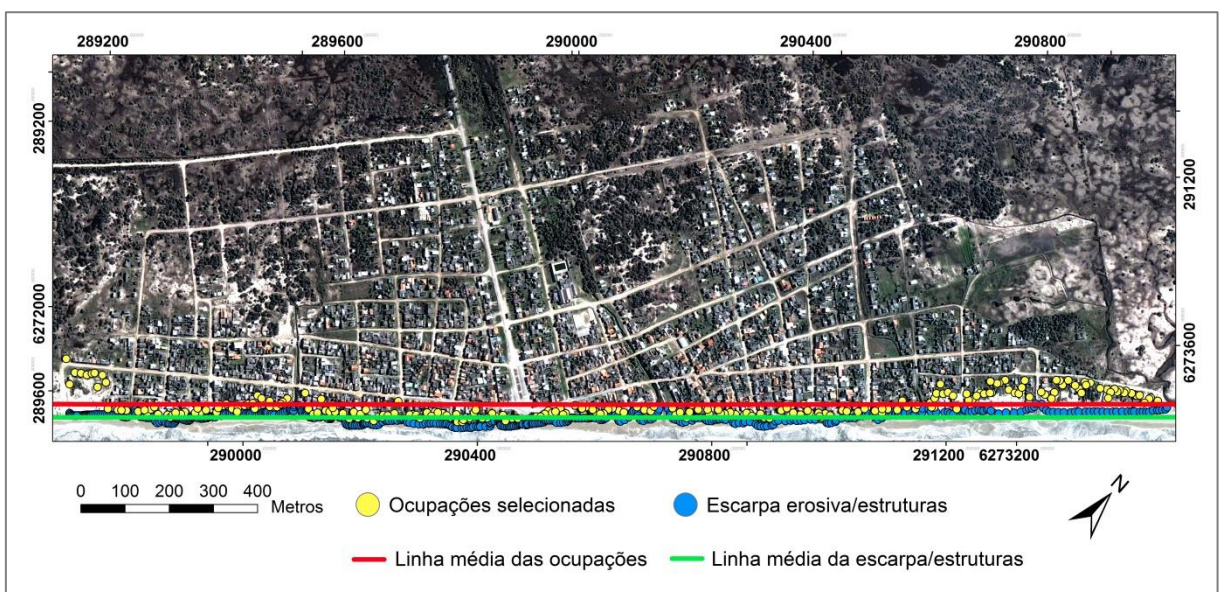


Figura 30: Pontos amostrais e linhas médias da ocupação selecionada e da escarpa erosiva/estruturas de contenção.

A orla marítima é a faixa onde os processos costeiros agem de forma mais acentuada, sendo um ambiente onde a degradação promovida pelas modificações antrópicas na morfologia são mais evidentes, pois provocam “desequilíbrios no balanço sedimentar e conseqüentemente na estabilidade da linha de costa” (MUEHE, 2001, p. 36). A urbanização próxima à linha de costa contribui para a suscetibilidade do ambiente (ESTEVES & SANTOS, 2001) por isso a necessidade de se estabelecer uma faixa de proteção ambiental que promova a preservação do ecossistema e haja como uma zona de amortecimento do dinamismo de costa.

É notória a proximidade da ocupação do Balneário Hermenegildo da praia. A retração da linha de costa expõe cada vez mais as edificações próximas a linha de costa às intempéries das marés de tempestade. O estabelecimento de uma zona de proteção no Balneário Hermenegildo, aos moldes da legislação federal, dependeria da relocação dos lotes que estão dentro da área de abrangência da taxa erosiva. Koerner (2009), ao analisar as áreas adjacentes à orla urbanizada da praia do Hermenegildo, estabeleceu uma linha provável do limite superior da praia, o que deixou em evidência a projeção da ocupação no balneário. Assim como no trabalho de Koerner (2009), é possível identificar, mesmo que a partir de métodos diferentes, áreas onde as edificações estão à frente da linha média da estruturas de contenção/escarpa erosiva (figura 31).

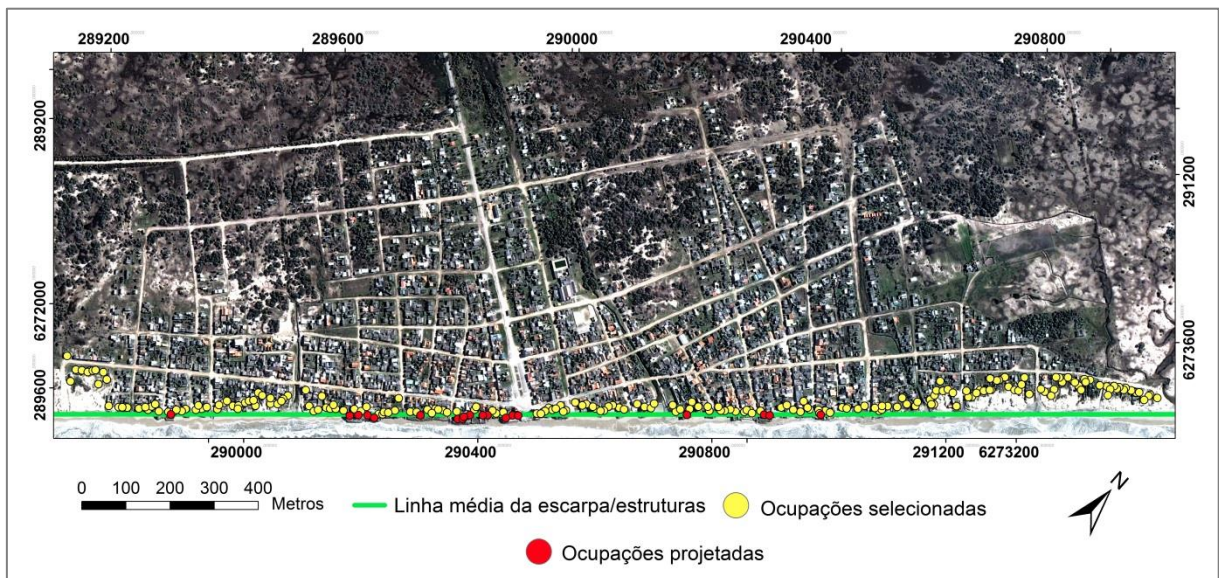


Figura 31: Pontos amostrais da ocupação projetados além da linha média da escarpa erosiva/estruturas de contenção do Balneário Hermenegildo.

Essas projeções ocorrem principalmente onde existem estruturas de contenção pesada, com maior capacidade de fixação pontual da costa (item 6.1.4). Com a evolução da linha de costa a partir da predominância do processo erosivo, as áreas onde não existe tamanha resistência acabam por ceder em busca do equilíbrio dinâmico, enquanto que as edificações à retaguarda das estruturas mais rígidas ficam cada vez mais projetadas e, conseqüentemente, mais expostas aos processos costeiros, visto que “adentram” ao mar enquanto a linha de costa recua. O forte impacto das marés meteorológica, nestes casos, atinge não só porção dianteira das estruturas, mas também o flanco exposto às ondulações formadas pelos ventos dos quadrantes SW e S.

6.1.6. Indicador *densidade da ocupação*

O Balneário Querência-Atlântico Sul apresentou dois trechos distintos com relação à densidade da ocupação. De conhecimento dos valores de área (m²) de cada ocupação vetorizada, foi possível determinar a contribuição percentual de cada polígono dentro de 1 m² de raio e delimitar as células de densidade da ocupação. Como resultado médio de todo o recorte foi obtido o valor de 53%, o que significaria uma avaliação de suscetibilidade intermediária para o indicador, mas o trecho correspondente ao Balneário Querência apresentou as maiores áreas de densidade, enquanto a porção a esquerda da imagem, referente ao Balneário Atlântico Sul, ficou com as menores ocorrências (figura 32).

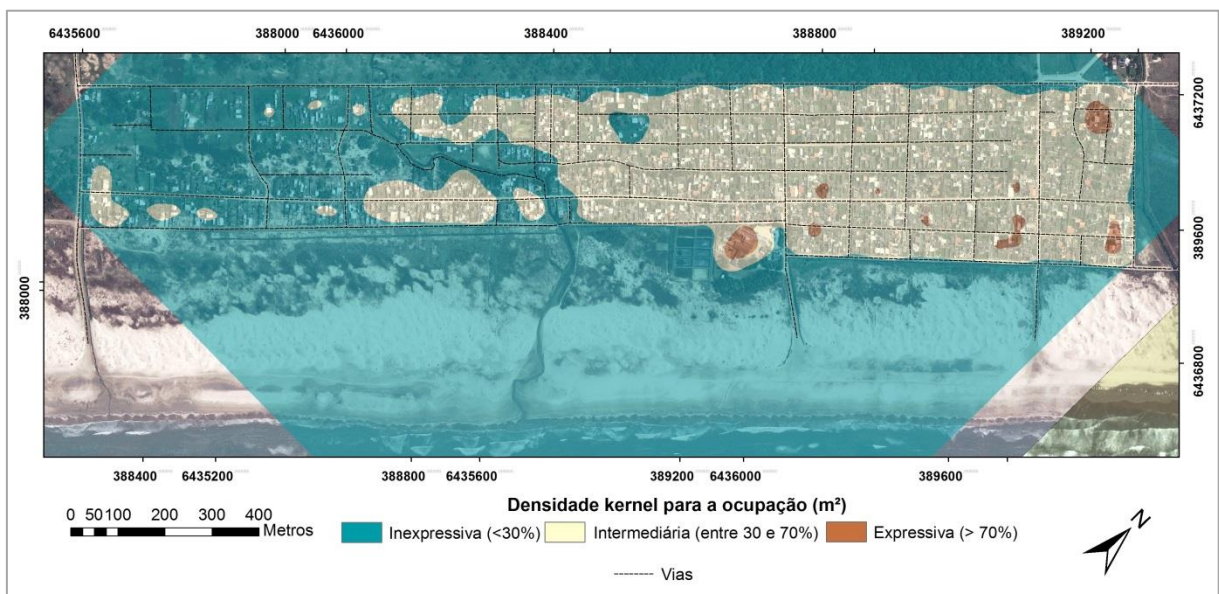


Figura 32: Densidade da ocupação nos Balneário Querência-Atlântico Sul.

Essa característica do recorte é explicada pelo processo de ocupação que se estabeleceu no sentido NE → SW seguindo do núcleo urbano central do Balneário Cassino em direção à zona mais periférica. O Balneário Querência é o berço da urbanização deste recorte, inclusive apresentando células com adensamento superior a 70% (a alta suscetibilidade). Como aponta Souza (2003) a ocupação as margens do sangradouro e do loteamento atualmente conhecido como Balneário Atlântico Sul (porção SW), que correspondem a posses mais recentes do recorte e exibem a menor densidade (baixa suscetibilidade). Mesmo com células de intermediária a baixa suscetibilidade, o Balneário Atlântico Sul já mostra a tendência da ocupação em ambientes costeiros, com a presença de uma faixa de adensamento mais próxima a linha de costa.

Essa característica é nitidamente constatada no Balneário Hermenegildo, onde as maiores células de densidade estão localizadas na porção mais próxima a linha de costa (figura 33). Como exposto no trabalho de Koerner (2009) o sítio original do balneário foi estabelecido próximo a linha de costa e a expansão se deu primeiramente para as extremidades e, posteriormente, em direção ao continente. A média da densidade da ocupação no recorte é de 68%, correspondendo à suscetibilidade intermediária, mas com diversas células superiores a 70%, predominantemente próximas a linha de costa.

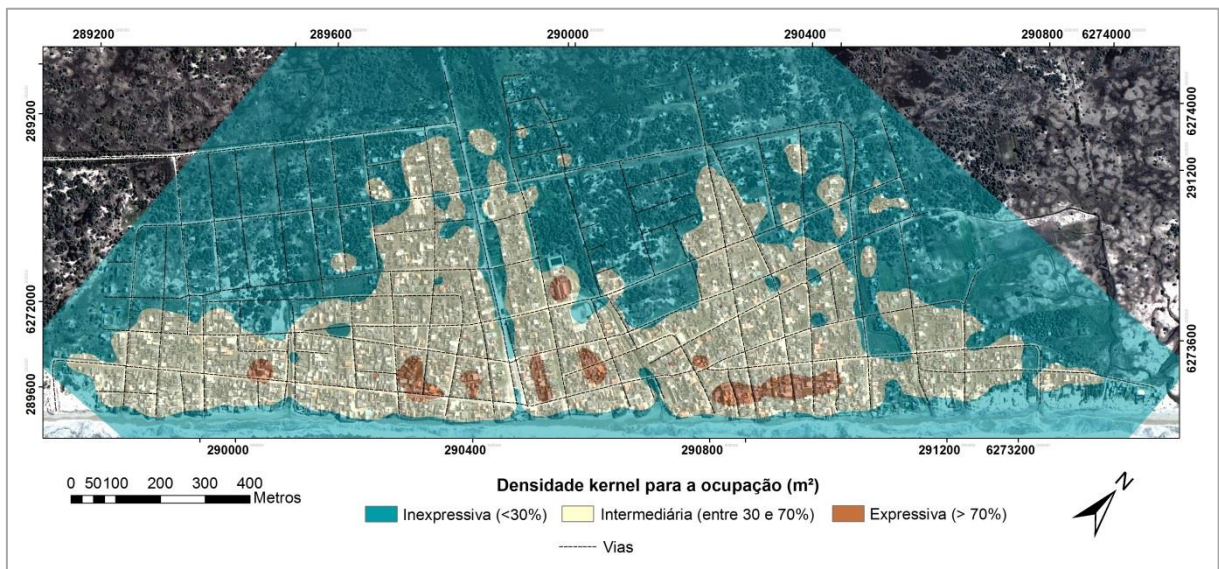


Figura 33: Densidade da ocupação no Balneário Hermenegildo.

A principal característica da tipologia urbana do balneário é sua proximidade da linha de costa (abordado no item 5.1.5) e, como resultado deste indicador, o

adensamento da ocupação próximo a atual linha de costa. Essas áreas estão localizadas onde os efeitos do dinamismo costeiro são mais intensos e, como foi analisado no item anterior, isto se consubstancializa em um fator de alta suscetibilidade, pois compromete os processos costeiros que se estabelecem na orla marítima (em especial a troca sedimentar).

Com relação à degradação ambiental, segundo Koerner (2012) no balneário ainda existe a retirada de areia das dunas para uso na construção civil. No trabalho de campo foi constatado o corte e remoção de dunas no interior do balneário, assim como a deposição de lixo no mesmo local. Os novos loteamentos promoveram a expansão urbana para áreas mais interiores do balneário, mas foi possível identificar nos trabalhos de campo a verticalização (mais de um pavimento) de algumas edificações localizadas nas quadras defrontantes ao mar. Essa tendência, se confirmada em longo prazo, pode dificultar ainda mais a proposta de relocação das residências para fins de estabelecimento da faixa de proteção devido à retração da linha de costa.

6.2. Crescimento da ocupação e vulnerabilidade nos balneários

6.2.1. Balneário Querência-Atlântico Sul

A partir de um conjunto de imagens de satélite foi possível estimar o percentual de crescimento do balneário. No ano 2002 a ocupação do recorte Querência-Atlântico Sul correspondia a uma área total de 95.839 m² (figura 34). Percebe-se que na data referida a porção norte do mapa, que corresponde ao Balneário Querência, já se encontrava consolidada, pois esta área remete aos primeiros lotes estabelecidos no recorte. A ocupação próxima ao sangradouro, e ao sul deste, apresenta distribuição mais rarefeita e corresponde em grande parte ao Balneário Atlântico Sul.

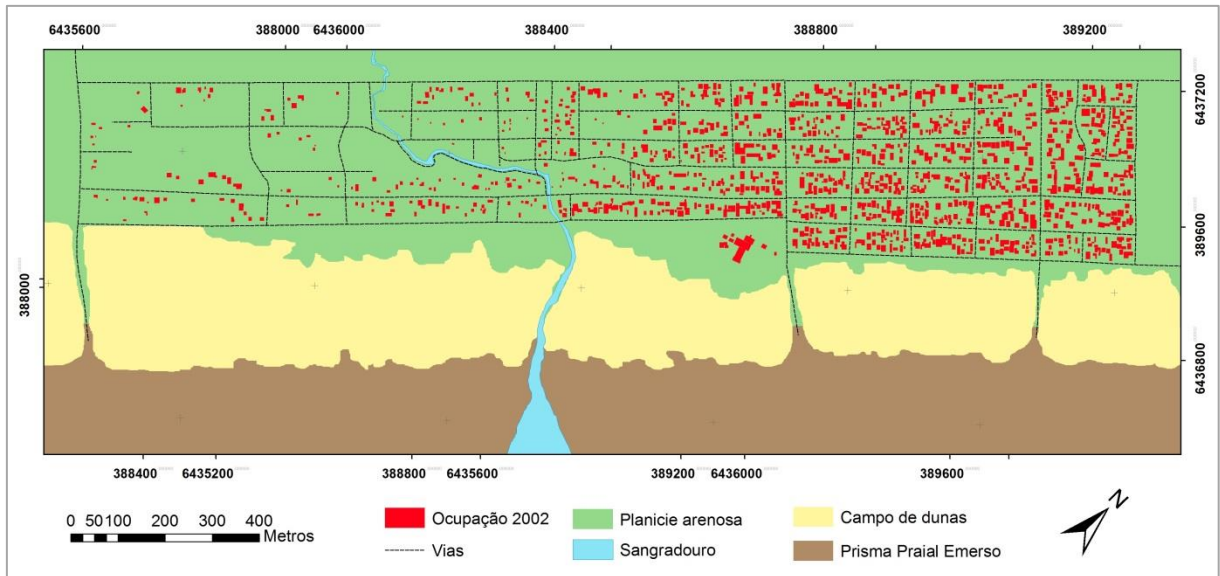


Figura 34: Ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul – imagem 2002.

Souza (2003), em trabalho sobre a expansão urbana do Balneário Cassino, aponta o final da década de 1990 como a data do início da ocupação no Balneário Atlântico Sul, mas já existiam edificações esparsamente distribuídas desde a década de 1980 (NOGUEZ & HARTMANN, 2005). Por meio de aerofotografias e trabalhos de campo, Souza (2003) já constatava o acelerado crescimento dos loteamentos. Esse diagnóstico é corroborado pela análise da imagem 2006, onde se averiguou um incremento de 25% de área construída, chegando a um total de 119.757 m².

Na imagem 2006 (figura 35) é possível perceber o adensamento na porção central e nordeste do mapa que é atenuado em direção ao sangradouro. Na porção centro-sul do mapa começa a se estabelecer um adensamento próximo ao campo de dunas. Na imagem 2009 (figura 36) o processo de ocupação já chegava a 139.364 m² de área construída correspondendo a um incremento de 45% se comparada a imagem base de 2002. Analisando a imagem de 2012 (figura 37) foi possível estimar o crescimento de 80% da área construída no recorte espacial, correspondendo a um total de 172.243 m².

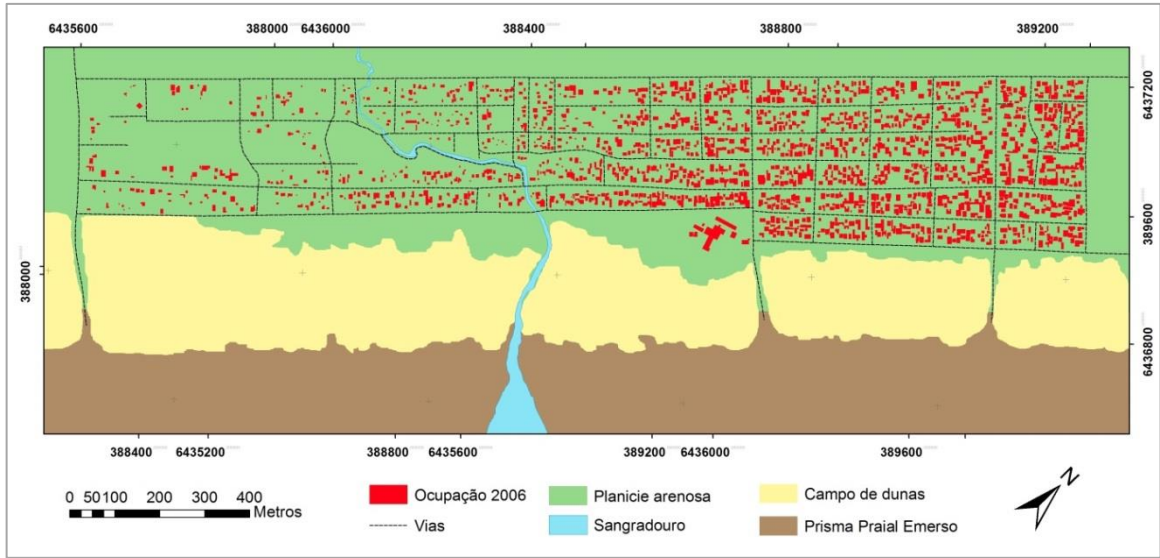


Figura 35: Ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul – imagem 2006.

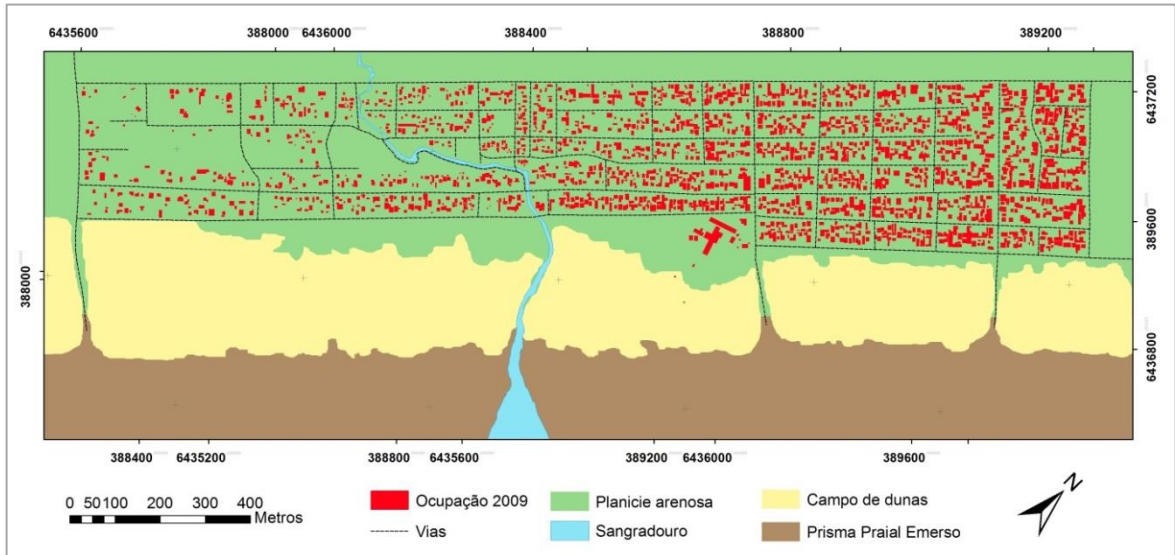


Figura 36: Ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul – imagem 2009.

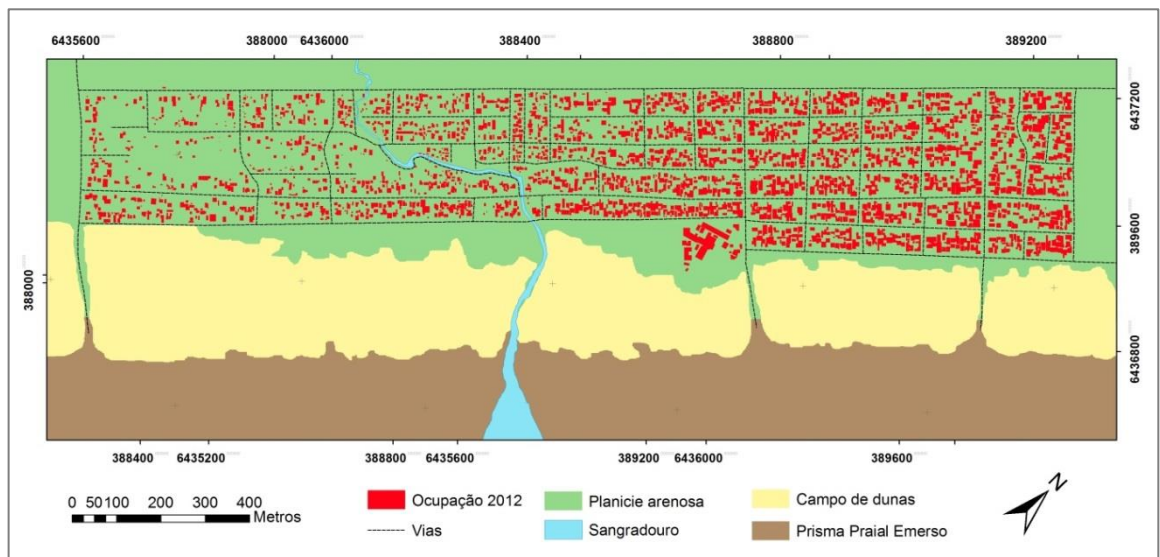


Figura 37: Ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul – imagem 2012.

As áreas onde houve maior expansão da ocupação podem ser melhor visualizadas a partir da sobreposição dos planos de informação (layers), com o vetor base mais antigo da imagem 2002 sobre o vetor mais atual da imagem 2012 (figura 38). A contribuição de cada imagem para a estimativa de crescimento com os valores de área total e percentual estão expressas na figura 39.

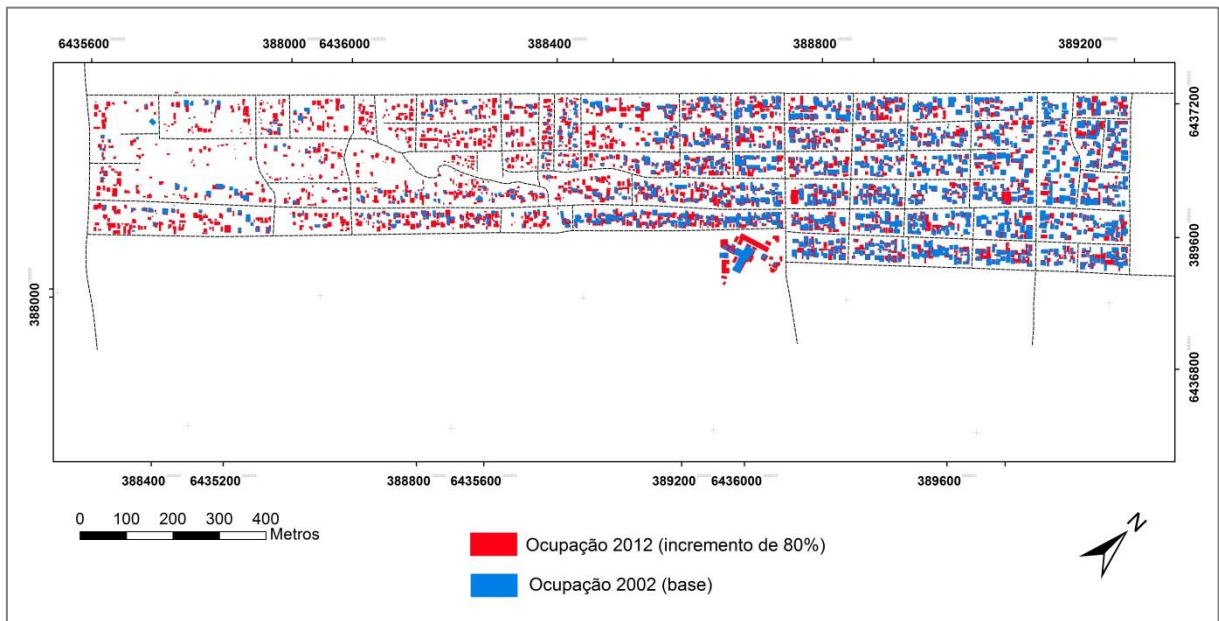


Figura 38: Sobreposição dos vetores para a identificação das áreas de expansão da ocupação no Balneário Querência-Atlântico Sul. Polígonos azuis representam a ocupação 2002 e polígonos vermelhos, a ocupação 2012.

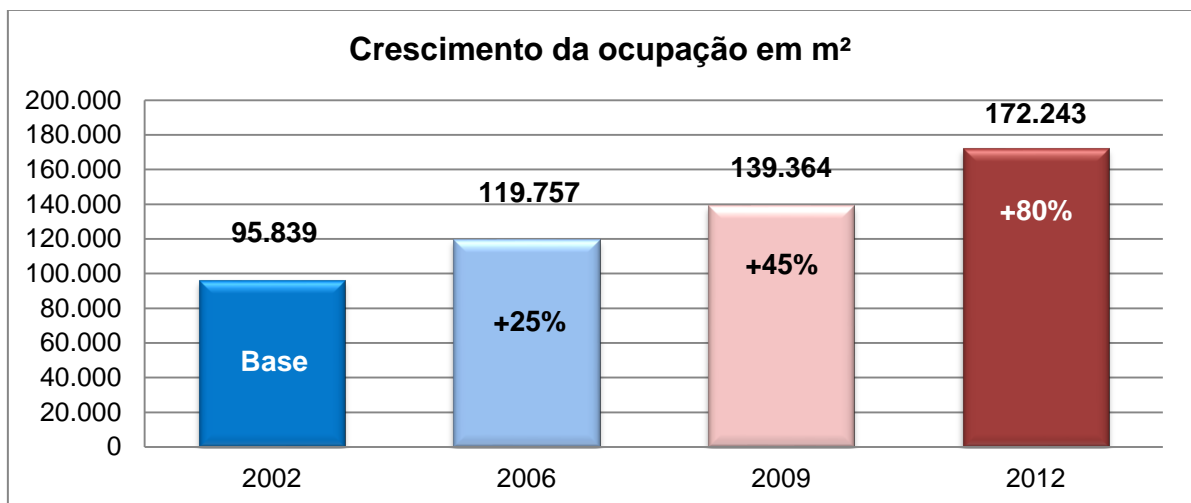


Figura 39: Estimativa do crescimento da ocupação do Balneário Querência-Atlântico Sul entre os anos de 2002, 2006, 2009 e 2012.

Na atualidade, a ocupação do balneário está visivelmente consolidada, permanecendo poucos lotes desocupados na porção sudoeste do mapa, que correspondem a áreas com terrenos naturalmente alagadiços. Essa característica do

terreno, depressões morfológicas que são herança do antigo cordão de dunas, não impediu que essas áreas fossem parceladas mesmo com o impedimento legal atribuído pelo Artigo 192 do Código Estadual do Meio Ambiente.

Problemas de infraestrutura marcam a paisagem urbana do Balneário Querência-Atlântico Sul. Não existem vias pavimentadas, sistema artificial de drenagem adequado ou sistema de tratamento de esgoto. A própria irregularidade fundiária dificulta o desenvolvimento urbano. No caso do Balneário Atlântico Sul, a maior parcela das ocupações estão assentadas sobre dunas ou em áreas alagadiças. Noguez & Hartmann (2001) já apontavam a precariedade do loteamento durante seu estágio inicial e desacatavam que sem o planejamento adequado, em observância com a legislação ambiental, a ocupação destas áreas comprometeria o sistema dunar e poderia trazer prejuízo às edificações ali estabelecidas.

Em trabalho posteriormente publicado, Noguez & Hartmann (2005) voltam a advertir que a ocupação do então loteamento Querência (próximo ao sangradouro) era sazonalmente soterrada pelo avanço das dunas. Essa transgressão arenosa ainda é constatada às margens da Avenida Cassino, atingindo as edificações localizadas defronte o campo de dunas (figura 40), mas ações mitigadoras são tomadas pela Secretaria Especial do Cassino (SEC) visando a manutenção do Plano de Manejo de Dunas.



Figura 40: Edificações e delimitação de lotes sobre o campo de dunas do Balneário Atlântico Sul no prolongamento da Avenida Cassino (foto A. Fonte: Souza, 2003); Ocupação atual na mesma via adjacente ao campo de dunas (foto B).

Paralelo a Avenida Cassino existe uma vala construída com a finalidade de minimizar a transgressão das dunas sobre a ocupação, assim como há intervenções de terraplanagem na via citada principalmente nos meses de primavera-verão, período de maior incidência dos ventos do quadrante NE. Como agravante, é

constantemente observado nestes balneários a deposição de lixo nas vias e no campo de dunas.

A abertura e terraplanagem de vias de acesso à praia promovem a descontinuidade das dunas frontais e o rebaixamento do terreno, servindo como “canais” durante os eventos de marés de tempestade a partir da intrusão da água do mar. A preocupação com essas ocorrência motivou o fechamento de alguns desses acessos durante a década de 1990 (NEMA, 2008). Como resposta geomorfológica, a pressão exercida pela urbanização a partir da retirada/corte das dunas, terraplanagem das vias de circulação e consequente compactação do solo, o relevo das áreas mais consolidadas do recorte apresenta os mais baixos valores de elevação do terreno (figura 41).

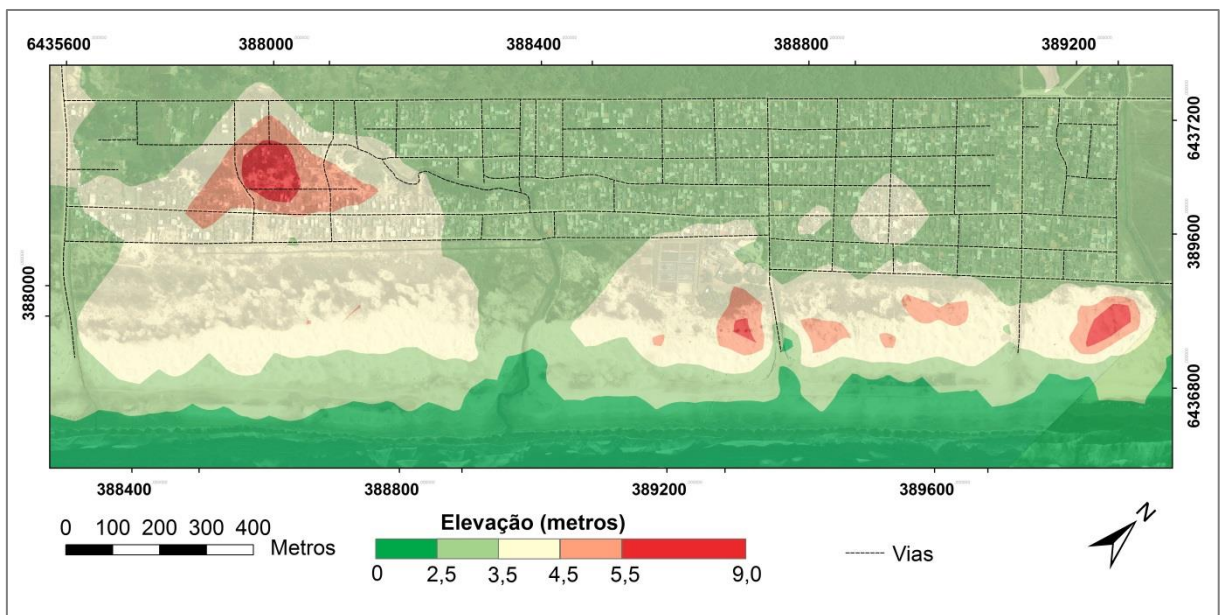


Figura 41: Topografia do sítio urbano do recorte Querência-Atlântico Sul.

Essa alteração na morfologia é realçada quando observamos a topografia do trecho que possui os menores valores de densidade. Ressaltamos que entre os dois trechos (entre os balneários) existem um canal de drenagem que naturalmente esculpe a paisagem e confere menor elevação ao recorte. A preocupação com os efeitos da ação antrópica sobre o cordão de dunas no Balneário Querência-Atlântico Sul, como abordado anteriormente, aparecem nos trabalhos de Noguez & Hartmann (2001) e Noguez & Hartmann (2005). A remoção de dunas é apontada pelos autores como a principal degradação ambiental promovida pelos loteamentos irregularmente estabelecidos (figura 42).



Figura 42: Trecho consolidado da ocupação com edificações assentadas sobre dunas (fotos A e B); Trecho em expansão com corte de dunas para o assentamento (fotos C e D).

O trecho próximo ao sangradouro e do atual Balneário Atlântico Sul é caracterizada pelos autores como inadequado para a urbanização a partir do argumento que se trata de uma Área de Preservação Ambiental (APP) segundo o Código Florestal e também salientam que melhorias infraestruturais, mesmo que necessárias, não seriam recomendadas visto que poderiam acelerar o processo de ocupação ilegal. Segundo Noguez & Hartmann (2005) para minimizar os efeitos da urbanização em um possível cenário de legalização dos loteamentos, seria necessário um plano de manejo ambiental adequado para o trecho.

Além da remodelagem na fisiografia, a ocupação no balneário tem promovido respostas hidro-geomorfológicas na drenagem local. Seriam necessários ensaios de infiltração e avaliação da compactação do solo, além do mapeamento da área ocupada aqui realizado, para estimar a contribuição urbana para os alagamentos, mas é perceptível que a falta de infraestrutura de drenagem tem papel decisivo neste caso. Com a evolução do estágio de ocupação sem a infraestrutura urbana

necessária, as áreas alagadiças tendem a sobrecarregar a drenagem local, visto que estão atreladas ao lençol freático muito próximo da superfície como destaca Souza (2003).

Em episódios de alta pluviosidade (acima dos 60 mm/dia) os terrenos localizados no reverso do antigo cordão de dunas acumulam uma grande quantidade de água, o que acarreta em diversos pontos de alagamento (figura 43). Também foi constatado através dos trabalhos de campo que mesmo que a maioria das edificações tenham suas fundações em uma cota mais altas que as vias (assentamento sobre dunas), muitos lotes estão abaixo do nivelamento das vias (figura 44). Esses locais são inundados pelas águas assim que acontece o extravasamento das valas próximas (esgoto doméstico), promovendo um quadro de grande precariedade sanitária.



Figura 43: Ocorrência de áreas alagadiças no reverso do antigo cordão de dunas regressivas.



Figura 44: Lotes localizados no reverso do antigo cordão de dunas (foto A); Lote mais baixo que a via (foto B).

A correlação entre a topografia e o crescimento da ocupação é o principal fator de vulnerabilidade no Balneário Querência-Atlântico Sul. Os episódios de inundação costeira provocados por marés meteorológicas são constantes, mas com impactos diferenciados. A planície costeira possui baixa declividade e associada às descontinuidades em trechos do cordão de dunas (sangradouros e vias de acesso) fazem com que determinadas áreas fiquem mais expostas de que outras. Os efeitos das “ressacas” também são atenuados devido a longa distância entre a faixa de ocupação e a linha de costa.

Os alagamentos talvez sejam o mais oneroso processo hidro-geomorfológico que ocorre no recorte. A própria densidade da ocupação, com o aumento da impermeabilização dos lotes, ocasiona uma maior descarga do acumulado pluviométrico diretamente nas vias, onerando o já frágil sistema de escoamento e infiltração. Somado a isso, está o constante nivelamento do terreno nas áreas de expansão urbana que eliminam as características topográficas do campo de dunas sem o devido planejamento da ocupação.

6.2.2. Balneário Hermenegildo

A imagem 2000 (figura 45) mostra que a ocupação do balneário neste ano representava 185.931 m² de área construída. Na imagem 2005 o incremento da ocupação foi de 10% passando a um total de 205.390 m² de área construída (figura 46). Nesta imagem é possível perceber que existe uma pequena expansão na porção sudoeste do balneário com o estabelecimento de novos loteamentos.

A análise da imagem 2007 (figura 47) aponta um incremento de 20% se comparada com a imagem do ano 2000, sendo que a área construída é de 222.884 m². A expansão continua sendo mais perceptível na porção sudoeste do mapa a partir dos novos loteamentos.

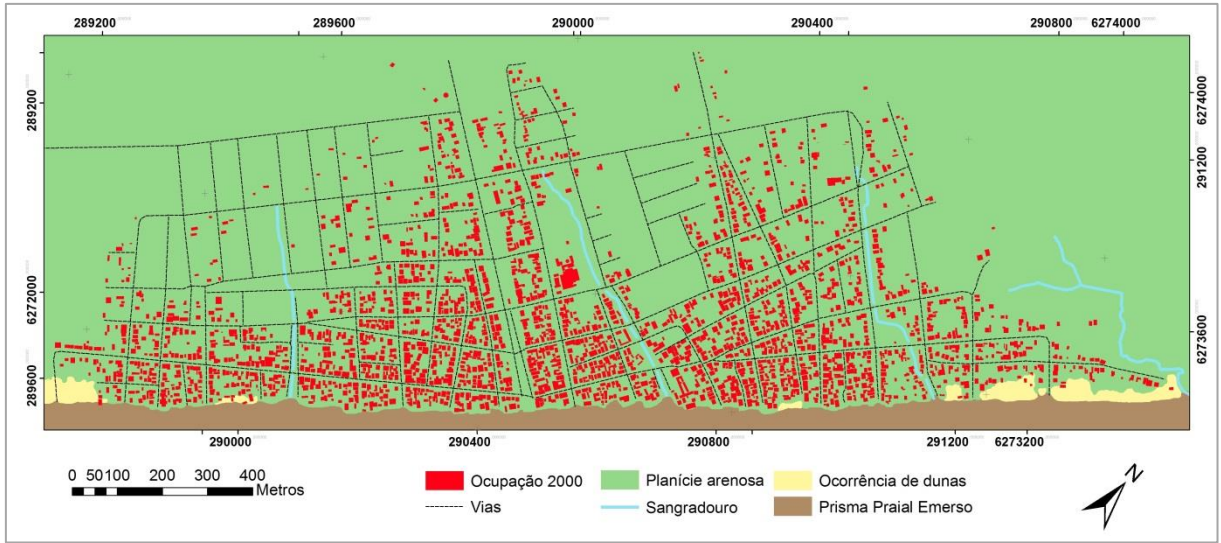


Figura 45: Ocupação do Balneário Hermenegildo – imagem 2000.



Figura 46: Ocupação do Balneário Hermenegildo – imagem 2005.



Figura 47: Ocupação do Balneário Hermenegildo – imagem 2007.

Cabe destacar que nos anos de 2001, 2002, 2005 e 2007 houve eventos de alta energia que provocaram a destruição de edificações à beira mar (figura 48) conforme aponta Teixeira (2007). O intervalo também corresponde a um dos picos de retração (2005-2006) identificados por Albuquerque (2013). Algumas dessas perdas patrimoniais foram detectadas durante a vetorização dos alvos. Para o período citado, foi estimada a destruição de 470 m² de área construída a partir dos polígonos faltantes nas imagens 2005, 2007 e 2012 que estavam localizados junto à linha de costa na imagem 2000.



Figura 48: Edificações destruídas na orla do Balneário Hermenegildo. Fonte: Teixeira, 2007 (fotos A, B e C).

A imagem 2010 (figura 49) apresenta um incremento de 25% se comparada à imagem 2000, chegando a um total de 231.557 m² de área construída dentro do recorte. A expansão da ocupação continua sendo mais acentuada na porção sudoeste, mas com contribuição da porção nordeste do balneário. Para uma melhor visualização das áreas de expansão no balneário foi realizada uma sobreposição do vetor correspondente a imagem base 2000 sobre o vetor mais recente da imagem 2010 (figura 50). Também são apresentados os dados na forma de gráfico com os valores totais de área construída (m²) e crescimento percentual (figura 51).



Figura 49: Ocupação do Balneário Hermenegildo – imagem 2010.

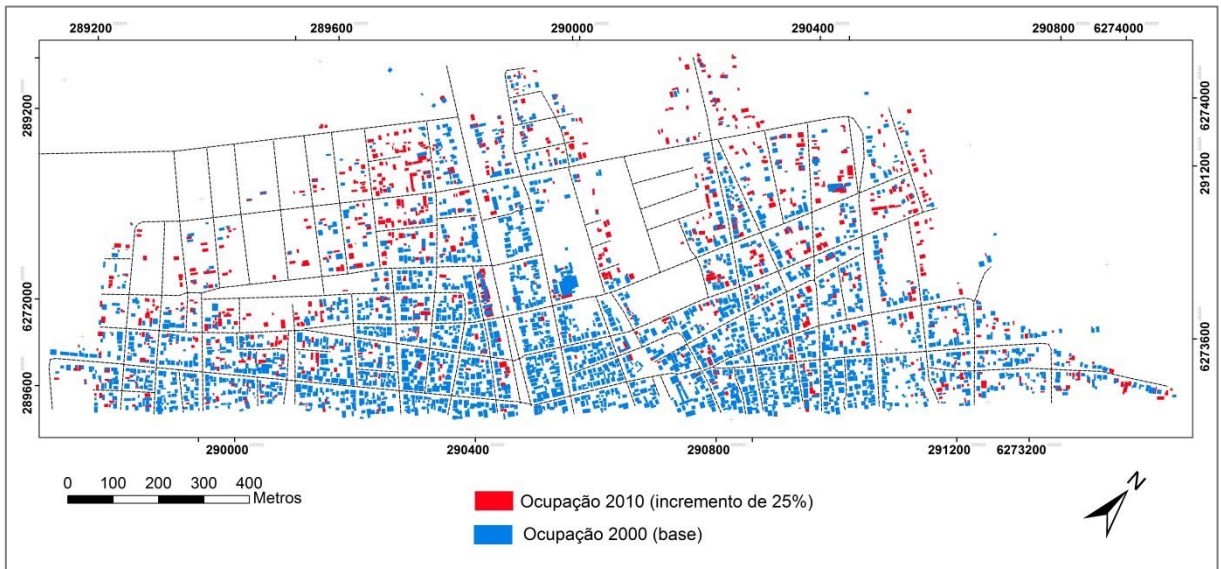


Figura 50: Sobreposição dos vetores para a identificação das áreas de expansão da ocupação no Balneário Hermenegildo.

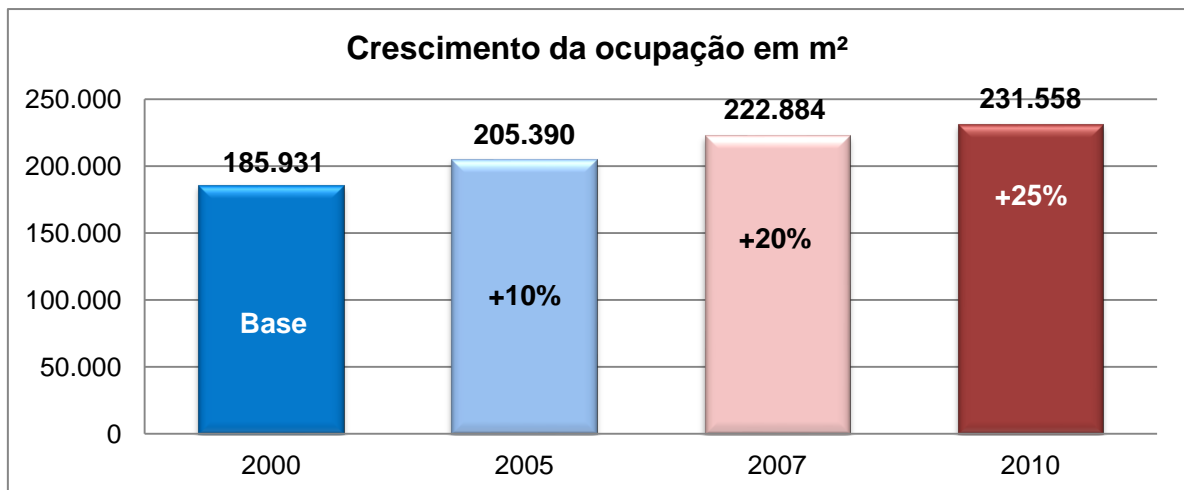


Figura 51: Estimativa do crescimento da ocupação do Balneário Hermenegildo entre os anos de 2000, 2005, 2007 e 2010.

Conforme já exposto, Maia (2011) ressalta a suscetibilidade topográfica advinda dos canais de drenagem que facilitam a entrada de água do mar durante os episódios de marés de tempestade positivas. Ao sobrepor os dados de elevação, as vias de circulação e as ocorrências de canais de drenagem, é possível visualizar as áreas mais baixas nas adjacências dos sangradouros, morfologia esculpida pelo sistema de drenagem (figura 52).

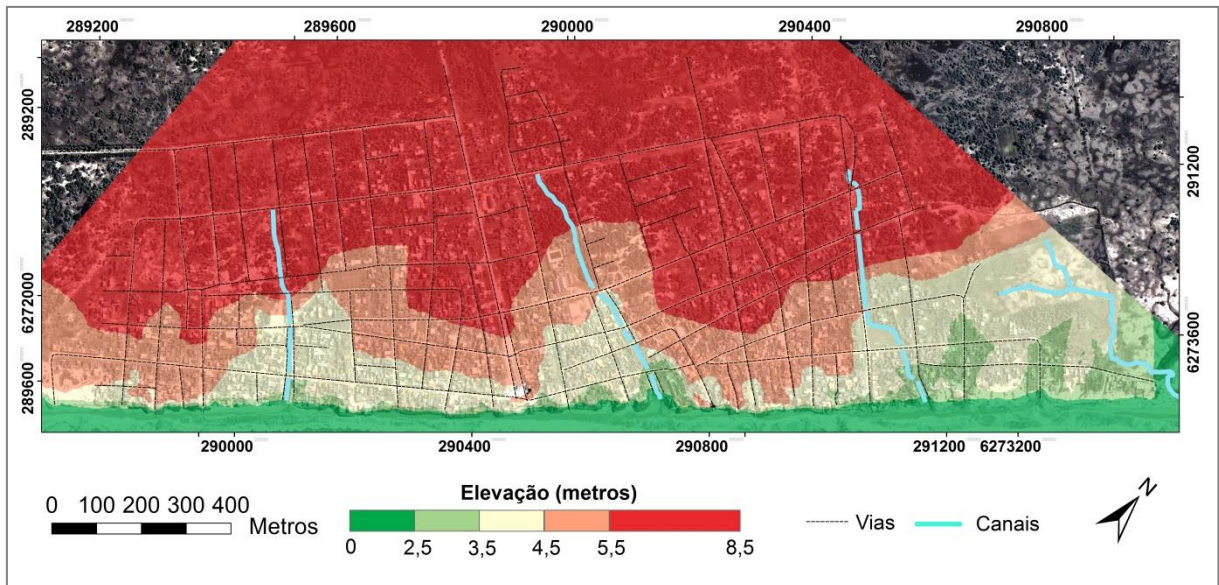


Figura 52: Composição de layers destacando a suscetibilidade topográfica referente a presença de canais de drenagem.

Mas o principal elemento de vulnerabilidade do Balneário Hermenegildo é a retração da linha de costa causada pelo intenso processo erosivo. Esse indicador tem influência decisiva sobre todos os outros componentes da análise. A perda de terreno foi constatada em diversos estudos, com taxas que variam de 1,22 metros/ano (KOERNER, 2012) a 4 metros/ano (TOLDO JR., 2005). Essa variação se deve aos métodos empregados e a frequência de levantamentos/dados disponíveis.

A ocorrência de dunas predominantemente escarpadas ou ausência da mesma, a presença de estruturas de contenção em grande parte da extensão de orla urbanizada e a pequena distância de atuais 28,83 metros entre esta e a linha de costa são sintomas da retrogradação aliada à dificuldade em se estabelecer uma faixa de proteção no balneário. Como resultado, a fixação de trechos da linha de costa promove a projeção de ocupações guarnecidas por estruturas, principalmente daquelas classificadas como de maior suscetibilidade.

A expansão da ocupação sobre o cordão de dunas estabelece assim uma elevada suscetibilidade à dinâmica costeira que naturalmente, devido à configuração da linha de costa, refração de ondas e marés de tempestade, atua de forma impactante na porção sul da costa do Rio Grande do Sul. Nem mesmo a topografia relativamente elevada do sítio urbano do Balneário Hermenegildo é um elemento atenuante do processo erosivo, pois enquanto não ocorrer o equilíbrio dinâmico entre os processos costeiros e a costa, a retração continuará a ocorrer. Com o mapeamento da área construída constatou-se a significativa expansão urbana em áreas interioranas do balneário, que são caracterizadas por estarem na porção mais elevada do recorte, e, obviamente, mais distante da linha de costa o que indica uma menor exposição à dinâmica costeira e sendo as mais indicadas para novos assentamentos.

6.3. Quadro comparativo e síntese da análise nos balneários

A tabela 5 apresenta uma síntese dos resultados da avaliação individual dos indicadores conforme o grau de suscetibilidade, bem como do crescimento da ocupação e da vulnerabilidade.

Tabela 05: Quadro comparativo da avaliação dos indicadores, estimativa de crescimento da ocupação e vulnerabilidade.

Parâmetros	Querência-Atlântico Sul	Hermenegildo
<i>Evolução da linha de costa</i>	<p>Linha de costa com evolução progradante e tendência a acresção.</p> <p><i>Baixa suscetibilidade</i></p>	<p>Linha de costa com predominante processo erosivo. Retração acentuada.</p> <p><i>Alta suscetibilidade</i></p>
<i>Configuração de dunas</i>	<p>Presença predominante de dunas frontais estáveis e amplo campo de dunas vegetado.</p> <p><i>Baixa suscetibilidade</i></p> <p>Obs. Existem discontinuidades do cordão de dunas por vias de acesso à praia e canais de drenagem que podem conferir suscetibilidade intermediária.</p>	<p>Ausência de dunas frontais em grande parte da orla urbanizada. Ocorrência de dunas predominantemente escarpadas.</p> <p><i>Alta suscetibilidade</i></p>

<p>Elevação do terreno</p>	<p>Sítio urbano estabelecido predominantemente entre as cotas de 3 e 5 metros.</p> <p><i>Suscetibilidade intermediária</i></p> <p>Obs. Ocorrência de trechos urbanos com elevação inferior a 3 metros, associados a canais de drenagem, que conferem alta suscetibilidade.</p>	<p>Sítio urbano estabelecido predominantemente entre as cotas de 3 e 5 metros.</p> <p><i>Suscetibilidade intermediária</i></p> <p>Obs. Áreas de expansão urbana localizadas em cotas superiores a 5 metros, conferindo baixa suscetibilidade.</p>
<p>Estruturas de contenção costeira</p>	<p>Ausência de estruturas.</p> <p><i>Baixa suscetibilidade</i></p>	<p>Presença predominante de estruturas de contenção compostas predominantemente por muros de alvenaria, enrocamento, blocos de concreto, sacos com concreto e pneus concretados. Materiais que fixam a linha de costa pontualmente, comprometendo o balanço sedimentar.</p> <p><i>Alta suscetibilidade</i></p>
<p>Distância média da faixa urbana</p>	<p>Média de 269,48 metros de distância entre a faixa urbana e o fronte das dunas. Ampla faixa de proteção.</p> <p><i>Baixa suscetibilidade</i></p>	<p>Média de 28,83 metros de distância entre a faixa urbana e as estruturas de contenção/escarpa erosiva.</p> <p><i>Alta suscetibilidade</i></p>
<p>Densidade da ocupação</p>	<p>Densidade predominantemente entre 30% e 70%.</p> <p><i>Suscetibilidade intermediária</i></p>	<p>Densidade predominantemente entre 30% e 70%.</p> <p><i>Suscetibilidade intermediária</i></p>
<p>Crescimento da ocupação</p>	<p>Crescimento estimado da ocupação no balneário em 80% entre os anos 2002 e 2012. Áreas de expansão sobre dunas interiores, infraestrutura urbana deficitária e irregularidade fundiária.</p>	<p>Crescimento estimado da ocupação no balneário em 25% entre os anos 2000 e 2010. Áreas de expansão na porção mais interior e elevada. Projeções apontam para a contínua perda de patrimônio para as ocupações próximas a linha de costa.</p>

<p>Vulnerabilidade</p>	<p>A vulnerabilidade está, principalmente, relacionada à topografia. Episódios de inundação provocados por marés de tempestade associados à baixa topografia e declividade do terreno. Ocorrência de pontos de alagamento na área urbanizada. Características da morfologia aliada a ocupação tornam eminente a necessidade de obras infraestruturais.</p>	<p>A vulnerabilidade é primariamente fruto da retração da linha de costa. A dinâmica erosiva e a ocupação defrontante a praia, resultam em um cenário de risco. A ausência de uma zona de amortecimento, na forma de dunas ou obras de engenharia costeira, impulsionou a construção de estruturas de contenção pelos moradores. Essas intervenções minimizam o impacto iminente, mas trazem problemas indiretos aos processos que se estabelecem na costa.</p>
-------------------------------	--	---

No Balneário Querência-Atlântico Sul, a acreção da linha de costa, somada as políticas públicas que preservaram a ampla área de proteção na forma do campo de dunas, definem a distância média de 269, 48 metros da faixa urbana. Essas mesmas características, em conjunto com o expressivo aporte sedimentar, promovem a presença das dunas frontais e descartam a ocorrência de estruturas de contenção. A descontinuidade do cordão de dunas é um dos pontos relevantes, visto que a baixa elevação é um dos pontos de suscetibilidade no balneário, pois facilita os episódios de inundação.

Existe um significativo crescimento da ocupação no balneário. O acelerado processo por si mesmo já seria um problema para os órgãos gestores municipais, visto que a concentração urbana demanda todo tipo de necessidades básicas como: zoneamento do uso do solo, construção de equipamentos urbanos e infraestrutura sanitária, avaliando apenas os aspectos físico-ambientais do planejamento urbano. Mas se levarmos em consideração que tratasse de loteamentos onde grande parte da gleba urbana são posses irregulares, estabelecidas sobre um sistema dunar, que possui uma drenagem superficial deficitária e que o crescimento populacional é de aproximados 48% para os últimos 10 anos (2002-2012), o cenário torna-se ainda mais preocupante.

Mesmo com um incremento de 80% de área total construída dentro do recorte, o trecho como um todo apresenta uma dinâmica menos acelerada se avaliarmos apenas o crescimento no Balneário Atlântico Sul. Leal Alves & Oliveira

(2012) estimaram que o crescimento para o referido trecho do balneário foi maior que 100% entre os anos de 2002 e 2009. E como constatado, os problemas de ordem ambientais apontados por Noguez & Hartmann (2001), Souza (2003) e Noguez & Hartmann (2005) permanecem relevantes no Balneário Querência-Atlântico Sul. Atualmente parte dos lotes que formam o Balneário Querência-Atlântico Sul estão passando por um processo de regularização fundiária (PMRG, 2012), o que pode ser crucial para o desenvolvimento urbano local.

Conforme o exposto, a principal vulnerabilidade do sítio urbano Querência-Atlântico Sul está na correlação da suscetibilidade de indicadores ligados a morfologia do terreno. A baixa elevação da planície costeira, a pequena declividade do perfil, a descontinuidade das dunas frontais promovida pelas vias e canais de drenagem, expõe o balneário a inundações durante episódios de marés de tempestade, que só não são mais impactantes devido a condição de distância e guarida do sítio urbano, o que atenua a exposição a dinâmica costeira. A ocorrência de áreas depressionárias, que remetem ao reverso do antigo cordão de dunas, em conjunto com a alta pluviosidade nos meses de inverno também acarreta transtornos na forma de alagamentos, que na atualidade talvez seja o maior problema enfrentado pelos moradores do balneário.

O Balneário Hermenegildo foi o recorte que mais apresentou indicadores com alta suscetibilidade. A erosão costeira aliada a ocupação próxima da linha de costa, pressionou o cordão de dunas a ponto de suprimi-lo na maior parte do trecho de orla urbanizado. A distância média da faixa urbana no balneário é de 28,83 metros, abaixo do mínimo recomendado como área de proteção/amortecimento. Como agravante, as estruturas de contenção presentes na orla promovem a fixação da linha de costa, impedindo o ajuste geomorfológico da costa e projetando trechos onde a ocupação é mais densa.

A estimativa de crescimento da ocupação mostrou um incremento de 25%, pequeno se comparado ao recorte espacial anterior. Mas diferente do recorte Querência-Atlântico Sul, o Balneário Hermenegildo representa um núcleo urbano por si mesmo, com mais de um século de ocupação e com área construída estimada em 185.931 m² ainda no ano 2000, superior à área atual do recorte Querência-Atlântico Sul estimada em 172.243 m². Mesmo se tratando de uma ocupação formada

inicialmente sem planejamento, as intervenções realizadas a partir da década de 1970 descritas por Teixeira (2007), como a colocação de saibro nas vias e o uso de acácias para a estabilização do campo de dunas, foram fatores determinantes para a consolidação urbana do balneário sem maiores prejuízos.

Em contra partida, a acentuada retração da linha de costa que se estabelece no balneário promove a perda de terreno e o colapso das estruturas de contenção, assim como edificações, sendo o principal fator de vulnerabilidade do recorte e expondo ao risco o patrimônio das quadras adjacentes a praia. As alternativas de manejo apresentadas por Koerner (2012) mostram o quão necessário se faz a aplicação de diretrizes de ocupação neste balneário, limitando novas construções próximas à linha de costa e estabelecendo uma faixa de proteção com base na legislação para orlas urbanizadas.

Um ponto positivo foi à constatação que as áreas de maior crescimento da ocupação, entre 2000 e 2010, são aquelas localizadas no interior do balneário, ou seja, distante da linha de costa e fora da área de mais propensa a retração. Como aponta Koerner (2012), a relocação dos terrenos é uma possibilidade a ser debatida, e essas áreas interiores elevadas poderiam ser as receptoras da ocupação. O estabelecimento de uma faixa de proteção a partir das taxas de erosão metros/ano é outra alternativa plausível de manejo e, em longo prazo mais efetiva que a construção de estruturas de contenção ou o aterramento dos terrenos perdidos. Mas é notório que essa alternativas só teriam êxito se apoiadas pela comunidade local e se os gestores tivessem como efetivar o ressarcimento ou relocação dos terrenos atingidos.

Por fim, as figuras 53 e 54 apresentam mapas com a síntese dos dados dos balneários Querência-Atlântico Sul e Hermenegildo, respectivamente, a partir da sobreposição de camadas vetoriais (vias de circulação, ocorrência de dunas) e matriciais (densidade da ocupação, imagem de satélite). Acompanhando a espacialização dos indicadores de suscetibilidade, foram inseridos os perfis topográficos dos recortes analisados.

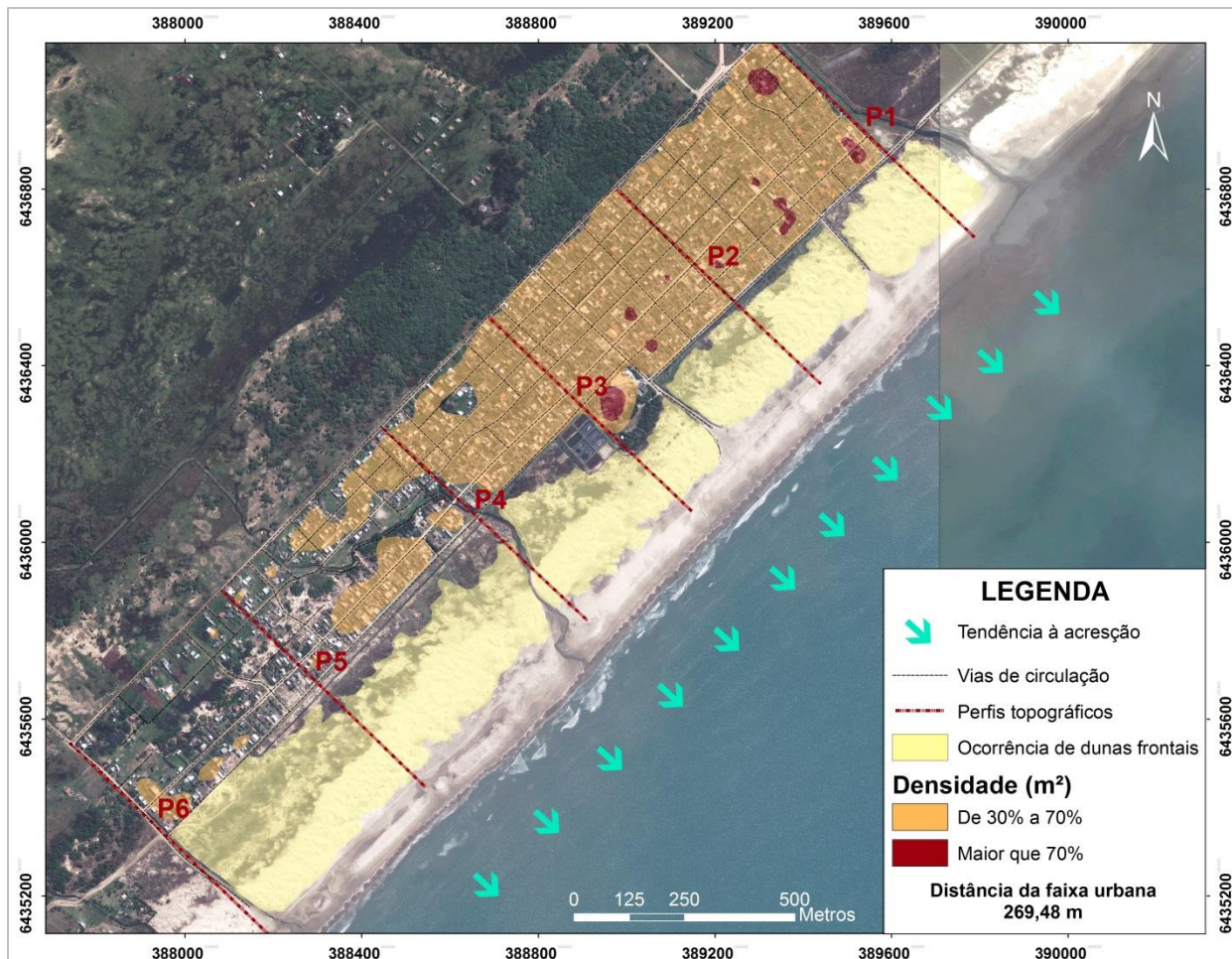
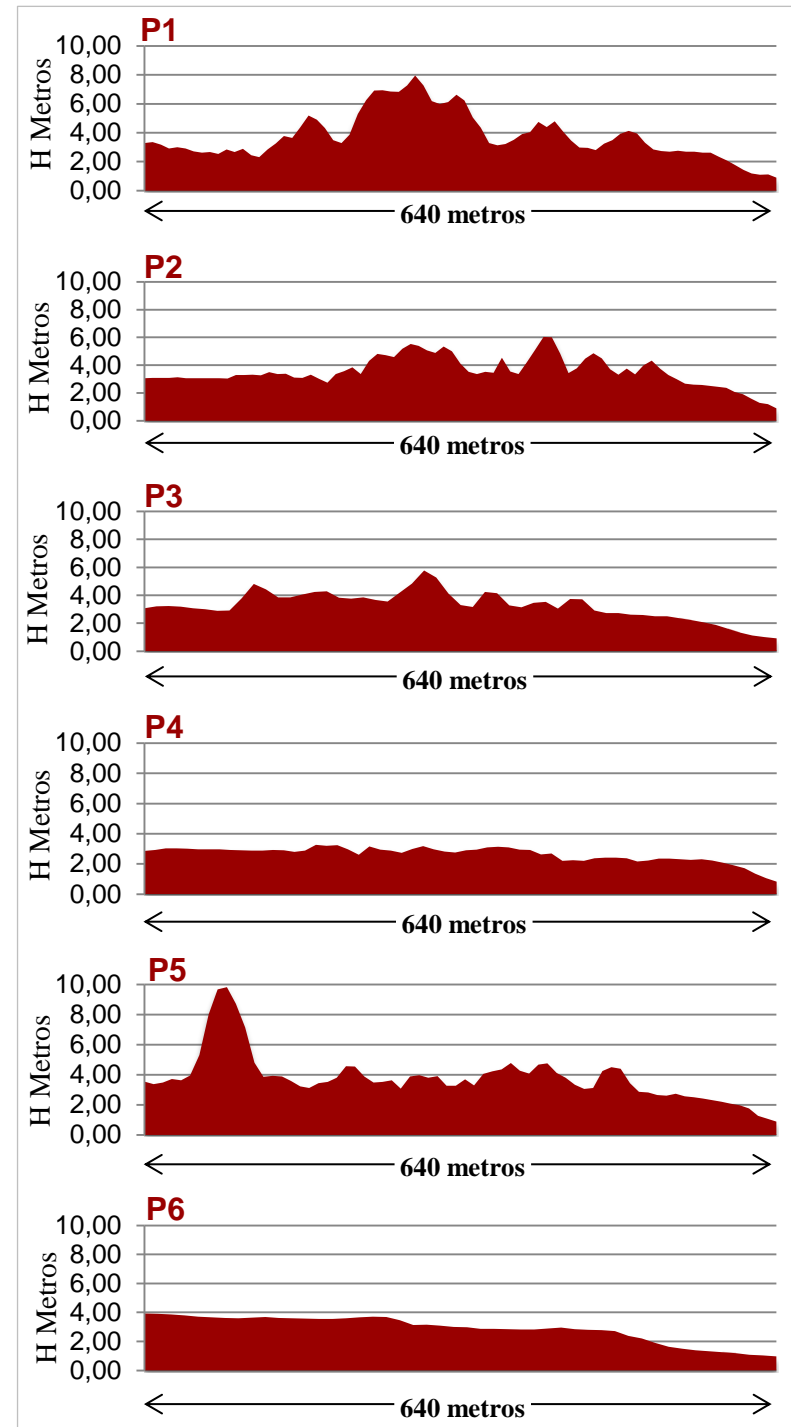


Figura 53: Mapa com os dados dos indicadores de suscetibilidade do Balneário Querência-Atlântico Sul e localização dos perfis topográficos. À direita, gráfico dos perfis topográficos com correção ortométrica da altitude (H).



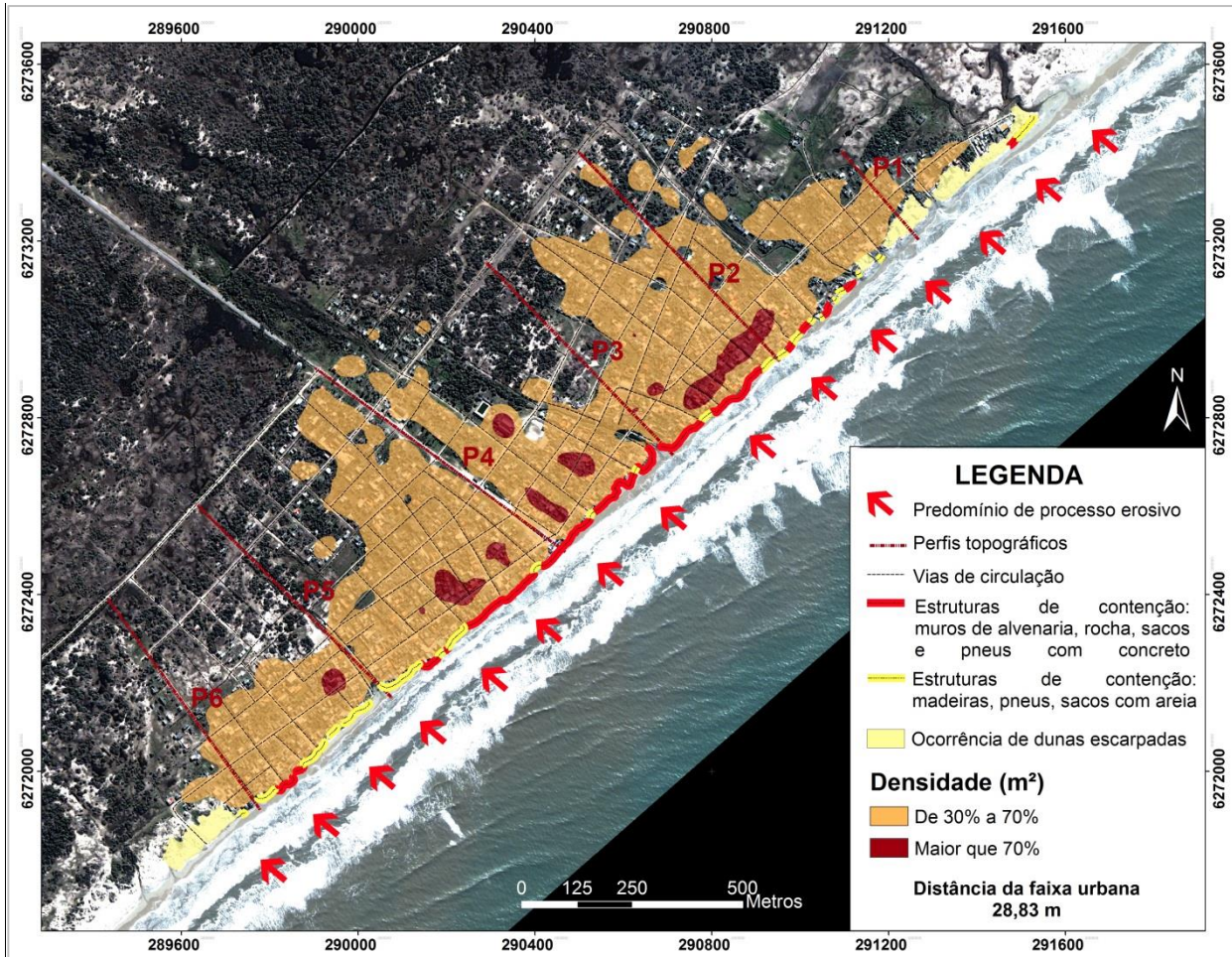
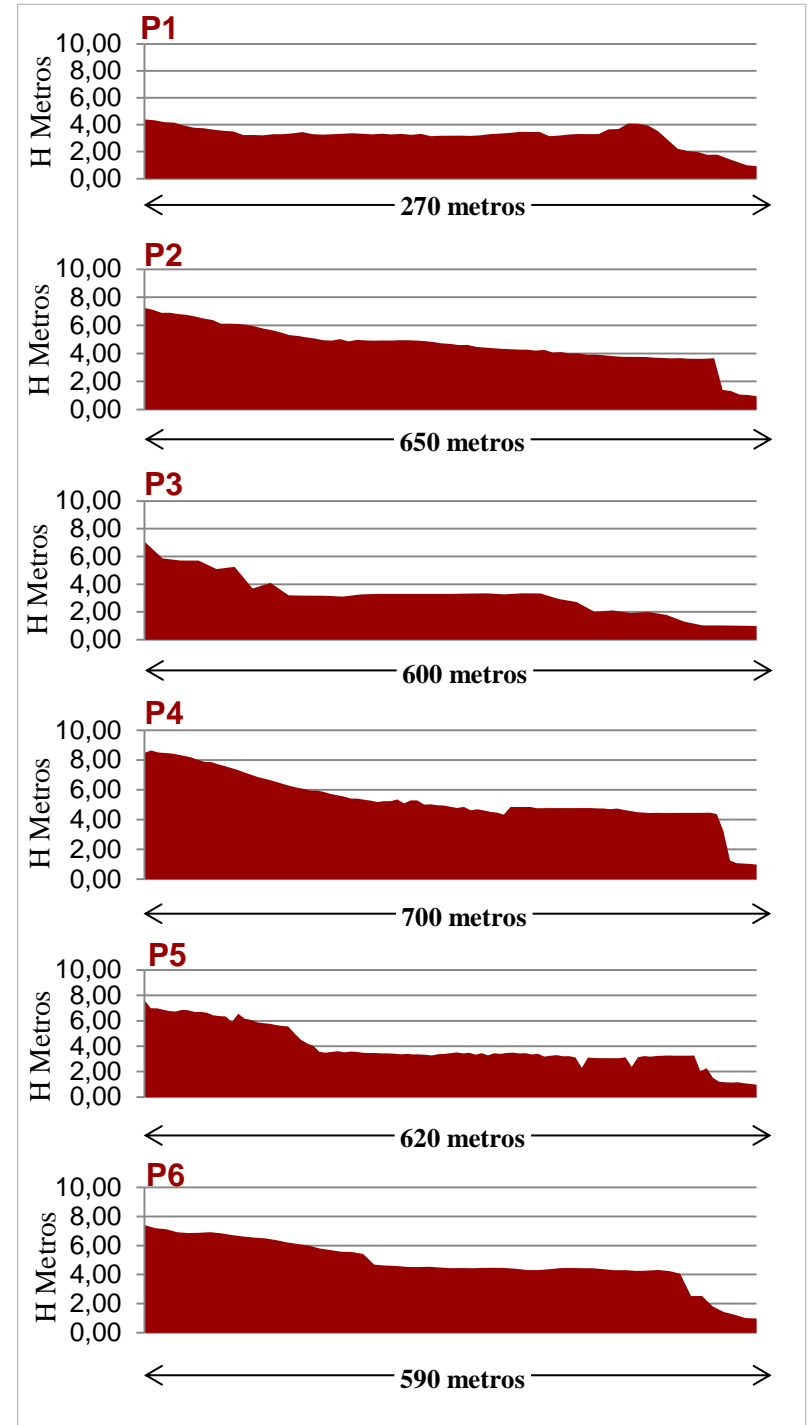


Figura 54: Mapa com os dados dos indicadores de suscetibilidade do Balneário Hermenegildo e localização dos perfis topográficos. À direita, gráfico dos perfis topográficos com correção ortométrica da altitude (H).



7. CONCLUSÕES

No recorte Querência-Atlântico sul, a variação progradante da linha de costa, a presença de dunas frontais bem desenvolvidas, a ausência de estruturas de contenção e a grande distância média entre a urbanização e a praia, qualificam o referido como um ambiente de menor vulnerabilidade, se comparado ao balneário do Hermenegildo. No entanto, a baixa elevação do terreno e baixa declividade na retaguarda das dunas, além do intenso crescimento da ocupação urbana, aumentam sua vulnerabilidade aos processos naturais e antrópicos.

Já no recorte Hermenegildo, a variação da linha de costa rumo ao interior continental, o deficitário suprimento das dunas frontais, a presença de estruturas de contenção e a pequena distância média entre a urbanização e a praia, conferem ao ambiente uma maior vulnerabilidade. Contudo, a pequena taxa de crescimento urbano e a maior elevação do terreno na porção onde foi constatada a tendência de expansão da ocupação, a sudoeste do balneário, diminuem um pouco sua vulnerabilidade, pelo menos na porção onde vem tendo maior crescimento urbano.

Historicamente, o balneário do Hermenegildo é mais vulnerável, o que tem dispendido diversos esforços científicos e do próprio Estado para o entendimento e gestão desta vulnerabilidade. De forma comparativa, o intenso crescimento do Balneário Querência-Atlântico Sul nos últimos anos em áreas sujeitas a alagamentos marinhos e pluviais, somados a uma ausência intervencionista do Estado na forma da regularização fundiária e seguida de infraestrutura básica, podem equilibrar num futuro próximo, o grau de vulnerabilidade dos recortes analisados. Cabe destacar que os recortes analisados possuem históricos e formas de ocupação diferenciadas, sendo o Hermenegildo um núcleo urbano completo e Querência-Atlântico Sul uma porção do Balneário Cassino.

Em termos metodológicos, com a decomposição dos indicadores foi possível avaliar cada uma das suscetibilidades que formam o quadro de vulnerabilidade dos balneários. O indicador *evolução da linha de costa* teve significativo peso em ambos os balneários, assim como o indicador *elevação do terreno*. Os indicadores *configuração de dunas* e *distância média da faixa urbana* possuem suscetibilidade associada aos processos costeiros atuantes e a forma de uso e ocupação das orlas. O uso do indicador *densidade da ocupação* se mostrou como alternativa válida no

lugar da usual taxa de ocupação, fornecendo não só o grau como a localização da suscetibilidade, onde foi possível constatar a tendência de adensamento na faixa mais próxima a costa em ambos balneários. O indicador *estruturas de contenção costeira*, mesmo que limitado ao Balneário Hermenegildo, foi de especial contribuição, pois sua ocorrência demonstra o tipo de reajuste geomorfológico promovido por intervenções sobre o ambiente costeiro.

A análise integrada do sistema costeiro, com a interlocução teórico-conceitual da *Geomorfologia Ambiental*, se mostrou satisfatória, pois contemplou as principais características dos trechos de costa pesquisados. A escolha de dois sítios urbanos ressaltou as especificidades de cada orla, elemento fundamental para a aplicação de diretrizes de uso e ocupação. No caso do Balneário Querência-Atlântico Sul, a progradação da costa está associada a proximidade da desembocadura lagunar, que tem influência antrópica direta na forma dos Molhes da Barra. No mesmo recorte, a preservação do cordão de dunas frontais e, em contra partida, o rebaixamento da elevação a partir do nivelamento do terreno, também são reflexos da interação de processos naturais e ações antrópicas.

Por sua vez, no Balneário Hermenegildo a correlação entre a retração da costa e a ocupação demasiadamente próxima a praia, acabou por pressionar o cordão de dunas eliminando assim a proteção natural atribuída a esse tipo de feição contra os efeitos do dinamismo costeiro. Em resposta a essa interação, foram construídas estruturas de contenção que visam minimizar a exposição das edificações a ação dos processos costeiros, mas que acabam por fixar parte da linha de costa dificultando o ajuste morfológico da costa.

Com relação a gestão, o futuro dos balneários analisados passa prioritariamente pela gestão do uso e ocupação do solo. Na Querência-Atlântico Sul existe a imediata necessidade de intervenções infraestruturas no tocante a drenagem urbana. A condição morfológica natural do sítio impõe restrições de uso que foram ignoradas desde o início do assentamento. O rápido crescimento e o adensamento a partir da consolidação urbana constatada no trecho são fatores que contribuem para a vulnerabilidade. Por outro lado, políticas públicas de ocupação urbana só podem ser efetivadas quando existe a regularidade fundiária, o que não acontece em uma parcela significativa do balneário.

No caso do Hermenegildo, a retração da costa tem influencia direta sobre a ocupação, principalmente daquela localizada nas adjacências da escarpa erosiva. As intervenções pontuais na forma de estruturas de contenção, construídas por particulares e na maioria dos casos sem acompanhamento técnico e manutenção, não visa a gestão da orla, mas apenas a imediata proteção das edificações defrontantes a praia. Qualquer alternativa de manejo em uma costa erosiva como a do Balneário Hermenegildo possui um alto custo envolvido. Dada às condições de vulnerabilidade, a implantação de diretrizes de ocupação que promovam uma faixa de amortecimento/proteção, com restrição de uso e relocação das edificações existentes, seria o ideal.

Como sugestão para futuros trabalhos, indicamos a avaliação da drenagem local do sítio urbano do Balneário Querência-Atlântico Sul, a partir de ensaios de permeabilidade e da compactação do solo. As taxas desses experimentos, em conjunto com os dados morfológicos e de área ocupada apresentados no presente trabalho, podem fornecer uma melhor compreensão sobre a ocorrência de alagamentos e apontar o grau de contribuição do adensamento urbano. Esse tipo de informação pode ser utilizada como apoio a relatórios que visem a implantação de infraestruturas de drenagem no local. Para o Hermenegildo sugere-se a continuação do monitoramento da orla, bem como a modelagem dos impactos da energia das ondas nas estruturas do tipo enrocamento.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2007. 306 p.
- AB'SÁBER, A. N. **O litoral do Brasil**. in: MODENESI-GAUTTIERI, M. C.; BARTORELLI, A.; MANTESSO-NETO, V.; CARNEIRO, C. D. R.; LISBOA, M. B. A. L. A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber. São Paulo: Beca-Ball, 2010. p. 3188-4320.
- ALBUQUERQUE, M. G. **Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Tese do Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2013. 127 f.
- ARAÚJO, G. H. S. **Ambiente urbano e industrial**. In: ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. Gestão ambiental de áreas degradadas. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2007. p. 63-73.
- BERGER, A. R. **Assessing rapid environmental change using geoindicators**. Environmental geology, v.32, n.1, 1997, p. 36-44.
- BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global**. Curitiba: Editora UFPR, n. 8, 2004. p. 141-152.
- BORBA, E. C. M.; CALLIARI, L. J. **Variações sazonais no perfil de praia e na cobertura vegetal em diferentes setores da praia do Cassino – RS**. In: Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia – CBO. Fortaleza: UFPE, 2008. 4 p.
- BRASIL. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo2010/>>. Acesso em: 22 de maio de 2012.
- BRASIL. **Decreto Federal N° 5.300, de 7 de Dezembro de 2004**. Disponível em: www.planalto.gov.br.
- BRASIL. **Lei Federal N° 7. 661, de 16 de Maio de 1988**. Disponível em: www.planalto.gov.br.
- BRASIL. **Lei Federal nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965**. Disponível em: www.planalto.gov.br.
- BRASIL. **Projeto Orla: fundamentos para gestão integrada**. Brasília: MMA e MPO, 2006. 73 p.
- BRASIL. **Resolução CONAMA N° 303, de 20 de Março 2002**. Disponível em: www.mma.gov.br.
- BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S.; PILKEY, O. H. **Utilization of geoindicators for rapid assessment of costal-hazard risk and mitigation**. Ocean & costal management, v. 42, 1999. p. 647-670.
- CALLIARI, L. J. **Características geomorfológicas**. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. (Eds.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Ecoscientia, 1998. p. 101-103.

- CALLIARI, L. J.; FARIA, A. F. G. **Bancos de lama na praia do Cassino: formação, implicações geomorfológicas, ambientais e riscos costeiros. estudo de caso: maio de 2003.** In: Anais do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Recife: ABEQUA, 2003. 5 p.
- CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. **Características morfodinâmica e sedimentologias das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS.** Pesquisas em Geociências, v. 20 (1), 1993. p. 48–56
- CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JR., E. **Morfodinâmica praial: uma breve revisão.** São Paulo: Revista Brasileira de Oceanografia, v. 51, n. único, 2003. p. 63-78
- CALLIARI, L. J.; TOLDO JR., E. E.; NICOLODI, J. L. **Classificação geomorfológica.** In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro nº 16. Brasília: MMA, 2006. p. 438-445.
- CALLIARI, L. J.; TOZZI, H.; KLEIN, A. **Beach Morphology and Coastline Erosion Associated with Storm Surges in Southern Brazil - Rio Grande to Chui. RS.** In: Land and Ocean Interaction in Coastal Zone Meeting. São Paulo: LOICZ, 1998. p. 231–247
- CALLIARI, L. J.; GUEDES, R. M.; PEREIRA, P. S.; LELIS, R. F.; ANTIQUEIRA, J. A. F. **Perigos e riscos associados a processos costeiros no litoral do RS: Uma síntese.** Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, v. 14, 2010.p. 51-63.
- CARDOSO, A. **Litoral do Poveiro: perspectiva ambiental.** Póvoa de Varzim: CMPV, livro 15, 2007. 158 p.
- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo.** Goiânia: Contexto, 1991. 147 p.
- CASTORIADIS, C. **As encruzilhadas do labirinto I.** Rio de Janeiro: Paz & Terra S/A, 1987. 418 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização das bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 415-441.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. p. 1-25.
- COLTRINARI, L. ; MCCALL, G. H. . **Geo-indicadores: ciências da Terra e mudanças ambientais.** São Paulo: Revista do Departamento de Geografia - USP, v. 9, n.9, 1995. p. 5-11.
- CORDAZZO, C. V.; PAIVA, J. B.; SEELIGER, U. **Guia ilustrado: planta das dunas da costa sudoeste atlântica.** Pelotas: USEB, 2006. 107 p.
- COSTI, J. ; CALLIARI, L. J. ; PARISE, C. K. **Mudanças morfológicas induzidas no perfil subaéreo por estruturas localizadas no pós-praia. Balneário Hermenegildo, RS.** In: Anais do XII COLACMAR. Florianópolis: XII COLACMAR – CD dos Resumos Expandidos, 2007. 3 p.

- COSTI, J.; CALLIARI, L.J.. **Influência das obras de proteção costeira na evolução do perfil praiial - Balneário Hermenegildo, RS.** In: Anais do XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Belém: ABEQUA/Museu Goeldi, 2007. 3 p.
- DAVIDSON-ARNOTT, R. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology.** New York: Cambridge, 2010. p. 1-16.
- DAVIES, J. L. **A morphogenic approach to world shorelines.** Zeitschrift fur Geomorphologie n° 8, 1964. p. 27-142.
- DILLENBURG, S. **As Barreiras Holocênicas do Rio Grande do Sul.** In: Anais do X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Guarapari: CD – ROM de Resumos Expandidos - Resumo 83, 2005. 6 p.
- DILLENBURG, S.; HESP, P. **Geology and geomorphology of Holocene costal barriers of Brazil.** Berlin: Springer, 2009. 390 p.
- DILLENBURG, S.; TOMAZELLI, L. J.; MARTINS, L.R.; BARBOSA, E. G. **Modificações de longo período da linha de costa das barreiras costeiras do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Gravel, n. 3, 2005. p. 9-14.
- DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente.** 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005. p. 1-72 .
- ESTEVES, L. S. **Variabilidade espaço-temporal dos deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese do Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2004. 150 f.
- ESTEVES, L. S. **Variabilidade espaço-temporal.** In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro n° 16. Brasília: MMA, 2006. p. 460-474.
- ESTEVES, L. S.; SANTOS, I. R. **Impacto econômico da erosão na praia do Hermenegildo (RS), Brasil.** Porto Alegre: UFRGS. Pesquisas em Geociências, 28 (2), 2001. p. 393-403.
- FIGUEIRÊDO, M. C. B.; VIEIRA, V. P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M. F.; MIRANDA, S. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental.** Fortaleza: EMBRAPA, 2010. p. 9-14.
- FIGUEIREDO, S.; CALLIARI, L. **Sangradouros: distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro.** Porto Alegre: Revista Gravel, v.3, 2005. p. 47-57.
- GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia.** São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 235-261.
- GOMES, A.; TRICART, J.; TRAUTMANN, J. **Estudo ecodinâmico da Estação Ecológica do Taim e seus arredores.** Porto Alegre: Editora UFRGS, 1987. 82 p.
- GOOGLE. **Software Google Earth PRO.** Disponível em: < <http://www.google.com/earth/index.html>>. Acesso em: 10 de nov. de 2012.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S.. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2006. 192 p.

HESP, P. **A gênese de cristas de praias e dunas frontais**. Ceará: Mercator - Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará – UFC, ano 01, n. 2, 2002. p. 119-125.

HOTTOIS, G. **História da Filosofia: da renascença à pós-modernidade**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003. 521 p.

INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES. **Geoindicators**. 1996. Disponível em: <<http://www.lgt.lt/geoin/doc.php?did=geoindicators>>. Acesso em: 12 de set. de 2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. p. 129-150.

JORGE, M. C. O. **Geomorfologia urbana: conceitos, metodologias e teorias**. In: GUERRA, J. T. G. (org.). Geomorfologia urbana. Rio de Janeiro: Bertrand, 2011. p. 117-145.

KLEIN, A. H. F. **Clima regional**. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. (Eds.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Ecoscientia, 1998. p. 5-6.

KOERNER, K. F. **Alternativas de manejo para o problema da erosão costeira no Balneário do Hermenegildo, Rio Grande do Sul**. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento Costeiro, 2012. 155 f.

KOERNER, K. F. **Variação espaço-temporal em médio e curto termo da orla do Balneário do Hermenegildo, RS**. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande. Monografia do curso de Oceanologia, 2009. 63 f.

LEAL ALVES, D. C. ; OLIVEIRA, U. R. **Mapeamento da área construída sobre dunas entre os anos de 2002, 2006 e 2009 no loteamento Atlântico Sul, Rio Grande (RS)**. Rio Grande: Anais do XXXI Encontro Estadual de Geografia, Editora da FURG, 2011. p. 711-720.

LÉLIS, R. J. F. **Variabilidade da linha de costa oceânica adjacente às principais desembocaduras do Rio Grande do Sul**. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande. Monografia do curso de Oceanologia, 2003. 81 f.

LÉLIS, R. J. F.; CALLIARI, L. J. **Historical shoreline changes near lagoonal and river stabilized inlets in Rio Grande do Sul state, southern Brazil**. Journal of Coastal Research, SI 39, 2004. p. 301-305.

LINS-DE-BARROS, F. M. **Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do Município de Maricá, Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 6, n. 2, 2005. 8 p.

LOUZADA, C. F. A.; NIENCHESKI, L. F. **Histórico e aspectos ambientais do desenvolvimento do Balneário Cassino, RS até o ano de 2001**. Rio Grande: Revista Eletrônica. Caderno de Ecologia Aquática, v. 2, n. 2, 2007. 15 p.

MAIA, N. Z. **Avaliação da elevação do nível do mar e riscos de inundação costeira associados à passagem de ciclones no Balneário Hermenegildo, RS.** Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, 2011. 118 f.

MARTINELLI, M. **Mapas da Geografia e Cartografia temática.** 4.ed. São Paulo: Contexto, 2007. p. 21-26; 65-69.

MARTINS, L. R.; TABAJARA, L. L.; FERREIRA, E. R. **Linha de costa: problemas e estudos.** Porto Alegre: Revista Gravel, n. 2, 2004. p. 40-56.

MARTINS, L.R.; MARTINS, I. R.; TABAJARA, L. L. **Ocorrências de fragmento de lama na praia do Cassino, RS, Brasil.** Porto Alegre: Revista Gravel, nº 1, 2003. p. 47-53.

MAZZER, A. M. **Análise da vulnerabilidade costeira com uso de sistemas de informação geográfica: uma aplicação ao trecho litorâneo sul da Ilha de Santa Catarina - SC.** Santa Maria: Anais do V Simpósio Nacional de Geomorfologia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2004. 14 p.

MOLLER, B. A. ; LEAL ALVES, D. C. ; OLIVEIRA, U. R. . **Caracterização do recuo da orla urbana dos balneários Cassino, Hermenegildo, Maravilhas, Alvorada e Barra do Chuí, RS.** Rio Grande: Anais da XI Amostra de Produção Universitária. Editora da FURG, 2012. p. 89-89.

MORAES, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma Geografia do litoral brasileiro.** São Paulo: Annablume, 2007. p. 205-222.

MORAES, A. C. R.; ZAMBONI, A. **Construindo o conceito de orla marítima.** In: BRASIL. Projeto Orla: subsídios para um projeto de gestão. Brasília: MMA e MPO, 2004. p. 5-9.

MUEHE, D. **Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento.** Uberlândia: Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, n. 1, 2001. p. 35-44.

MUEHE, D. **Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmico e evolutivo.** In: BRASIL. Projeto Orla: subsídios para um projeto de gestão. Brasília: MMA e MPO, 2004. p. 11-30.

MUEHE, D. **Geomorfologia costeira.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 6.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005. p. 253-308.

NEMA. **Dunas costeiras: manejo e conservação.** Rio Grande: NEMA, 2008. 32 p.

NOGUEZ, C. T.; HARTMANN, C. **Aspectos ambientais e sociais da ocupação irregular do loteamento Querência III, da cidade do Rio Grande, RS, Brasil.** Uberlândia: Revista Sociedade & Natureza, n. 17 (33), 2005. p. 37-44.

NOGUEZ, C. T.; HARTMANN, C. **Aspectos ambientais e sociais da ocupação irregular do loteamento Querência III, da Cidade do Rio Grande, RS, Brasil.** Foz

do Iguaçu: Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2001. p. 1127-1129.

NORDSTROM, K. F. **Beaches and dunes of developed coasts**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 353 p.

NORDSTROM, K. F. **Recuperação de praias e dunas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 263 p.

OLIVEIRA, U. R. **Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Tese do Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2009. 222 f.

PARISE, C. K. **Padrões atmosféricos sinóticos geradores de marés meteorológicas intensas e a resposta morfodinâmica da praia do Cassino**. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Monografia do curso de Oceanologia, 2007. 70 f.

PARISE, C. K.; CALLIARI, L. J.; KRUSCHE, N. **Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion**. São Paulo: Brazilian Journal of Oceanography – USP, 57(3), 2009. p. 175-188.

PAVLOPOULOS, K.; EVELPIDOU, N.; VASSILOPOULOS, A. **Mapping geomorphological environments**. Berlim: Springer, 2009. 247 p.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: FIBGE, 1980. p. 149-154.

PEREIRA, P. S.; CALLIARI, L. J.; GUEDES, R. M. C. **Permeabilidade das praias arenosas do Rio Grande do Sul: reflexo da herança geológica e morfodinâmica de praias**. In: Anais do X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA, 2005. 6 p.

PREFEITURA DE SANTA VITÓRIA DO PALMAR. **Plano de manejo das dunas costeiras do Município de Santa Vitória do Palmar – RS**. Santa Vitória do Palmar: SMOSU/NEMA, 2009. 52 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO GRANDE. **Plano de manejo das dunas costeiras do Município de Rio Grande**. Rio Grande: SEC/NEMA, 2006. 62 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO GRANDE. **Relatório final do manejo das dunas veraneio 2011/2012**. Rio Grande: SMMA, 2012. 34 p.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Estadual N° 11.520, de 03 de Agosto de 2000**. Disponível em: www.mp.rs.gov.br.

RIO GRANDE. **Lei orgânica municipal N° 5.261/1998**. Disponível em: <http://www.riogrande.rs.gov.br/>

ROBINSON, A. H.; MORRISON, J. L.; MUEHRCKE, P. C.; KIMERLING, A. J.; GUPTILL, S. C. **Elements of cartography**. 6. ed. Hoboken, NJ (EUA): J. W. & sons, 1995. 674 p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990. 85 p.

ROSSETTI, D. F. **Ambientes costeiros**. In: FLORENZANO, T. G. (Org.) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 247-283.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 177-286.

SANTA VITÓRIA DO PALMAR. **Lei orgânica municipal N.º 3.372/2002**. Disponível em: <http://www.santavitoria.rs.gov.br/>

SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 165-175.

SEELIGER, U. **A flora das dunas costeiras**. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. (Eds.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Ecoscientia, 1998. p. 179-183.

SILVA, C. G. et al. **Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa**. In: NETO, J. A. B. (Org.) Introdução à geologia marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. p. 175-218.

SITE DO ANNUAL BINGHAMTON GEOMORPHOLOGY SYMPOSIUM. Disponível em: http://www.southalabama.edu/geography/sawyer/2012_BGS_history.html. Acesso em: 22 de junho de 2012.

SITE DA FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL – FEPAM. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/>. Acesso em: 23 de maio de 2012.

SITE DA PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO GRANDE – PMRG. Disponível em: < <http://www.riogrande.rs.gov.br/>>. Acesso em: 14 de julho de 2013.

SITE DO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: < <http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 de novembro 2012.

SITE DO JORNAL AGORA. Disponível em: < <http://www.jornalagora.com.br/site/content/noticias/detalhe.php?e=3&n=20858>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

SITE DO JORNAL ZERO HORA. Disponível em:< <http://zerohora.clicrbs.com.br/rs/geral/noticia/2011/12/ressaca-do-mar-derruba-cinco-guaritas-de-salva-vidas-na-praia-do-cassino-3581713.html>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

SOUSA, P. H. G. O. **Dinâmica ambiental e transformações socioespaciais da orla marítima de Paracuru – Ceará**. Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2007. 115 f.

SOUSA, P. H. G. O.; SIEGLE, E; TESSLER, M. G. **Vulnerability assessment of Massaguaçu Beach (SE Brazil)**. Journal of Coastal Research, v. SI 64, 2012. p. 319-323.

SOUZA, P. R. S. A. **Expansão urbana no Balneário Cassino – Rio Grande – RS: segregação residencial e problemas ambientais.** Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande. Monografia do Curso de Geografia, 2003. 60 f.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. **Bathymetric Lenses and Localized Coastal Erosion. In: Southern Brazil.** Journal of Coastal Research, 2000. p. 209-2015.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. **Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira.** In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro nº 16. Brasília: MMA, 2006. p. 446-454.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha.** São Paulo: TA Queiroz, 1992. 172 p.

TEIXEIRA, D. L. **Elaboração da carta de ondulações geoidais da metade sudoeste do Balneário Cassino, Rio Grande/RS, com uso do sistema GNSS/Nivelamento.** Rio Grande: IIFRS. Monografia do Curso de Geoprocessamento, 2011. 78 f.

TEIXEIRA, P. S. **Subsídios para o Gerenciamento Costeiro por erosão da falésia no Balneário Hermenegildo, RS, Brasil.** Rio Grande: FURG. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química, Física e Geológica, 2007. 107 f.

TOLDO JR., E. E.; ALMEIDA, L.E.S.B., NICOLODI, J. L.; MARTINS, L. R. **Erosão e acresção da zona costeira.** In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro nº 16. Brasília: MMA, 2006. 107 p.

TOLDO JR., E. E.; ALMEIDA, L.E.S.B., NICOLODI, J. L.; MARTINS, L. R. **Retração e Progradação da Zona Costeira do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Revista Gravel, n. 3, 2005. p. 31-38.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. **Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da Costa do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Revista Gravel, nº 3, 2005. p. 109-115.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: SUPREN/IBGE, 1977. 91 p.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **A global report reducing disaster risk a challenge for development.** Nova Iorque: UNDP, 2004. 161 p.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 72-103.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** São Paulo: Contexto, 2007. p. 11-80.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: CECO/UFRGS, 1995. 45 p.

VITTE, A. C. **Os fundamentos metodológicos da geomorfologia e a sua influência no desenvolvimento das ciências da Terra.** In: VITTE, A. C.; GUERRA,

A. J. T. (org.). Reflexões sobre a Geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand, 2004. p. 23-48.

ZAMBONI, A.; NICOLODI, J. L. (org.). **Macro diagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil**. Brasília: MMA, 2008. 243 p.