

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG

INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GERENCIAMENTO COSTEIRO

MESTRADO EM GERENCIAMENTO COSTEIRO

KARL FRANZ KOERNER

**ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA O PROBLEMA DA
EROSÃO COSTEIRA NO BALNEÁRIO DO HERMENEGILDO,
RIO GRANDE DO SUL**

RIO GRANDE

2012



KARL FRANZ KOERNER

**ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA O PROBLEMA DA EROSÃO
COSTEIRA NO BALNEÁRIO DO HERMENEGILDO, RIO GRANDE DO SUL**

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

Comitê de orientação:

Prof. Dr. Carlos R. A. Tagliani (Orientador)

Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari

Prof. Milton Lafourcade Asmus

RIO GRANDE

2012

*Este trabalho é inteiramente dedicado
aos moradores e tomadores de decisão
do Balneário Hermenegildo.*

*“Qualquer coisa que saibas fazer, ou sonhas fazer, começa.
A audácia tem gênio, poder e magia.”
Goethe*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que me ajudaram direta ou indiretamente na elaboração desta dissertação. Meus professores, colegas, amigos, companheira e família.

Agradeço ao meu orientador Carlos Tagliani, que bastante me ajudou a delinear este trabalho nas horas em que este perdia seu prumo, bem como na incrível arte da elaboração de mapas. Ao professor João Nicolodi, que muito me auxiliou com materiais e informações sobre erosão costeira e com contatos de pessoas que sabiam quando este não sabia sobre algum dos diversos assuntos que eu o interrogava. Também aos professores Lauro Calliari e Milton Asmus, por ideias e livros trocados, que foram muito proveitosos. Ao amigo e professor Ulisses de Oliveira que, desde a graduação, tem me dado seu apoio.

Ao pessoal do LOG: Toni, Elaine, Allan, Natan, Fred, Débora, e Jaja; e da salinha: Priscilinha, Bianca, Rosani, Priscilão, Paulista, Lelo e Pet. Pelas dicas de geoprocessamento e linhas de costa, configurações, trocas de ideia e risadas. Falando nisso, agradeço ao Manoel por sempre alegrar nossos dias quando chegamos ao trabalho!

Ao tio e professor, Touguinha e à prima Camila: muito importante foi sua ajuda na turbulenta fase final da dissertação.

Para meus pais, Egon e Maria Izabel, meus irmãos Grace e Anton e também a toda minha grande família e amigos: por seu apoio permanente. E, claro, pelas nossas conversas que não tinham a ver com o assunto do Mestrado, lembrando-me que existem outras coisas na vida além de dissertação.

Agradeço à Daniesse, por ter aparecido em minha vida, por sua excelente companhia e pelo bem que me fazes todos os dias.

Ao Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental – NEMA, e todos os seus integrantes, por seguirem o seu ideal com o meio ambiente que é de todos nós, por me permitirem participar deste time e também por sua colaboração com dados, mapas e imagens para este estudo.

Agradeço aos cidadãos do Brasil que, com sua contribuição ao governo e, por intermédio da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior financiaram este estudo com uma bolsa de mestrado.

E, finalmente, a todos os colegas pioneiros do Gerenciamento Costeiro no Brasil!

A todos vocês, registro aqui meu sincero

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O balneário do Hermenegildo está localizado no extremo sul do Brasil, no município de Santa Vitória do Palmar – RS, e possui um histórico processo de erosão costeira que vem sendo intensificado desde a década de 1970. Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos neste balneário na última década. Estes estudos envolvem aspectos relacionados às causas da erosão, como aspectos da evolução geomorfológica, morfodinâmica e sedimentologia, e aspectos relacionados às consequências da erosão e seus impactos, como caracterização e acompanhamento de estruturas de contenção e proteção. Entretanto, existe uma demanda por trabalhos, ainda não devidamente explorada, relacionados à gestão da erosão e a propostas de soluções e alternativas para o gerenciamento deste problema. Tendo em vista esta demanda, o presente estudo tem como objetivo analisar as alternativas de manejo para o problema da erosão costeira no balneário. Para isto, foi realizada uma extensa revisão bibliográfica sobre dois assuntos principais: o problema da erosão costeira no Hermenegildo; e as alternativas de manejo existentes. A partir disso, foram discutidas possibilidades que podem ocorrer se implementadas estas alternativas no balneário. Foi também analisada a disponibilidade de recursos minerais utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e análises granulométricas. Além disso, foram verificadas as condições geográficas e morfodinâmicas locais e a disposição da comunidade para a aplicação destas alternativas. Com este trabalho pode-se concluir que existe disponibilidade de recursos minerais no entorno, tanto rochas para estruturas de proteção e estabilização da praia como areia para realizar um engordamento. Existe área disponível para recuo das casas, porém não há disposição da comunidade para se mudar da orla. Finalmente pode-se também concluir que é necessária uma intervenção das autoridades públicas para restringir novas construções na orla, visto que, caso se mantenha a inatividade do poder público, certamente se observará uma intensificação da problemática tratada.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do Gerenciamento Costeiro Integrado (modificado de Christie, 2005; Cicin-Sain & Knetch, 1998).....	19
Figura 2 - Localização da área de estudo. Mapa menor extraído de Lima (2008) e maior modificado de NEMA (2009) e Koerner (2009).	26
Figura 3 - A praia arenosa e suas subdivisões. Extraído de Pereira, 2005.....	31
Figura 4 - A praia existe em um equilíbrio dinâmico entre os quatro fatores apresentados neste diagrama. Quando um dos fatores se altera, os outros se ajustam. (Modificado de Pilkey & Dixon, 1998).	32
Figura 5 - Escalas temporais e espaciais e as causas de erosão naturais e antrópicas associadas. (Modificado de Coelho et.al., 2009 e Esteves, 2002).	39
Figura 6 – Exemplo de um muro de proteção. Extraído de US Army, 1984.	46
Figura 7 – Desenho esquemático de <i>Quebra-mares de promontório/ headland breakwaters</i> (A) e <i>Quebra-mares costeiros/ nearshore breakwaters</i> (B). A Linha de referência apresenta onde se encontrava a linha de costa antes da instalação dos quebra-mares, e MHW é a Linha de praia média (<i>Mean High Water</i> , em inglês) obtida após a obra. Nestas figuras pode-se ver que os quebra-mares costeiros permitem o transporte longitudinal (“longshore” em B), enquanto os quebra-mares de promontório bloqueiam este transporte. Ymin é a largura de praia mínima que se espera obter após a implementação da obra de proteção. Modificado de USACE, 2003.	48
Figura 8 – Figura esquematizando o funcionamento de um único espigão na linha de costa. Na figura o transporte sedimentar dominante ocorre da esquerda para a direita. Como consequência, ocorre uma deposição de sedimento do lado esquerdo do espigão, enquanto o lado direito apresenta erosão. Modificado de USACE, 2003.....	51
Figura 9 - Exemplo de engordamento de praia causado pela atenuação de ondas em recifes artificiais utilizados como quebra-mares submersos. Projeto realizado em praia	

da República Dominicana (Fonte: http://www.artificialreefs.org/ScientificReports/DRmemo.htm)	52
Figura 10 - Projeto de engordamento de praia em New Jersey. Na imagem é possível ver o maquinário atuando no projeto. (Fonte: http://kanat.jsc.vsc.edu/student/davis/index.htm)	56
Figura 11 – Exemplo de recuperação de dunas com plantio de mudas e cercas para barrar o transporte de sedimentos. Fonte: DNREC (Delaware Department Of Natural Resources And Environmental Control).	57
Figura 12 – Zonas de proteção estabelecidas em legislação da Turquia (Lei de Costas, 1990; 1992, <i>apud</i> Cicin-Sain & Knetch, 1998). Extraído de Muehe, 2001.	60
Figura 13 - Exemplo de casa adaptada para a erosão costeira, por meio de elevação da mesma com pilares de madeira. Foto de Pedro Pereira em Aguas Dulces, Uruguai.	64
Figura 14 - Mapa geológico simplificado da planície costeira do Rio Grande do Sul, mostrando a distribuição dos principais sistemas deposicionais (extraído de Tomazelli & Villwock, 2000).	68
Figura 15 - Estágios isotópicos de oxigênio para os últimos 800 mil anos (segundo Imbrie et.al, 1984). Os números ímpares representam períodos interglaciais e os números pares períodos glaciais. Os números I, II, III e IV indicam as barreiras costeiras relacionadas aos picos transgressivos por Tomazzelli & Villwock (1995). Extraído de Tomazzelli & Villwock, 1995.	69
Figura 16 – Tipos de barreiras encontradas no Rio Grande do Sul: Progradantes (A e B), Dunas Transgressivas (C e D), Retrogradante com afloramento de depósitos lagunares (E) e barreiras acopladas (F). Extraído de Dillenburg et.al. (2000).....	70
Figura 17 - Configuração da costa do Rio Grande do Sul vista em planta, existem 2 projeções costeiras e 2 concavidades. O Balneário do Hermenegildo se encontra ao sul de uma projeção costeira. As letras A a F indicam o tipo de barreira presente no local conforme as categorias apresentadas na figura anterior. Extraído de Dillenburg et.al. (2000).	71

Figura 18 - Efeito da elevação do nível do mar por maré meteorológica no balneário do Hermenegildo. (Foto tirada em julho de 2009 por Renato Lopes).	73
Figura 19 - Praça central do balneário do Hermenegildo em um perfil verão (08/02/2010 - imagem superior) e em um perfil de inverno (18/07/2005 - imagem inferior). Extraído de GoogleEarth®.	75
Figura 20 – Perfis de praia do Hermenegildo, de março de 1996 (linha superior) e julho de 2011 (linha inferior). Em laranja está representada a diferença entre os perfis, tendo sido calculado um déficit sedimentar de 134m ³ /m de praia e um recuo de 55m na linha do nível do mar, o que representa uma taxa média de 3,6m/ano de erosão. Extraído de Machado & Calliari (2011).	78
Figura 21 – Evolução da área urbana do balneário do Hermenegildo. Nestas imagens de 1947, 1964 e 2005 é possível ver sua configuração paralela à costa desde o início da ocupação. B-III, B-IV e TL-IV correspondem às Barreiras III e IV e ao Terraço Lagunar IV respectivamente. Modificado de Koerner (2009).	80
Figura 22 – Efeitos do muro de contenção em uma praia visto de perfil (i) e em planta (ii). A, B, C e D indicam as fases antes da construção do muro (A e B) e após a construção do muro (C e D) quando a praia começa a desaparecer e “submergir”. Na vista em planta é indicada a acresção que ocorre no início e a erosão que ocorre ao final da estrutura de proteção, no exemplo a corrente longitudinal dominante é da esquerda para a direita. Modificado de Sobral (1998); Komar (1998).....	88
Figura 23 - Consequências de um enrocamento realizado sem proteção da sua base. Em (Ai) vemos um exemplo de um enrocamento realizado no balneário do Hermenegildo. Em (Bi) um proprietário está retirando rochas que foram soterradas anos antes a cerca de 10 metros a frente de sua atual propriedade. A esquerda um quadro ilustrativo do que acontece quando a onda se sobressai à altura do enrocamento (<i>overtopping</i>). Aii e Bii ilustram o enrocamento antes, e depois da tempestade respectivamente. Fontes: Foto A (do autor), foto B (Pedro Veras Guimarães), ilustração retirada de Pilarckzik (1990). .	89
Figura 24 – Área aproximada de contenção da orla do balneário do Hermenegildo comparado à base das dunas frontais adjacentes (provável limite superior natural da	

praia, linha laranja). Nos círculos azuis é possível perceber como os sangradouros tendem a acompanhar a evolução natural da praia. Extraído de Koerner (2009).....	90
Figura 25 – Erosão das dunas costeiras no extremo norte da orla urbanizada do balneário do Hermenegildo, provavelmente por efeito do enrocamento da orla urbanizada ao sul. Figuras A, B e C apresentam a faixa de dunas costeiras em frente às casas localizadas ao norte do balneário, em planta (A) e de visada (B e C). As setas indicam as casas utilizadas como referência. Modificado de Teixeira (2007, Fig. A). Figuras B e C mosaico realizado pelo autor com fotos de Ulisses Rocha de Oliveira. ..	91
Figura 26 – Área de expansão urbana e risco socioambiental propostos no Plano de Manejo de Dunas de Santa Vitória do Palmar. A Área de expansão urbana é delimitada pela área da bacia da Lagoa Mangueira, proposta como área para conservação. Mapa modificado de NEMA (2009).....	109
Figura 27 - Simulação do recuo total após 30 e 60 anos utilizando taxas de erosão de 1 metro por ano e de 3 metros por ano. Também estão contemplados os limites de 300 metros de Área de Preservação Permanente (Resolução no 303/2002 CONAMA) e de 50 metros para Orlas Urbanizadas (Decreto Federal no. 5.300/2004).....	113
Figura 28 - Praia de Aguas Dulces no litoral do Uruguai. Possível tendência para o Hermenegildo caso não seja realizada alguma ação de manejo. Foto de Pedro Pereira (2009).	114
Figura 29 - Praia de Conceição da Barra antes (esquerda) e depois (direita) da obra de recuperação da orla. As fotografias aéreas foram tiradas do norte e do sul respectivamente. (Fonte: http://conceicao-da-barra.blogspot.com.br).	117
Figura 30 – Unidades Geoambientais da área de estudo segundo unidades geomorfológicas propostas por Long (1989). Modificado de Oliveira (2006).	123
Figura 31 - Mapa das reservas potenciais de recursos minerais para uso em projetos de manejo para o problema da erosão no balneário Hermenegildo.	126
Figura 32 - Mapa das reservas potenciais de recursos minerais para uso em projetos de manejo para o problema da erosão no balneário Hermenegildo com exclusão de áreas protegidas.	129

Figura 33 - Frequência acumulada da parte arenosa de cada amostra.	131
Figura 34 – Mapa de distribuição de sedimentos a partir de interpolação da classificação segundo Wentworth em frente ao balneário do Hermenegildo. Extraído de Camargo (2012).	133
Figura 35 – Esquema do “Mapa de Manejo” à erosão costeira e suas etapas. Elaborado pelo autor (inspirado em Pilarczyk, 1990 e Cicin-Sain & Knetch, 1998).....	136

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Balanço sedimentar de uma praia. Extraído de Souza (2005).....	36
Tabela 2 – Propostas, alternativas e métodos para o manejo da erosão costeira.	43
Tabela 3 - Porcentagens de lama e areia de cada amostra.	130

ÍNDICE

Organização da dissertação	15
CAPÍTULO 1	16
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	20
1.1.1 Objetivo geral.....	20
1.1.2 Objetivos específicos	20
CAPÍTULO 2	21
2 METODOLOGIA	21
2.1 Caracterização do estado da arte do problema "erosão" no balneário Hermenegildo	21
2.2 Avaliação das aplicações de cada alternativa de manejo para a área de estudo	21
2.3 Avaliação da disponibilidade de recursos minerais para implementação de alternativas de manejo	22
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
CAPÍTULO 3	27
3 REFERENCIAL TEÓRICO	27
3.1 O Sistema Praial	28
3.1.1 A zona costeira, a orla e a praia.....	28
3.1.2 Os limites do sistema praial	30
3.1.3 Os fatores que interferem no sistema praial	31
3.2 O problema da erosão costeira	38

3.3	As abordagens e alternativas para o Manejo do problema.....	41
3.3.1	Protegendo a costa - Interferindo no natural	44
3.3.1.1	Fixando a linha de costa.....	44
3.3.1.2	Estabilizando a praia.....	46
3.3.1.3	Recuperando a praia	52
3.3.2	Adaptando-se - interferindo no humano	57
3.3.2.1	Planejando o espaço.....	58
3.3.2.2	Retraindo as construções.....	62
3.3.2.3	Adaptando as construções e convivendo com o problema	63
3.3.3	Não fazer nada.....	65
CAPÍTULO 4		66
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.1	O caso do balneário do Hermenegildo	66
4.1.1	Contexto Físico-Natural.....	66
4.1.2	Contexto Socioeconômico	79
4.1.3	Percepção da comunidade	85
4.2	Protegendo a linha de costa - Interferindo no Natural	87
4.2.1	Fixando a linha de costa: Muros e Revestimentos	87
4.2.2	Estabilizando a linha de costa: Espigões, Quebra-mares e Recifes artificiais	94
4.2.3	Recuperando a praia: engordamento e recuperação de dunas	101
4.3	Se adaptando - Interferindo no Humano	105

4.3.1	Planejando o espaço.....	105
4.3.2	Retraindo as construções.....	107
4.3.3	Adaptando as construções e convivendo com o problema	110
4.4	Não fazer nada.....	111
4.5	Aspectos a serem considerados	115
4.6	Análise da disponibilidade de recursos minerais.....	118
4.7	O processo de manejo da erosão costeira.....	134
CAPÍTULO 5		137
5	CONCLUSÕES	137
REFERÊNCIAS		141
ANEXOS.....		155

Organização da dissertação

A dissertação está estruturada em cinco capítulos.

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução que procura contextualizar o foco desse trabalho, expondo os principais temas a serem abordados e suas conexões, bem como as justificativas e os objetivos a serem alcançados.

No segundo capítulo está descrita a metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos e a localização e uma caracterização sucinta da área de estudo.

O terceiro capítulo trata de uma ampla revisão bibliográfica sobre o foco da pesquisa, procurando estabelecer o estado da arte do problema em tela. Os assuntos-chave são a erosão costeira e as alternativas de manejo, abordados sempre de uma perspectiva geral no mundo e no Brasil e culminando com um recorte para a área de estudo.

No capítulo 4 são apresentados os resultados, em função do objetivo geral do trabalho e no capítulo 5 as conclusões.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras no mundo inteiro sofrem forte pressão antrópica: intensas e diversificadas formas de uso do solo, processos acelerados de urbanização, atividades portuárias e industriais e exploração turística em larga escala; muitas vezes realizados em áreas inadequadas, de alta dinâmica e sensibilidade ambiental. Sendo uma região de contrastes, a Zona Costeira constitui-se num campo privilegiado e um desafio para o exercício de diferentes estratégias de gestão ambiental (GRUBER et.al., 2003).

Nesse quadro de ocupação intensa e crescente, observa-se, adicionalmente, um problema grave relacionado à erosão costeira, que afeta inúmeras áreas ao longo do globo. Hoje em dia, diversas áreas costeiras no mundo estão passando por processo acelerados de erosão, com efeitos danosos sobre o meio físico e antrópico e cuja solução e/ou minimização envolve recursos financeiros significativos.

Existe muita dificuldade de se quantificar e modelar os processos costeiros, o transporte de sedimentos e a elevação da temperatura global e do nível do mar, relacionados diretamente ao problema da erosão costeira. São incógnitas da natureza que ainda não estão suficientemente claras para a ciência. Dessa maneira, diagnosticar, prognosticar e manejar a erosão costeira é um grande desafio para os cientistas e gestores costeiros. FEMA (2011) relata que “embora o conceito de erosão (costeira) seja simples, a erosão é um dos riscos mais complexos para se entender e prever em um determinado local”.

Frente a esta demanda por conhecimentos, apesar das lacunas existentes, existe a necessidade imediata para realizar o manejo dos locais em erosão. A Agenda 21, documento gerado na Conferencia das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (também conhecida por Rio-92), recomenda que seja aplicado o *Princípio da Precaução*, ou seja, deve-se adotar “medidas eficazes para impedir ou minimizar a degradação do meio ambiente, sempre que houver perigo de dano grave ou irreversível, mesmo na falta de dados científicos completos e atualizados”.

Neste contexto se encontra o balneário do Hermenegildo, um pequeno balneário localizado no extremo sul do Brasil, o qual está hoje em uma situação de risco. Tal risco é atestado pela destruição constante de residências e infraestrutura urbana na orla marítima (Esteves, 1999). Nas últimas décadas vêm sendo construídas, de modo individual, diversas formas de estruturas de proteção e de diferentes materiais (Teixeira, 2007; Koerner, 2009) e a faixa costeira mais consolidada, que corresponde à zona central do balneário, já se encontra sobre o pós-praia (Koerner, 2009).

As causas e efeitos do processo têm recebido atenção crescente dos pesquisadores desde a década de 90, com o trabalho pioneiro de Calliari & Klein (1993). Desde então outros trabalhos foram realizados, no contexto da morfodinâmica no local (Speranski & Calliari, 2006; Almeida et.al., 2001; Lima et.al., 2001), no contexto da morfologia e evolução costeira (Villwock & Tomazelli, 1995; Dillenburg, 2000; Lima, 2008) e no contexto socioeconômico (Esteves et.al 1999a, 1999b; Esteves et.al., 2000; Esteves et.al., 2003; Teixeira, 2007; Esteves et.al.,2008).

Em 2009 Koerner realizou um trabalho no balneário Hermenegildo, utilizando imagens aéreas e controle de campo com GPS, avaliando como a urbanização do balneário vem evoluindo desde 1947 e em que situação a orla urbanizada se encontra comparada com a base das dunas frontais adjacentes. Nessa ocasião o autor percebeu uma necessidade de avançar das pesquisas referentes às causas da erosão costeira no local, bem como suas consequências, e começar um processo de reflexão voltado para o manejo e gestão do problema que os usuários do balneário estão vivenciando.

O problema da erosão no balneário Hermenegildo é antigo e está agravando. Vem sendo estudado detalhadamente sob diversos pontos de vista por pesquisadores principalmente da Universidade Federal do Rio Grande- FURG. Este problema coloca em risco a vida humana e interfere no lazer e nas atividades econômicas ligadas ao turismo de duas cidades do extremo Sul do Estado. Apesar do problema da erosão ser considerado inexorável (Charlier et.al, 2005), existem muitas alternativas que podem ser utilizadas para manejar este problema. Além disso, a sociedade exige uma solução de manejo para este problema.

Esta demanda ficou formalmente estabelecida com a visita de uma equipe da prefeitura municipal de Santa Vitória do Palmar ao Laboratório de Oceanografia Geológica (FURG) em 2010, em busca de alguma solução para o problema que aflige o balneário. A comunidade local também manifestou sua preocupação e desejo de uma solução por ocasião de uma audiência pública sobre erosão costeira realizada em Santa Vitória do Palmar em 2011. Naquele momento, 83% dos participantes manifestaram por escrito o desejo de que seja tomada alguma atitude para manejar este problema.

Em um cenário de mudanças, desde conceituais, no sentido de preservar os recursos naturais e priorizarmos a sustentabilidade do desenvolvimento, até mudanças físicas e concretas nas zonas costeiras decorrentes de diversos fatores como o aumento da temperatura global e do nível relativo do mar (IPCC, 2007), existe a necessidade de planejar o espaço dinâmico e de nos adaptarmos a estas mudanças.

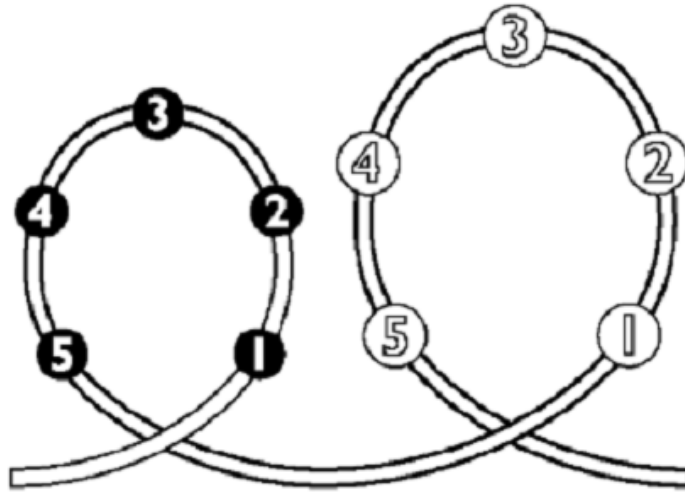
Para que o manejo da erosão costeira tenha êxito, devemos avaliar as propostas existentes e refletir sobre como estas se comportariam antes mesmo de serem implementadas. Sem dúvida, devido à natureza multidisciplinar envolvida, a abordagem e solução desses problemas passam pela condução de um processo de gerenciamento costeiro integrado.

Para Cicin-Sain & Knetch (1998) o Gerenciamento Costeiro Integrado (GCI) pode ser definido como um “contínuo e dinâmico processo no qual as decisões são tomadas para um desenvolvimento, proteção e um uso sustentável das áreas costeiras e marinhas e os seus recursos” (Figura 1).

Pela essência da sua atividade, o gerenciamento costeiro é um processo metodológico utilizado para manejar conflitos. Por ser cíclico, é um processo de gestão para longo prazo, mas sendo realizado em passos a curto prazo, sempre passando ao próximo passo e iniciando um novo ciclo após uma retroavaliação das fraquezas a serem melhoradas e manutenção dos sucessos obtidos no passo anterior.

O problema da erosão costeira pode ser caracterizado, sob o ponto de vista da gestão, como um do conflito do uso do espaço, no caso, uma linha de costa móvel: a natureza age de um lado movendo-a de modo que se adapte às forças como tempestades, balanço de sedimentos e elevação do nível do mar; e do outro lado o ser

humano, que edificou (e edifica) construções na linha de costa e, para não perder seu patrimônio, tenta fixá-la.



1. Identificação e levantamento dos temas

Quais os temas a serem trabalhados? Quais são os conflitos e problemas? Que informações já existem sobre o tema? O que seria necessário buscar?

2. Planejamento e preparação

De que maneiras este problema pode ser trabalhado? Quais são as soluções e as viabilidades para resolver os conflitos? Quais são os indicadores sociais, econômicos e ambientais? Como eles podem ser avaliados? Por quem? Quem pode financiar o programa?

3. Adoção formal e financiamento

Formalização do problema junto as autoridades legais, políticas e governamentais. Financiamento do programa.

4. Implementação

A ação, a implementação das soluções planejadas no ambiente de conflito.

5. Operação e Avaliação

A manutenção e atividade do programa. A retroavaliação e monitoramento. O programa deu certo? Os problemas foram solucionados? O que não foi solucionado? E por que não foi solucionado? O que pode melhorar?

Figura 1 – Etapas do Gerenciamento Costeiro Integrado (modificado de Christie, 2005; Cicin-Sain & Knetch, 1998).

Dessa forma, é interessante que o manejo da erosão costeira seja abordado como um processo de Gerenciamento Costeiro Integrado (GCI) em que, de tempos em tempos, se tenha uma reavaliação do problema e dos sucessos e fracassos do manejo, de modo que este se adapte e evolua constantemente.

Entretanto, o Gerenciamento Costeiro Integrado é tarefa de uma equipe multidisciplinar, na qual cada ator atua em uma área específica em prol de todo o processo de gestão.

Neste trabalho nos propomos abordar o problema da erosão costeira no balneário do Hermenegildo sob a ótica do GCI realizando uma detalhada revisão sobre o problema em si (primeira etapa) e iniciando uma reflexão sobre o planejamento e preparação (segunda etapa) do projeto de manejo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Discutir as possíveis alternativas de manejo para o problema da erosão costeira no balneário do Hermenegildo

1.1.2 Objetivos específicos

- A. Caracterizar o estado da arte do problema "erosão" do balneário Hermenegildo;
- B. Avaliar e discutir as aplicações de cada alternativa de manejo para a área de estudo;
- C. Verificar a disponibilidade de recursos minerais, as condições geográficas e morfodinâmicas locais e a disposição da comunidade para avaliar a aplicabilidade das alternativas.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização do estado da arte do problema "erosão" no balneário Hermenegildo

Essa caracterização foi realizada através de uma ampla revisão bibliográfica sobre o tema, a ser apresentada no capítulo 3.

A revisão iniciou com uma abordagem geral com objetivo de esclarecer e compreender os principais processos físicos atuantes, tendo sido consideradas as definições, terminologia e conceitos utilizados por pesquisadores da área, já que há uma significativa variação dependendo da região, da área científica envolvida (oceanografia, geologia, biologia, etc.) e mesmo nas traduções para o português (Souza, et.al., 2005).

Essa revisão foi realizada sempre procurando aportar elementos que pudessem servir como uma base sólida para a análise e discussão das alternativas de manejo para o caso específico do balneário Hermenegildo. Na parte final foram abordados os principais trabalhos já realizados na área de estudo, apresentando então as conclusões dos autores envolvidos.

2.2 Avaliação das aplicações de cada alternativa de manejo para a área de estudo

Tendo como base o referencial teórico anterior, as alternativas de manejo para o balneário foram apresentadas e discutidas. A avaliação teve como base as principais referências no assunto de erosão e implementação de alternativas de proteção e manejo, como National Research Council (NRC, 1990), Pilarczyk (1990), Komar (1998), U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 2003), Linham & Nicholls (2010), Nordstrom

(2010). Particularmente, por ser um manual de engenharia costeira USACE (2003) foi bastante consultado, pois apresenta as alternativas com bastante detalhamento.

Na falta de informações mais específicas sobre o balneário do Hermenegildo alguns exemplos nacionais ou estudos na região do balneário foram consultados.

Feito isto, iniciamos um processo reflexivo para inferir, a partir da relação causal entre as duas pesquisas realizadas, as possíveis consequências ao balneário do Hermenegildo após a implementação destas alternativas. Quando possível, apresentamos indicadores do custo e obstáculos ou viabilidades legais para cada uma delas. Nesta reflexão identificamos lacunas, como dados científicos e recursos que faltam para uma análise mais aprofundada das alternativas estudadas.

Uma vez que a alternativa a ser implementada para a minimização do problema erosivo no balneário deverá ter a participação ampla da sociedade em todas as fases, foi elaborado um instrumento, na forma de um questionário, para detectar as expectativas da comunidade quanto ao assunto.

No dia 27 de outubro de 2011 a pedido do então atual prefeito de Santa Vitória do Palmar, foi realizada uma Audiência Pública para discutir e esclarecer a comunidade sobre a problemática existente. A reunião de trabalho foi conduzida pelo Prof. Lauro Calliari, da Universidade Federal do Rio Grande, especialista na área, com a presença de outros professores e alunos que trabalham com o tema. Neste dia, foi submetido um questionário aos participantes para que manifestassem sua percepção sobre aspectos variados envolvendo o problema da erosão no balneário.

2.3 Avaliação da disponibilidade de recursos minerais para implementação de alternativas de manejo

Tendo em vista a necessidade de recursos minerais para implementação de algumas das alternativas sugeridas, foi realizada uma avaliação da disponibilidade desses recursos nas áreas emersas adjacentes, frente à uma possível utilização para o manejo do problema. A avaliação foi realizada com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas, partindo da elaboração de um banco de dados digitais e posterior cruzamento de informações e interpretação.

Para essa etapa os passos foram:

- *Elaboração de um banco de dados digitais com as informações existentes*

O banco de dados foi elaborado no sistema de Informações Geográficas (SIG)¹ IDRISI TAIGA® e constou dos seguintes planos de informação:

Mapa geológico (fontes: Caldasso et al, 2001, Tagliani, 2002);

Mapa geoambiental (Tagliani, 2002);

Localização de sítios arqueológicos (Oliveira, 2006);

Estação Ecológica do Taim (Schreiner, 2012).

- *Análise das características mineralógicas e granulométricas dos sedimentos*

Esta análise foi realizada por meio da interpretação dos mapas geológicos existentes e seleção das unidades geomorfológicas cujas características dos sedimentos pudessem ser adequadas como recursos minerais para o caso de um engordamento de praia;

Após selecionar as unidades mais adequadas, foi realizada uma coleta de sedimentos nas mesmas para comparar suas características com as da praia do Hermenegildo. Para tanto, foi realizada uma análise granulométrica no laboratório de sedimentologia da FURG seguindo os procedimentos tradicionais descritos em Suguio (1973). Os resultados foram plotados em gráficos de frequência acumulada.

¹ Outros mapas como taxas de recuo e localização da área de estudo foram elaborados com software ArcGIS®.

- *Análise das características litológicas das ocorrências de rochas nas proximidades da área de estudo*

Considerando que o uso de rochas duras provavelmente será necessário em qualquer das soluções propostas, foi realizada uma avaliação da disponibilidade desse tipo de material em áreas próximas, considerando os mapas geológicos disponíveis. O mapa final dos afloramentos rochosos nas proximidades foi obtido a partir da reclassificação automática dos mapas geológicos constantes no banco de dados.

- *Atualização do banco de dados com novas informações*

Com o objetivo de mapear as áreas que têm algum dispositivo legal de proteção e posteriormente excluí-las das áreas disponíveis para extração mineral, foi realizado um mapeamento da ocorrência de remanescentes florestais nativos e da rede hidrográfica, incluindo as lagoas.

O mapeamento foi realizado tendo como base as imagens de satélite do software Google Earth®.

É necessário ter em mente que as imagens do Google não são ortorretificadas e devem ser utilizadas com cuidado, dependendo do objetivo do trabalho. Considerando que a área de estudo está localizada na Planície Costeira, sendo essencialmente plana e próxima do nível do mar, os efeitos de distorção em função do relevo são insignificantes. Tendo em vista esse aspecto, a resolução espacial excelente e o georreferenciamento cuidadoso realizado, baseado em pontos de controle de campo, considerou-se que as imagens são adequadas para o fim proposto.

A partir da interpretação da legislação ambiental incidente foram mapeadas todas as áreas de proteção permanente (APPs) no município, utilizando rotinas específicas do SIG:

Remanescentes da vegetação nativa arbórea

Hidrografia (rios e lagoas)

Zonas-tampão de recursos hídricos

- *Geração do mapa das áreas com recursos minerais disponíveis*

O mapa final foi obtido através da seleção, reclassificação e superposição de todos os planos de informação no SIG, considerando os critérios de aptidão e restrição técnica (características físicas) e legal (APP's).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O balneário do Hermenegildo está situado aproximadamente a 33° 40' latitude sul e 53° 15' longitude oeste (Fig 5), e faz parte do município de Santa Vitória do Palmar, no estado do Rio Grande do Sul, extremo Sul do Brasil. O município de Santa Vitória do Palmar é limitado pelo município de Rio Grande ao norte e Chuí ao sul, a leste é delimitada pelo oceano Atlântico e a oeste pela Lagoa Mirim.

O balneário situa-se a 18 quilômetros de distância da sede do município e a apenas 12 quilômetros da fronteira com o Uruguai. O principal acesso ao balneário se dá pela rodovia BR-471, entrando na rodovia RS-833, que desemboca na Avenida Alameda das Acácias.

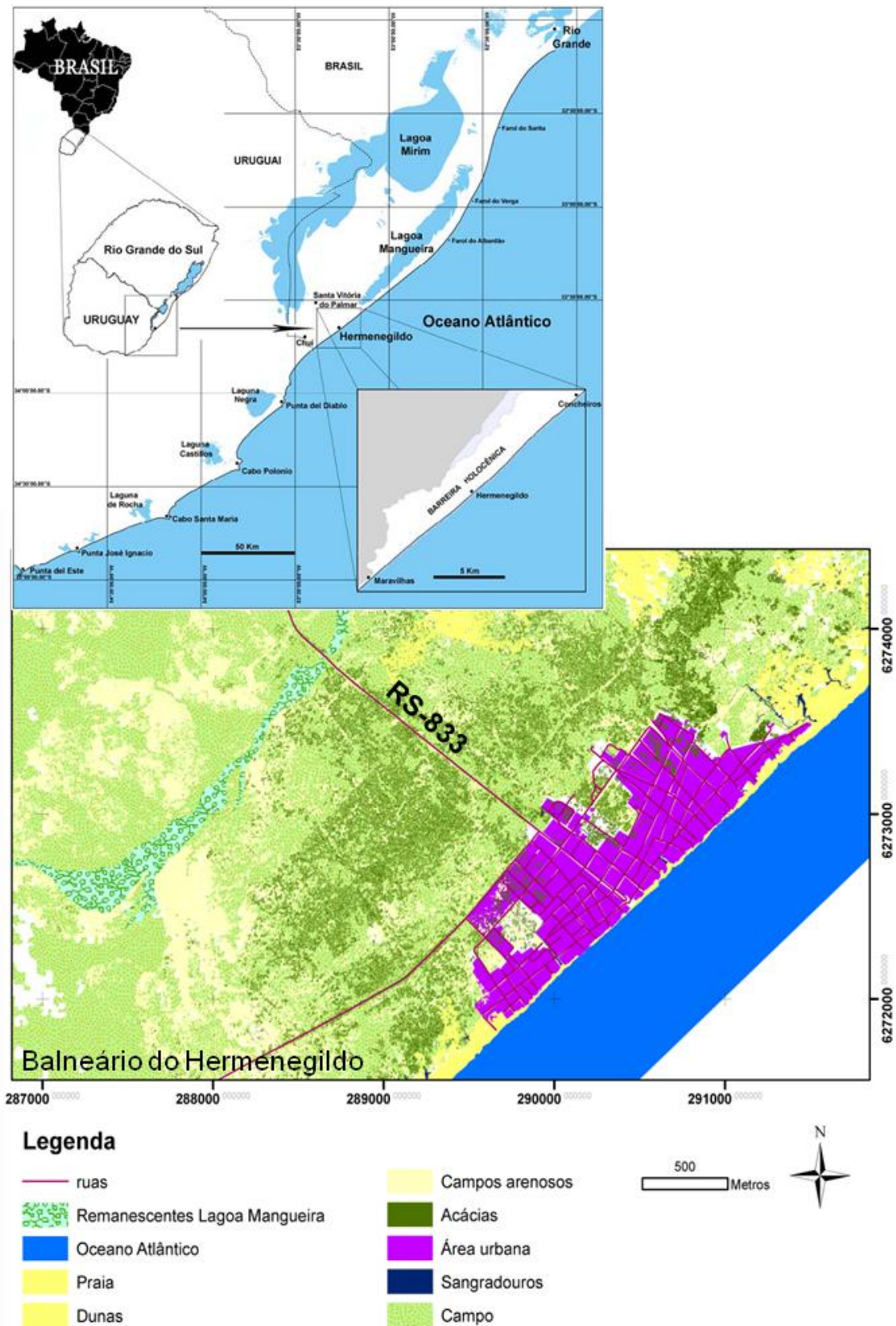


Figura 2 - Localização da área de estudo. Mapa menor extraído de Lima (2008) e maior modificado de NEMA (2009) e Koerner (2009).

CAPÍTULO 3

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para se entender o que é, como acontece a erosão costeira e, conseqüentemente, como funcionam as alternativas de manejo, é necessário compreender como ocorrem os *processos* que atuam na costa. Definir algumas terminologias e conceitos utilizados no trabalho também é necessário, visto que não existe uma padronização quanto às terminologias utilizadas neste tema, que podem diferir de acordo com cada área da ciência, como geologia ou biologia, ou até mesmo nas traduções para o português (Souza, et.al., 2005).

Este referencial teórico será dividido em quatro etapas:

1. O Sistema Praial
2. O problema da Erosão Costeira
3. As abordagens e alternativas para o Manejo
4. O caso do balneário do Hermenegildo

Muitos dos materiais consultados são de fonte internacional, entretanto, enquanto for possível, o enfoque será dado para os processos que ocorrem no litoral brasileiro.

Os processos que ocorrem na costa que serão explanados aqui possuem um enfoque no tema da erosão costeira e nos processos que interferem na dinâmica da praia. Não serão abordados nesta revisão os processos que ocorrem em deltas, manguezais e marismas, falésias ou praias rochosas, o enfoque será dado para praias oceânicas e arenosas.

3.1 O Sistema Praial

3.1.1 A zona costeira, a orla e a praia

Na constituição federal de 1988, a zona costeira foi considerada patrimônio da União. As definições de zona costeira variam de um país para outro. No artigo 3º do decreto 5300/2004 esta zona é definida como:

“(...) espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e uma faixa terrestre, com os seguintes limites:

I - faixa marítima: espaço que se estende por doze milhas náuticas, medido a partir das linhas de base, compreendendo, dessa forma, a totalidade do mar territorial;

II - faixa terrestre: espaço compreendido pelos limites dos Municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na zona costeira.”

Em uma listagem dos municípios que compreendem a zona costeira, Santa Vitória do Palmar, o município que compreende a área de estudo do presente trabalho, está incluída nesta definição (PNGC II²).

O referido decreto (5300/04), em seus artigos 22 e 23 também especifica o que é a orla marítima e os seus limites:

“Orla marítima é a faixa contida na zona costeira, de largura variável, compreendendo uma porção marítima e outra terrestre, caracterizada pela interface entre a terra e o mar.

² PNGC-II: Resolução da CIRM conhecida como Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II, importante não confundir com o PNGC – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Lei Ordinária nº 7.661 de 1988).

Os limites da orla marítima ficam estabelecidos de acordo com os seguintes critérios:

I - marítimo: isóbata de dez metros, profundidade na qual a ação das ondas passa a sofrer influência da variabilidade topográfica do fundo marinho, promovendo o transporte de sedimentos;

II - terrestre: cinquenta metros em áreas urbanizadas ou duzentos metros em áreas não urbanizadas, demarcados na direção do continente a partir da linha de preamar ou do limite final de ecossistemas, tais como as caracterizadas por feições de praias, dunas, áreas de escarpas, falésias, costões rochosos, restingas, manguezais, marismas, lagoas, estuários, canais ou braços de mar, quando existentes, onde estão situados os terrenos de marinha e seus acrescidos.”

Em termos legais, no Brasil, a praia é um subsistema que se encontra inserido na orla marítima, que por sua vez, faz parte da zona costeira. A definição legal de praia³ se encontra no inciso 3º do artigo 10 do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC - Lei 7661 de 1988) da seguinte forma:

“Entende-se por praia a área coberta e descoberta periodicamente pelas águas, acrescida da faixa subsequente de material detrítico, tal como areias, cascalhos, seixos e pedregulhos, até o limite onde se inicie a vegetação natural, ou, em sua ausência, onde comece um outro ecossistema.”

Sendo definida assim, a praia parece uma feição simples e estática. Entretanto,

³ Esta definição de praia é a mesma no inciso XLI do artigo 14 do Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (Lei Estadual 11.520 de 03 de agosto de 2000).

veremos no próximo item a complexidade e a dinâmica deste sistema.

3.1.2 Os limites do sistema praial

Em uma definição de cunho geomorfológico, “as praias oceânicas são formadas por depósitos de material inconsolidado, como areia e cascalho, na interface entre a terra e o mar, materiais estes erodidos, transportados/retrabalhados e depositados por processos sedimentares associados a ondas e correntes costeiras geradas por ondas (paralelas e transversais à linha de costa), aos ventos e às oscilações de maré (Souza et.al., 2008).” As praias são ambientes fortemente dinâmicos e atuais. Quanto as suas divisões, as praias possuem uma parte subaérea e outra submersa e, entre elas, a zona de estirâncio (Figura 3).

A parte subaérea compreende as dunas frontais e a berma. As *dunas frontais* (ou *escarpa*, *falésia*, vegetação de restinga ou mesmo feições antrópicas, dependendo da praia) são o limite superior da praia, e compreende em um depósito do sedimento praial causado pelo vento. Podem ser providas de vegetação ou não. *Escarpa* se denomina quando existe uma pendente maior que 45°, e geralmente é evidência de erosão. *Falésias* são depósitos sedimentares mais antigos em processo de erosão em longo prazo, são feições mais comuns no Nordeste do Brasil. A *berma* é onde se depositam os sedimentos provenientes da face da praia, é um local que está sujeito a alterações sazonais, podendo ser completamente erodida em perfis de tempestade, e acrescida novamente em perfis menos energéticos.

A *zona de estirâncio* compreende na zona de espraiamento das ondas, ou seja, é a zona que está constantemente sendo molhada pelo espalhamento da lâmina d’água na face da praia.

A zona submersa possui a zona de arrebentação e a zona próxima à praia ou antepraia. A *zona de arrebentação* é a porção em que as ondas quebram e sua energia é dissipada no decorrer do seu caminho até a face da praia. É onde ocorre a maioria dos processos de transporte e suspensão dos sedimentos na zona costeira. A *zona antepraia* ou *próxima a praia (nearshore)* compreende na zona posterior a profundidade de fechamento (linha limite de quebra das ondas), até a linha de base das ondas. Nessa

região, a onda ainda exerce alguma influência sobre o fundo, de maneira que os sedimentos não são interferidos pela quebra das ondas, mas por outros processos costeiros, como a ação de correntes geradas pelo movimento incipiente da ação das ondas ou fluxo laminar da água no fundo.

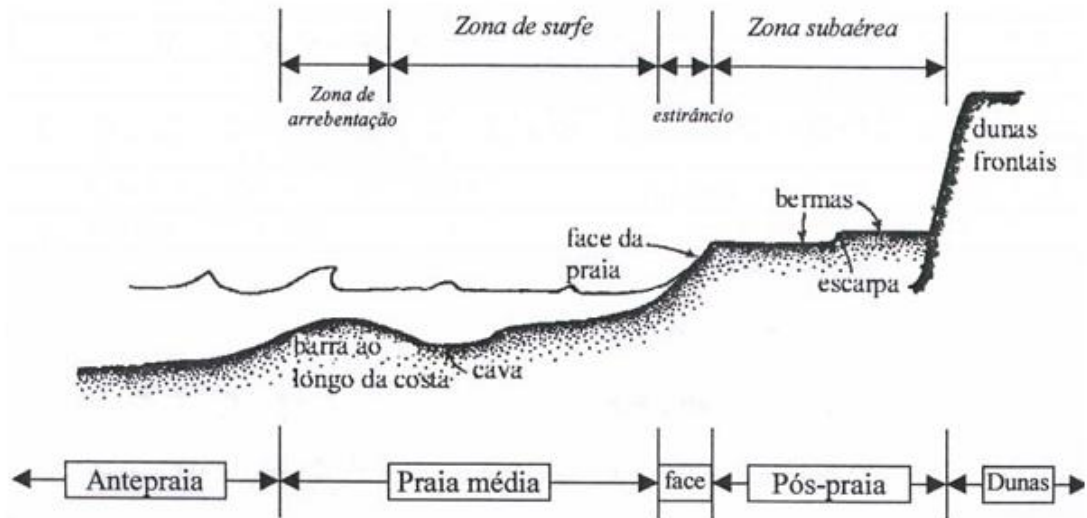


Figura 3 - A praia arenosa e suas subdivisões. Extraído de Pereira, 2005.

3.1.3 Os fatores que interferem no sistema praial

A praia existe em um equilíbrio dinâmico entre quatro fatores (Figura 4): (i) O *Nível Relativo do Mar* (NRM), (ii) a *altura das ondas*, (iii) o *suprimento de sedimentos* e (iv) a *forma da praia* (Pilkey & Dixon, 1998; Komar, 1991). Os fatores antrópicos, que compreendem na interferência do homem nos ecossistemas costeiros e não estão explícitos neste diagrama, podem interferir em um ou mais destes fatores, consequentemente, interferindo no sistema praial.

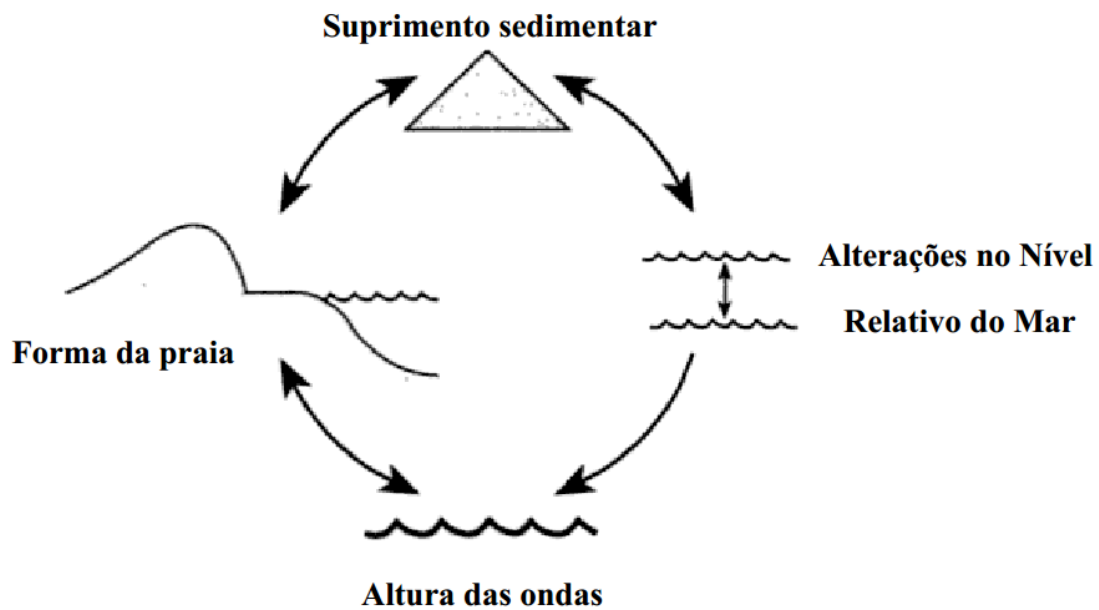


Figura 4 - A praia existe em um equilíbrio dinâmico entre os quatro fatores apresentados neste diagrama. Quando um dos fatores se altera, os outros se ajustam. (Modificado de Pilkey & Dixon, 1998).

(i) O Nível Relativo do Mar

As mudanças no nível relativo do mar podem ocorrer em diversas escalas de tempo, podendo ser horária, diária, sazonal e de longo período (Mesquita, 2000 *apud* Souza et.al., 2005). As variações horárias e diárias estão associadas à passagem de sistemas frontais (frentes frias), conhecidas também por marés meteorológicas. As variações sazonais são pouco identificadas nos portos do sul do Brasil (porto de Imbituba-SC), mas estão presentes nos portos do Nordeste e Leste do Brasil, com variações da ordem de 10 a 20 cm, associadas ao nível de radiação e precipitação da atmosfera e outros efeitos ainda não muito bem explicados, causado por variações do volume de água da Corrente do Brasil, possivelmente relacionadas às oscilações El Niño (Souza et al., 2005). O nível do mar de longo período pode estar associado com variações na temperatura global da terra.

Não obstante, o nível relativo do mar já passou por muitas mudanças ao longo da evolução geológica da Terra, variando de acordo com os períodos glaciais (baixos

níveis do mar) e os períodos interglaciais (altos níveis do mar). Já não existem dúvidas quanto a estas variações, o que se questiona hoje é se o ser humano está incrementando no aumento do nível do mar e, se sim, o quanto estaria.

O litoral do Rio Grande do Sul é um exemplo bem visível de como o nível do mar tem variado, sendo a atual geomorfologia da planície costeira o resultado destas variações (Villwock & Tomazelli, 1995; Tomazelli & Villwock, 2000).

Segundo o IPCC o a concentração de dióxido de carbono (importante gás estufa) na atmosfera aumentou de 280 ppm da época pré-industrial para 379 ppm em 2005. Um aumento da concentração também foi percebido em outros dois gases estufa: o metano e o óxido nítrico. Outro fato observado foi o aumento na temperatura global. De acordo com este mesmo relatório, a temperatura média global subiu 0.76°C desde a segunda metade do século 19 até 2005. Este aumento da temperatura na superfície terrestre tem como consequência um aumento no nível do mar, seja pela expansão térmica dos próprios oceanos, ou pelo derretimento de geleiras continentais. De 1993 a 2003 o nível do mar tem aumentado a uma taxa média de 1.8 mm por ano, sendo estimado um total de 170 mm para o século 20 (IPCC, 2007).

Como foi apresentado anteriormente (Figura 4), a variação do nível do mar é um dos fatores que interfere no equilíbrio dinâmico da praia, podendo causar erosão costeira. De acordo com Bird & Schwartz (1986), 70% das praias arenosas do mundo estão em erosão, sendo que destas, de 10 a 100% podem estar atribuídas à elevação atual do nível do mar (Bird & Schwartz, 1985 apud Souza et.al., 2005).

Para o litoral do Rio Grande do Sul também foi encontrada uma taxa de 70% do litoral em estado erosivo (TOLDO JR. et.al, 2003), o que corresponde a 528 km da costa gaúcha, sendo outros 50 km em progradação e 52 km em um estado de equilíbrio. Acreditamos que este trabalho pode superestimar os trechos erosivos, uma vez que a metodologia utilizada apresenta restrições. As restrições estão presentes na ferramenta (GPS) e no indicador da linha de costa (nível da água) utilizados.

Em contrapartida Muehe (2011), analisando perfis de uma praia no litoral do Rio de Janeiro realizados mensalmente durante catorze anos, discute se está ocorrendo uma tendência erosiva ou se são eventos extremos esporádicos. Baseado em seus dados, este autor considera que neste local ocorrem eventos extremos, com uma posterior tendência à recuperação ao seu estado original.

(ii) *A altura das ondas*

A altura das ondas varia de acordo com a sua principal forçante geradora, os ventos em oceano aberto. Quanto maior a velocidade, duração e extensão da pista na superfície do oceano que eles atuam, maior a quantidade de energia potencial absorvida pelas ondas, e maiores as ondas que serão geradas (Souza et.al.,2005). Se as ondas foram formadas em alto mar e se organizaram - formando um trem de ondas de maneira regular - e viajaram um bom tempo até chegarem à costa, estas chegam como ondulações (*swell*), ondas de alto período e que tem tendências a crescer o perfil da praia. Quando as ondas que chegam à costa são geradas em tempestades próximas são as chamadas vagas (*sea waves*) ou ondas de tempestade (*storm waves*) e que possuem a tendência a erodir o perfil praial.

À medida que a onda se aproxima da costa ela começa a interagir com o fundo marinho, passando a gerar pequenos movimentos de vai-e-vem no fundo, não permitindo que os sedimentos finos se depositem, até que se rompa na zona de arrebatção ao atingir áreas de profundidade menores que 1/25 do seu comprimento de onda (Tessler & Mahiques, 2003), gerando uma ressuspensão do sedimento nesta zona, colocando-os à deriva.

Existem quatro tipos de arrebatção classificados por Wright & Short (1984), que são definidos pela forma e energia das ondas incidentes e pela topografia do fundo na qual a onda incide, o que caracterizará o estado morfodinâmico da praia, se ela é dissipativa, refletiva ou intermediária. As praias do estado dissipativo possuem o perfil mais suave, sedimentos finos e arrebatção do tipo deslizante, são praias com grandes distâncias de dissipação da energia de ondas, e fortes tendências a criar correntes de deriva litorânea. No outro extremo, estão as praias de perfil reflexivo, ou seja, de pendente inclinada, geralmente sedimentos mais grosseiros, e ondas do tipo ascendente, sem grandes áreas de dissipação da sua energia, podendo refletir novamente para o mar. Entre elas se encontram as praias intermediárias, com arrebatção do tipo mergulhante, no qual formam ondas tubulares que ressuspendem os sedimentos pelo seu alto impacto no fundo (Wright & Short,1984).

As ondas que chegam à praia geram correntes associadas a elas e transportes de

sedimentos. Por mecanismos de refração, difração e reflexão as ondas tendem a retificar as costas, erodindo partes salientes (promontórios) e preenchendo ou fechando as reentrâncias (enseadas e baías), por vezes formando lagunas costeiras (Souza, et al. 2008). Existem dois componentes principais de transporte causado pelas ondas. Um transporte paralelo à praia, causado pela incidência oblíqua das ondas com a costa, gerando uma corrente longitudinal, que atua removendo os sedimentos na zona de arrebatção (deriva litorânea), e nos sedimentos na zona de estiramento (deriva praiar). E outro transporte perpendicular à linha de costa, causado por correntes de retorno e do movimento vai-e-vem das ondas, remodelando o perfil praiar e o transportando os sedimentos costa adentro e costa afora.

Existe uma dificuldade em se representar de maneira adequada o transporte de sedimento realizado pelas correntes de deriva litorânea, não só pela dificuldade de se obter dados precisos no ambiente inóspito imposto pelas zonas de arrebatção, e falta de tecnologia e equipamentos para este objetivo específico, também existe a limitação de se representar adequadamente, por aproximações matemáticas, os fenômenos que ocorrem nesta zona (Fontoura, 2004).

Apesar disso, sabe-se que é na zona de arrebatção que se encontram os transportes sedimentares mais importantes na zona costeira, e esta questão se torna ainda mais importante quando sabemos que é nesta zona que são edificadas as principais obras de engenharia costeira (Fontoura, op. cit.). Portanto, estimativas do transporte de sedimentos na faixa litorânea são muito importantes para o gerenciamento costeiro e para as tomadas de decisão na zona costeira.

As marés podem se comportar como ondas (marés astronômicas) ou como elevações do nível do mar em escala horária ou diária (marés meteorológicas).

As marés astronômicas são aquelas que se originam pela ação conjunta da influência gravitacional dos astros, sendo maiores as influências do sol e da lua, são marés bem previsíveis e bastante bem modeladas. Possuem uma variação diária com maiores ou menores elevações dependendo da fase em que se encontra a lua e a combinação de sua força gravitacional com o sol. Em alguns locais o efeito da maré chega a elevações diárias de 12 metros do nível do mar (macromaré, mais comum no norte do Brasil) e em outros chega a poucos centímetros (micromaré, o caso das praias do Rio Grande do Sul), mesomaré é onde a maré varia entre 2 e 4 metros.

As marés meteorológicas são aquelas elevações do nível do mar causadas pela influência da meteorologia local, é calculada como a diferença entre a maré real (observada) e a maré prevista (astronômica). No estado do Rio Grande do Sul as marés astronômicas são de poucos centímetros, e as marés meteorológicas - bastante frequentes nos meses de outono e inverno - podem chegar até 2 metros de elevação.

(iii) *O suprimento de sedimentos*

Os sedimentos mais novos em uma costa são trazidos pelos rios. A areia é movida paralela à praia pela deriva litorânea, e perpendicular à praia com a mudança das estações (do estado morfodinâmico). Se uma praia se encontra estabilizada, ou seja, não prograda e nem erode, a quantidade de areia nova que está entrando no sistema deve estar equilibrada pela quantidade de areia velha que é removida (Garrison, 2010). Esta entrada e saída do sedimento no sistema também são chamadas de balanço sedimentar (Tabela 1), que depende de diversos fatores e, por ser bastante complexo, é difícil identificar, quantificar e modelar cada um destes fatores (Souza et.al.,2005).

Tabela 1 – Balanço sedimentar de uma praia. Extraído de Souza (2005).

Suprimento de sedimentos para a praia	Perda de sedimentos da praia	Balanço
Provenientes dos rios e canais de maré	Transportados rumo ao continente, para rios e canais de maré	Processos deposicionais e erosivos no sistema praial, <i>em equilíbrio</i>
Provenientes de costões rochosos, praias e depósitos marinhos frontais	Transportados ao longo da praia (correntes de deriva litorânea)	
Provenientes da plataforma continental (correntes geradas por ondas e marés)	Transportados para a plataforma (correntes de retorno e de costa-afora)	
Provenientes das dunas (transportadas pelo vento e ondas de tempestades)	Removidos para as dunas (ventos e ondas de tempestade)	
Alimentação artificial da praia (contribuição antrópica)	Extração/mineração de areia da praia e de desembocaduras	
Aumento do volume de sedimentos produzidos no continente na plataforma continental (causas naturais e antrópicas)	Redução do volume de sedimentos produzidos no continente e na plataforma continental (causas naturais e antrópicas)	

(iv) *A forma da praia*

A forma atual da praia é resultado do equilíbrio dinâmico entre todos estes fatores citados anteriormente. Podemos imaginar uma praia como um “rio de areia” (Garrison, 2010), devido à sua constante modificação, fluxo e transportes de areia que ocorrem no seu leito. Este sedimento pode ser constantemente renovado, sempre sendo repostado sedimento novo no sistema praial, ou pode haver uma diferença entre a entrada e saída desta areia. Se entrar mais areia do que sai no sistema, diz-se que a praia está em acreção. Se, por outro lado, sai mais areia do que entra areia nova, a praia está em erosão.

Algumas considerações sobre a forma da praia devem ser levadas em conta. A forma da praia varia de acordo com alguns fatores principais, o tamanho do sedimento, a declividade da praia e o tipo de arrebentação. Wright e Short, 1984 da escola australiana de morfodinâmica classificaram a praia em seis categorias de acordo com sua morfodinâmica: praia reflexiva, praia dissipativa, e quatro categorias intermediárias entre estes extremos.

Na porção subaérea da praia ainda ocorrem processos associados ao vento, ou seja, o transporte eólico dos sedimentos. Quando a areia seca na berma, e o vento sopra na direção do mar para o continente, este forma cordões de dunas frontais que, continuamente vão migrando para o interior formando os mantos de aspensão enquanto novas dunas frontais são formadas. Quando o vento sopra no sentido do continente para o mar, ocorre uma perda de areia da parte subaérea para a parte subaquosa, não formando cordões de dunas frontais. No litoral do Rio Grande do Sul, estas características estão bem documentadas por Calliari, *et.al*, (2005).

As dunas costeiras servem como protetoras naturais das investidas das ondas de tempestade. Sendo depósitos de areia que funcionam como feições móveis da praia, são erodidas nas investidas mais fortes do mar, formando dunas escarpadas, mas até que isto aconteça elas dissipam a energia do espraiamento das ondas por meio da infiltração da água em seus poros. Quando, no lugar de dunas costeiras, está presente uma obra rígida, o mar não dissipa sua energia pela sua porosidade, e sim bate contra a estrutura rígida retornando ao mar sem ter-se dissipado, muitas vezes recolhendo sedimentos e cavando a areia por baixo destas estruturas.

3.2 O problema da erosão costeira

As zonas costeiras de todo o mundo sempre se moldaram aos fatores citados no item anterior, seja retraindo (erodindo) ou progradando (acrescendo) ou, por alguns momentos, se mantendo em equilíbrio.

O termo Erosão vem do latim *erodere* e é o “processo pelo qual há remoção de uma massa de solo de um local e sua deposição em outros locais, como resultado de forças exógenas” (MMA, 2007). No caso da erosão costeira o solo é a praia ou as dunas, e as forças exógenas são as ondas, ventos e correntes costeiras. Uma praia está sempre em busca de um equilíbrio dinâmico, ou seja, ela está sempre sendo trabalhada e remodelada pela ação das ondas. Quando uma praia está em erosão, significa dizer que a sua busca pelo equilíbrio está migrando em direção ao continente, retirando os sedimentos da praia e levando-os para o mar.

As causas desta regressão da praia em direção ao continente geralmente estão associadas a um déficit de sedimento na praia, ou seja, por algum motivo não está havendo uma reposição do sedimento. Estes motivos podem ser muitos, e podem ser por causas naturais, antrópicas, ou mesmo as duas.

É importante considerar a escala do problema. A Figura 5 apresenta as diferentes escalas temporais e espaciais utilizadas na literatura e a sua terminologia associada. Como podemos notar, as causas da erosão costeira podem ser associadas a eventos de longuíssimo termo com efeitos globais, como a elevação do nível do mar causada por uma elevação da temperatura terrestre (primeiro item do tópico 3.1.3), ou podem ser associadas a causas pontuais, de curto termo (*e.g.* uma interferência antrópica no local, ou correntes e ventos sazonais).

ESCALA	Horas	Anos	Décadas	Séculos	Milênios	CAUSAS NATURAIS DA EROSIÃO	CAUSAS ANTRÓPICAS
10m	Curto Termo					<ul style="list-style-type: none"> ○ Condições oceanográficas (ondas e marés meteorológicas) ○ Variações climáticas sazonais 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Estruturas na zona de surfe ○ Alimentação artificial de praias
1km		Médio Termo				<ul style="list-style-type: none"> ○ Variações no clima de ondas ○ Ciclos dos bancos da zona de surfe ○ Eventos extremos 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Estruturas na zona de surfe ○ Alimentação artificial de praias
5km			Longo Termo				<ul style="list-style-type: none"> ○ Flutuações do NRM ○ Variabilidade climática regional ○ Ciclos dos canais de maré ○ Ondas arenosas ○ Eventos extremos
10km				Longuíssimo Termo			<ul style="list-style-type: none"> ○ Suprimento sedimentar ○ Flutuações do NRM ○ Mudanças batimétricas ○ Estrutura geológica ○ Mudanças climáticas de longo-termo ○ Morfologia antecedente
100km							
>100km							

Figura 5 - Escalas temporais e espaciais e as causas de erosão naturais e antrópicas associadas. (Modificado de Coelho et.al., 2009 e Esteves, 2002).

As *causas naturais* da erosão podem ser as tempestades, que aumentam, temporariamente, o nível relativo do mar e por consequência retiram o sedimento da parte terrestre (subaérea) da praia para levá-los a parte aquática (subaquática). Podem ser focos de refração de ondas em um único local (Speranski & Calliari, 2006), por quebrarem mais ondas neste local ocorre uma retirada de sedimentos, e perda para uma deriva litorânea. Pode ser devido ao balanço natural dos sedimentos em uma praia pequena. Também pode ser a erosão natural de um pontal arenoso que pode estar ainda em formação e acomodação.

Exemplos muito usados para *causas artificiais* de erosão são as obras de engenharia costeira, muitas vezes mal administradas. Podemos citar os espigões ou

molhes, que barram o transporte lateral de sedimento, acumulando sedimento na praia de um lado, e retirando sedimento da praia do outro lado (*e.g.* Praias do Cassino e São José do Norte – RS, Lélis & Calliari, 2006). A construção de barragens para geração de energia ao longo de um rio, também é exemplo de como o homem pode interferir no balanço sedimentar (*e.g.* Rio São Francisco, Bandeira, *et.al*, 2008). Neste caso, o sedimento vai sendo barrado no decorrer do rio e não chega até a praia, onde ele costumava manter o equilíbrio da mesma. Faltando sedimento, erode. As construções irregulares de casas à beira-mar, também podem ser consideradas causas de erosão costeira. Muitas vezes as construções potencializam uma retirada de sedimentos, pois onde haveria uma duna costeira para absorver a energia das ondas que chegam, está uma obra rígida que, por impacto, faz com que a energia da onda seja aumentada e seja retirado o sedimento da praia em frente à construção (Plant & Griggs, 1992).

Como vimos, as causas deste problema podem ser inúmeras, podem atuar em diversas escalas temporais e espaciais e podem ocorrer sinergicamente entre si. No entanto, independente das causas da erosão em um local, as consequências são semelhantes nas diversas praias (Teixeira, 2007; Neves & Muehe, 2008; Souza, 2009):

- Redução ou extinção da faixa de praia (quando a urbanização está presente);
- Migração transversal da linha de costa (quando a urbanização não está presente, ou seja, existe espaço físico para esta migração);
- Redução ou desequilíbrio de habitats naturais costeiros;
- Aumento na intrusão salina em aquíferos, drenagens superficiais, estuários ou manguezais;
- Aumento da vulnerabilidade de ambientes costeiros à inundação;
- Perda de patrimônios públicos ou privados;
- Danos estruturais ou operacionais a portos e terminais;

- Destruição ou danos a dutos, emissários submarinos ou outras obras de saneamento;
- Destruição de obras de proteção costeira;
- Redução e prejuízos ao turismo na zona costeira;
- Prejuízos à economia local.

Geralmente os impactos da erosão costeira são percebidos quando agem sobre um referencial fixo, ou seja, obras e urbanização costeira. E é quando ameaçam a economia local que são implementados programas de manejo costeiro. Entretanto, a erosão costeira também deve ser avaliada pelo poder público e estudada por cientistas em locais inabitados pelo homem, pois habitats naturais também são perdidos, podendo colapsar importantes ecossistemas costeiros já comprometidos em áreas urbanizadas (Souza, 2009).

3.3 As abordagens e alternativas para o Manejo do problema

Como visto no item anterior, o problema da erosão costeira é extremamente complexo, com uma intrincada relação de variáveis, muitas das quais são de difícil mensuração. Além disso, este problema é dinâmico, as causas podem ser particulares de cada praia e com diferentes escalas de atuação, podendo gerar danos irreparáveis na zona costeira. Ainda assim, frente a estas lacunas do conhecimento sobre este tema, o problema deve ser administrado e, se possível, prevenido e evitado. Em virtude disso, o manejo deve ser dinâmico: devemos considerar taxas anuais de erosão e um manejo adaptativo e cíclico para este problema.

Como foi destacado no item 3.2, existem diferentes escalas de atuação da erosão costeira na praia, portanto, ao manejar a erosão costeira, deve-se ter em mente a escala de tempo e espaço que se deseja realizar o manejo. O problema pode ser abordado em “soluções” de curto termo, em que se remedia o problema hoje, mas sabendo que terá de ser passar por novas manutenções no futuro; ou pode ser abordado com alternativas de

manejo de longo prazo, prevenindo variações do nível do mar e suas consequências antes que elas aconteçam.

Nesta dissertação o manejo da erosão será apresentado obedecendo a seguinte lógica:

1. Existem **medidas propostas** para manejar o problema, que compreendem
2. Algumas **alternativas** de manejo, que abordam o problema utilizando
3. Diferentes **métodos** de engenharia ou planejamento.

As **propostas** partem de duas lógicas de raciocínio:

- (i) Deixar que a natureza siga seu rumo, e/ou;
- (ii) Interferir no comportamento natural do oceano e da praia.

Na literatura, as **alternativas** para o manejo estão organizadas ou nomeadas de diferentes maneiras (Tabela 2), no entanto, quaisquer que sejam os nomes ou a organização destas alternativas de manejo, as **propostas** são as mesmas: Proteger a linha de costa interferindo no desenvolvimento natural da praia, ou interferir no sistema humano frente a esta ação da natureza.

Tabela 2 – Propostas, alternativas e métodos para o manejo da erosão costeira.

	NRC, 1990	Pope, 1997 (<i>apud</i> USACE, 2003)	USACE, 2003	Exemplos de métodos
ABORDAGENS	ALTERNATIVAS DE MANEJO			MÉTODOS
Interferir no comportamento natural da praia	Técnicas Rígidas	Proteger - <i>Fixar a linha de costa</i>	Estruturas de Proteção	Muros de contenção (<i>seawalls</i> e <i>bulkheads</i>), Revestimentos, Barreiras
		Moderar - <i>Reduzir a taxa de erosão</i>	Estruturas para estabilização da praia (moderação)	Quebra-mares, Espigões, Recifes artificiais, Diques
	Técnicas flexíveis	Restaurar - <i>Preencher a praia</i>	Engorda da praia	Engordamento de praias, recuperação de dunas
Deixar que a natureza siga seu rumo	Restringir a ocupação e uso	Adaptar - <i>Viver com isto</i>	Adaptação e Retração	Planejamento territorial, zoneamento, zona de recuo (<i>setback</i>), Alertas de emergência
	Abandonar a área	Abstenção - <i>Deixar como está</i>	Deixar como está	Não fazer nada (<i>Do nothing</i>)

Entrando em maior detalhe, existem diversas **alternativas** de manejo para o problema, com os mais variados custos e níveis de complexidade para implementação.

Neste trabalho, preferimos referir-nos a cada método de "solução", como é bastante abordado na literatura como uma "alternativa de manejo" à erosão costeira. As alternativas de manejo que adotamos estão classificadas conforme apresentado no *Coastal Engineering Manual* (USACE – 2003) da seguinte forma:

(1) Protegendo a costa - interferindo no natural:

- i. Fixando a linha de costa;
- ii. Estabilizando a praia;
- iii. Recuperando a praia.

(2) Adaptando-se - interferindo no humano:

- i. Planejando o espaço;
- ii. Retraindo as construções;
- iii. Adaptando as construções e convivendo com o problema.

ou

(3) Não fazendo nada.

Para cada uma destas **alternativas** serão destacados os principais **métodos** encontrados na literatura para praias de oceano aberto.

3.3.1 Protegendo a costa - Interferindo no natural

3.3.1.1 Fixando a linha de costa

As estruturas que estão inseridas nesta abordagem são aquelas que confrontam com o mar e lutam para fixar a linha de costa. Alguns exemplos desta abordagem são os muros de proteção e contenção (*seawalls* e *bulkheads* em inglês), os revestimentos e as barreiras.

Muros

Os Muros de Proteção (*seawalls*) são muros, como o nome diz, com a sua principal função de proteger a costa e reduzir ou impedir a inundação das áreas interiores devido à sobrelevação da maré ou de tempestades. São muros maciços e impermeáveis, feitos de concreto. Podem ser verticais ou com uma pendente inclinada, que são idealizados de maneira que dissipem um pouco da energia das ondas que chegam do mar. São muros muito pesados, que garantem um pouco a sua estabilidade em praias expostas à ação das ondas.

Os Muros de Contenção (*bulkheads*) são muros bem verticais, sem uma

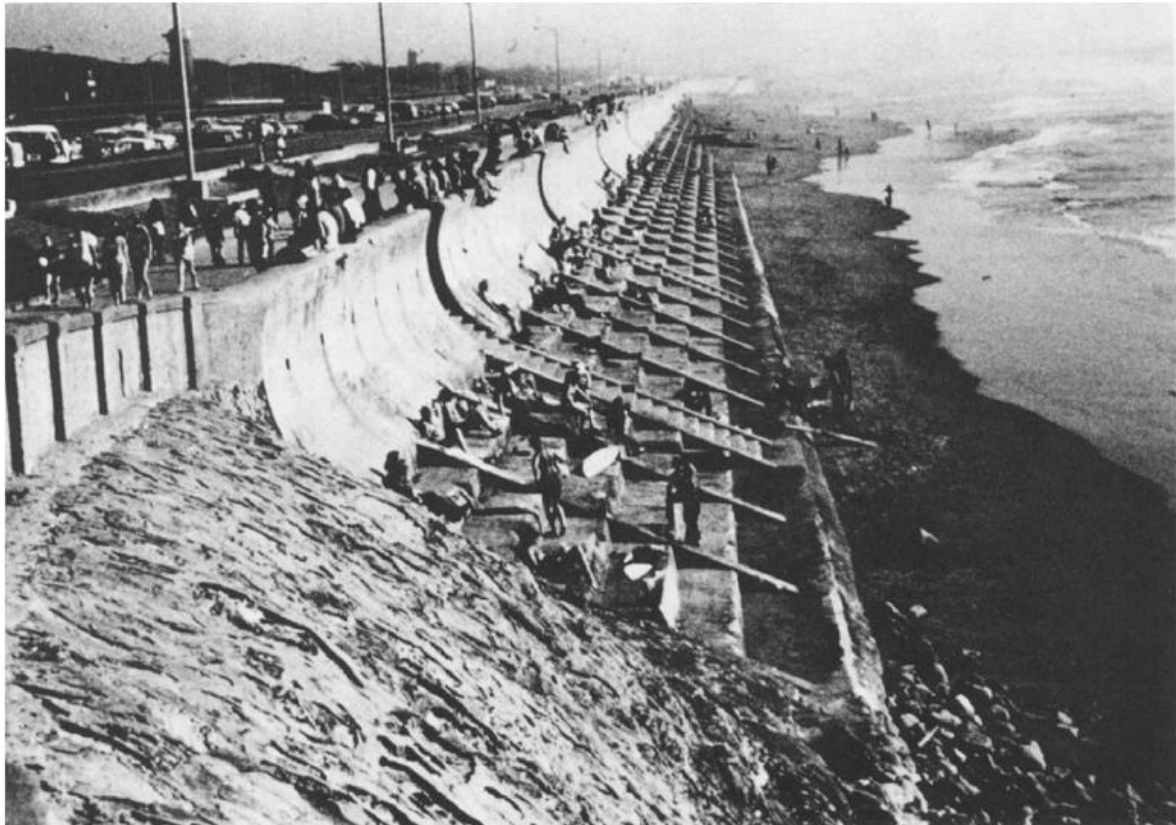
inclinação que dissipe a energia das ondas, de modo que as ondas batem contra o muro e se refletem novamente para o mar, recolhendo os sedimentos da praia. A principal função dos muros de contenção é proteger o terreno e impedir o deslizamento da terra, sendo mais projetados para a contenção do terreno do que para a proteção contra a erosão. São estruturas que podem ser feitas com uma variedade de materiais, como estacas e madeira, muro de alvenaria, ou muro de madeira preenchida com rochas, etc.

Barreiras (diques)

A função das barreiras se aplica mais a locais onde ocorre inundação por elevação do nível do mar, seja por maré, baía ou beira de estuário. Sua função é barrar a elevação do mar e proteger zonas mais baixas à sua retaguarda. Em geral são construídas de materiais maciços como os muros de proteção.

Revestimentos

Revestimentos são materiais resistentes depositados diretamente na escarpa ou ao pé de outras estruturas. Diferente dos muros, os revestimentos não possuem uma fundação e dependem da terra abaixo deles para servir de apoio. Tem como função proteger a escarpa da ação direta das ondas, e são feitos com materiais em que a água passa através deles, de modo que dissipe um pouco da energia da onda que chega. São muito usados para proteger a base de outras estruturas - como ao pé de muros de contenção, por exemplo - para evitar que o mar cave por baixo delas e as desmorone. Podem ser feitos de diversos materiais, como rochas de diversos tamanhos, camadas de concreto ou asfalto, blocos de concreto, gabiões, estruturas com materiais geotêxteis ou, onde é possível, com vegetação de marismas.



San Francisco, California (June 1974)

Figura 6 – Exemplo de um muro de proteção. Extraído de US Army, 1984.

3.3.1.2 Estabilizando a praia

Nesta abordagem estão inseridas as alternativas de manejo que fazem um remanejo do sedimento disponível, funcionando como armadilhas de sedimento em um local, mas em compensação potencializam a erosão em outro local. São alternativas que devem ser trabalhadas com muita atenção e planejamento.

Existem praias que são naturalmente estáveis, e estas possuem uma largura de praia seca mínima, que consiste na largura de praia que é estável e protege a costa das tempestades. Em algumas tempestades esta praia seca é erodida, mas logo esta largura mínima se recupera, ficando estabilizada. Baseado nesta lógica, o princípio que norteia esta abordagem é que se interfira na dinâmica do sedimento da praia, de modo que se mantenha uma largura de praia seca mínima que sirva de proteção para a costa, e que esta dinâmica do sedimento se comporte de uma maneira que mantenha a praia estabilizada.

Exemplos de alternativas que estabilizam a praia são os quebra-mares, espigões e recifes artificiais.

Quebra-mares

Quebra-mares são estruturas construídas geralmente dispostas paralelamente à linha da praia e são expostas na superfície. É uma alternativa que tem como ideia criar uma zona de concentração da energia de ondas sobre o quebra-mar e, por difração ou refração da onda ele cria uma microcirculação na praia à sua retaguarda que faz com que ela engorde neste local. Os quebra-mares podem ser grandes e destacados, podem ser dispostos sozinhos ou em conjunto com outras alternativas de manejo ou também podem ser construídos vários quebra-mares em série. Os quebra-mares também podem ser fixos ou flutuantes. Os fixos são grandes massas de material pesado que estão dispostos sobre o fundo, geralmente são rochas ou grandes estruturas de concreto. Os flutuantes são de estruturas que boiam, como *containers*, toras, caixas de concreto flutuantes ou armações de pneus, geralmente são usados em praias protegidas ou embaiadas, cujo período de ondas é baixo.

Em inglês há uma distinção entre os quebra-mares, denominados de "*headland breakwaters*" e "*nearshore breakwaters*", aqui serão chamados de Quebra-mares de "promontório" e "costeiros" respectivamente.

Quebra-mares de promontório

Existem algumas praias que estão naturalmente em equilíbrio devido à sua forma parabólica, ou seja, possuem um promontório rochoso entre a praia e a direção de ondas dominante. Este promontório rochoso cria uma circulação local por concentrar o impacto das ondas para si, e criar uma zona de difração das ondas, criando uma praia com forma de uma baía e com seu equilíbrio dinâmico estabilizado. A ideia deste tipo de quebra-mar é mimetizar a natureza e criar um promontório que interfira na dinâmica sedimentar, criando uma praia embaiada e em equilíbrio. Este tipo de quebra-mar acaba se ligando com a praia, formando um tómbolo e reduzindo o transporte sedimentar ao

longo da praia, podendo potencializar a erosão em outras praias adjacentes.

Quebra-mares costeiros

Os quebra-mares costeiros são quebra-mares dispostos paralelamente a linha de costa e possuem como principal objetivo dissipar a energia das ondas que chegam à praia. Esta redução na energia das ondas reduz a deriva litorânea e causa uma deposição dos sedimentos criando uma saliência na praia atrás do quebra-mar. Este tipo de quebra-mar permite que algum transporte longitudinal de sedimentos ainda ocorra entre o quebra-mar e a praia, diferente dos quebra-mares de promontório anteriormente citados.

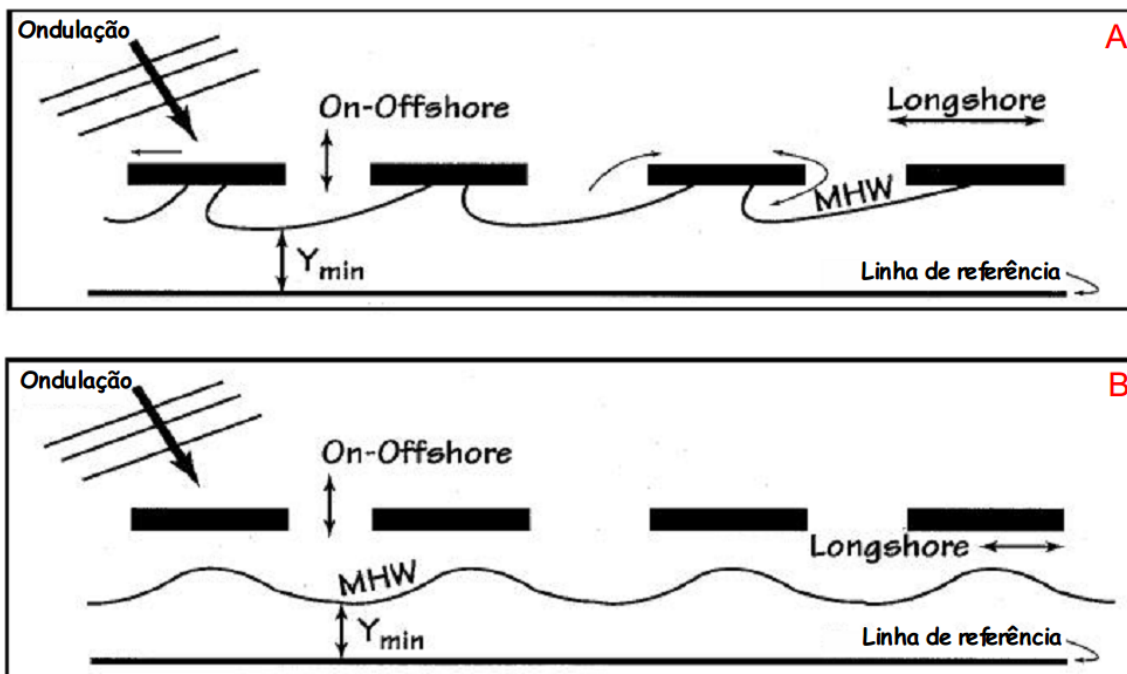


Figura 7 – Desenho esquemático de *Quebra-mares de promontório/ headland breakwaters* (A) e *Quebra-mares costeiros/ nearshore breakwaters* (B). A Linha de referência apresenta onde se encontrava a linha de costa antes da instalação dos quebra-mares, e MHW é a Linha de praia média (*Mean High Water*, em inglês) obtida após a obra. Nestas figuras pode-se ver que os quebra-mares costeiros permitem o transporte longitudinal (“longshore” em B), enquanto os quebra-mares de promontório bloqueiam este transporte. Y_{min} é a largura de praia mínima que se espera obter após a implementação da obra de proteção. Modificado de USACE, 2003.

Espigões

Os espigões são as estruturas de estabilização da praia (conectados a ela) mais antigos e comuns. E provavelmente também são as estruturas que mais foram mal usadas e impropriamente projetadas (USACE, 2003). Os espigões são, em geral, estruturas rochosas e dispostas perpendicularmente á praia. Sua principal função é trapear os sedimentos da deriva litorânea, fazendo com que a linha de costa se ajuste à esta barreira. O que acontece após se estabilizar, é que a praia do lado do espigão em que vêm a corrente longitudinal cresce, enquanto o lado atrás do espigão erode. Diferente dos molhes - que são estruturas para facilitar a navegação na entrada de canais - os espigões servem para proteção da erosão costeira, e geralmente são mais curtos.

Estas estruturas são construídas para manter uma largura mínima de praia seca para reduzir os danos das tempestades, ou para controlar o montante de sedimentos que se movem ao longo do litoral. Além de rochas ou blocos de concreto, os espigões também podem ser construídos com estruturas de madeira, toras de árvores preenchidas com areia ou rocha, gabiões ou até pneus, o tipo de material a ser utilizado vai depender da força das tempestades e a sua resistência a elas. Além dos materiais, podem ter muitos formatos ou ângulos, tamanhos, e também podem ser permeáveis (permitir a passagem de areia e água) ou não.

Até poucos anos atrás a quantificação do transporte litorâneo e a modelagem e criação de cenários de implementação do espigão, bem como taxas de acreção e erosão consequentes, eram difíceis de calcular. Desse modo o sucesso dos espigões implementados até então partiam do consenso e experiência do engenheiro costeiro, boas praticas conhecidas e lições aprendidas de insucessos em outros locais (Pilarczyk, 1990).

Hoje já existem modelos matemáticos que auxiliam na obtenção e visualização de cenários prospectivos da implementação de estruturas estabilizadoras da linha de costa. Entre as “regras” de USACE (2003) para a implementação de um espigão ou uma série de espigões (Anexo 2), estão presentes as recomendações para o uso de modelos para simular a resposta da praia com o uso de um único espigão ou uma série de espigões,

bem como modelar as correntes costeiras transversais e longitudinais que atuam no local.

Estruturas estabilizadoras da linha de costa que barram o transporte litorâneo de sedimento são métodos aplicados localmente, mas com consequências em uma escala muito maior. Já foram realizados muitos projetos de espigões no passado que obtiveram um sucesso no local, mas consequências aterradoras em outros em todo o sistema praial. Como exemplo disto tem-se o fato de que estas estruturas foram proibidas em muitos estados dos EUA (NRC, 1990).

Pelo fato de um espigão transferir a erosão para o lado oposto do que vem a corrente, em muitos locais foram implementados espigões em série, e de modo indiscriminado, causando um efeito dominó na zona costeira. No Brasil têm-se como exemplo deste efeito as praias do Recife em Pernambuco. No início foi criada uma barragem para a construção de um porto marítimo, o qual gerou consequências nas praias posteriores, tendo sido colocados espigões continuamente. Estas praias sofrem com problemas severos de erosão até hoje (UFPE, 2009).

Assim, percebe-se a necessidade de muita cautela e atenção ao implementar este tipo de estruturas na costa, e ainda um monitoramento continuado após a sua instalação, já que podem fugir do controle do homem e causar danos irreparáveis. Entre as recomendações de USACE (2003, anexo 2), estes autores aconselham que se estabeleça um consistente monitoramento para observar os sucesso e os impactos da obra e que se crie um mecanismo emergencial de decisões, providenciando modificações ou até mesmo remoção caso os impactos se encontrem inaceitáveis.

De qualquer maneira, estas tecnologias vêm, aos poucos, sendo retomadas nos projetos de proteção à erosão costeira ASBPA (2011). Entretanto, a abordagem está sendo um pouco diferente, de modo que estas estruturas estão sendo usadas como ferramenta para conter um engordamento de praia, fazendo com que o sedimento permaneça por mais tempo na praia manejada.

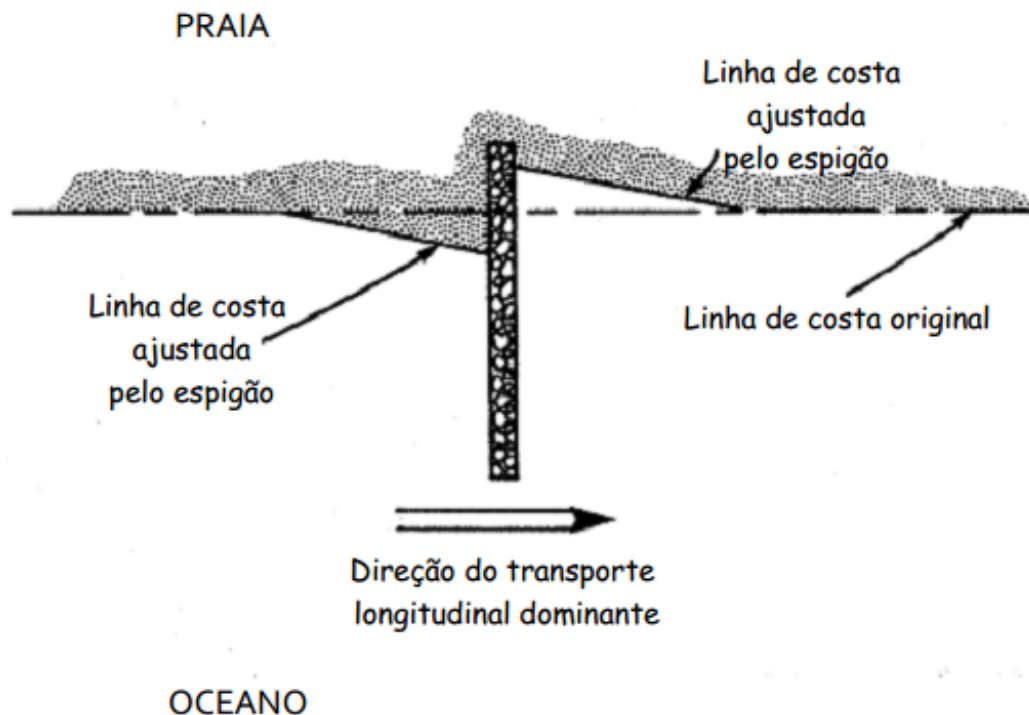


Figura 8 – Figura esquematizando o funcionamento de um único espigão na linha de costa. Na figura o transporte sedimentar dominante ocorre da esquerda para a direita. Como consequência, ocorre uma deposição de sedimento do lado esquerdo do espigão, enquanto o lado direito apresenta erosão. Modificado de USACE, 2003.

Recifes artificiais e Quebra-mares submersos

Os recifes de corais naturais são uma estrutura rochosa de calcário que crescem pela secreção de animais primitivos que vivem sobre a superfície da rocha. Existem outros tipos de recifes naturais que podem ser os arenitos - formados pela cimentação de restos de conchas e areia - ou os recifes formados por colônias de "tube worm". Recifes naturais requerem uma alta energia de ondas para sobreviver. Além disso, enquanto vivos, eles são capazes de elevar sua estrutura junto com uma subida do nível do mar (USACE, 2003).

Os recifes atenuam a energia das ondas sobre eles de diversas maneiras, podendo transformá-las em ondas deslizantes, mergulhantes, causar refração e difração do raio de ondas e dissipar a energia da onda pelo atrito com o fundo. É importante destacar que a profundidade limite da quebra da onda é o principal processo de transformação da

energia da onda (USACE, op.cit).

A utilização de recifes artificiais com o propósito de dissipar a energia das ondas para conter a erosão costeira é uma abordagem relativamente nova (USACE, op.cit). Muitos são os estudos relativos ao que acontece com a dinâmica das ondas ao passar por um recife artificial, também encontrado na literatura como quebra-mares submersos⁴.



Figura 9 - Exemplo de engordamento de praia causado pela atenuação de ondas em recifes artificiais utilizados como quebra-mares submersos. Projeto realizado em praia da República Dominicana (Fonte: <http://www.artificialreefs.org/ScientificReports/DRmemo.htm>)

3.3.1.3 Recuperando a praia

Também chamadas por "Técnicas (de engenharia) flexíveis" (*soft defences* ou *soft techniques*) as alternativas que envolvem uma recuperação da praia são as tecnologias que não confrontam diretamente com o mar, e sim se adapta preenchendo a praia com sedimento proveniente de outros locais. A recuperação de praia funciona como uma zona de amortecimento à erosão (USACE, 2004). Esta abordagem é interessante, pois é menos impactante visualmente, recupera a praia ao seu mais próximo do perfil natural e proporciona uma área de lazer para os usuários da praia. Não obstante, esta abordagem

⁴ Mais informações sobre recifes artificiais utilizados como atenuadores de ondas em praias em erosão podem ser consultadas em: <http://www.reefbeach.com/#Submerged> e <http://www.asrltd.com/expertise/multi-purpose-reefs.php>

vem sendo bastante estimulada como uma resposta aos impactos negativos causados pelas estruturas "rígidas" (Linham & Nicholls, 2010). Entretanto, Nordstrom (2010) ressalta que somente fazer um projeto de engorda construindo uma praia plana e sem a formação de habitats costeiros e do perfil natural não é o mesmo que recuperar a praia, e sim criar uma faixa de proteção à erosão costeira. Nesta abordagem de recuperação de praia estão incluídas duas alternativas, a engorda da praia e a recuperação das dunas.

Engorda da praia

Engordar a praia significa importar sedimento de outro local para a face da praia que está erodida. O método tradicional de engordamento de praia consiste em criar uma berma plana na face emersa, construída com equipamentos de terraplanagem.

Além deste método tradicional, existem outros, que podem ser: (i) realizar um engordamento subaquático, proporcionando menos área de lazer, porém eficiente na redução da taxa de recuo da praia; (ii) Engordar uma praia vizinha, como "praia de alimentação" que, por processos de deriva litorânea engordará "naturalmente" a praia a ser recuperada; ou outros métodos de transferência por deriva litorânea, como *bypass*, que passa o sedimento da praia acrescida de um lado de uma obstrução ao transporte litorâneo (como um molhe por exemplo) para o lado à jusante desta obstrução, transferindo o sedimento do sistema e compatível com a praia a ser recuperada; ou *backpass*, que transfere sedimentos de áreas de acreção a jusante de volta a montante (erodida) (Nordstrom, 2010).

O objetivo principal do engordamento de praia está em criar uma zona de proteção à erosão, tal qual é uma praia. O funcionamento se dá de maneira que este sedimento disposto auxilia na dissipação da energia das ondas que chegam à costa (Pilarczyk, 1990).

A disposição do sedimento na praia pode ser realizada de diversas maneiras: nas dunas, na berma, em todo o perfil praial ou no banco submerso. Na prática, o meio de transporte pode determinar como vai ser realizada a disposição do sedimento na praia. É mais fácil depositar o sedimento da superfície emersa da praia ao se trabalhar com caminhões e na porção submersa quando o sedimento é proveniente de dragagem (Komar, 1998).

Seja qual for a forma como este sedimento será disposto, este será remodelado com o tempo com a ação das ondas e da maré (Komar, op. cit), de modo que a praia ficará com o perfil mais semelhante ao natural.

Após colocado o sedimento importado no destino final, é muito difícil de prever o prazo de permanência da areia na praia engordada. Isto se deve a complexidade do tema, a dificuldade de modelar as relações entre as diversas variáveis, e o reduzido conhecimento nas relações de pequena escala do sedimento com as ondas (e.g. interferência da forma do sedimento, densidade, e relações com o espriamento) (Komar, 1998).

Vamos citar aqui dois exemplos entre os vários existentes. O engordamento da praia de Copacabana no Rio de Janeiro, realizado no início da década de 1970 (Vera-Cruz, 1972) citado como um dos mais bem sucedidos na literatura (Charlier & De Meyer, 1998); e um engordamento mais recente realizado na praia de Piçarras em Santa Catarina (Klein *et al.*, 2006).

A engorda da praia de Copacabana no Rio de Janeiro foi finalizada em 1972. Foram dispostos na parte submersa 2 milhões de metros cúbicos e 1,5 milhões de metros cúbicos na berma. Em um projeto de 4,2 quilômetros de comprimento, a praia ganhou cerca de 85 metros de largura, passando dos seus 55 metros remanescentes para aproximadamente 140 metros (Vera-Cruz, 1972). Até hoje não foi necessário novo engordamento para manutenção (Charlier & de Meyer, 1998). Convém lembrar que a praia de Copacabana é embaiada (semi-abrigada), sendo restritos os movimentos de transporte longitudinal e o projeto de engordamento aumentou a granulometria do sedimento na praia. Como consequência desta engorda ocorreu uma grande alteração na morfodinâmica do local, transformando-a de uma praia com características dissipativas para uma praia de tombo (reflexiva), neste caso, muito arriscada para o banhista desavisado (Barletta, com. pessoal).

O engordamento de Piçarras foi realizado com sedimento da Plataforma interna adjacente. Foram colocados 880.000 m³ de sedimentos ligeiramente mais grosseiros que os naturais e distribuídos ao longo de 2.200 m de praia. O trecho engordado não compreendia a praia como um todo, sendo recuperada somente a região mais afetada.

Na ocasião foi estimado que 60% do material engordado seria perdido em 3 anos, havendo a necessidade de uma recuperação do engordamento (Klein *et al.*, 2006). Decorridos 8 anos do engordamento sem haver uma recuperação do engordamento, a praia retornou ao estado erosivo em que se encontrava antes do projeto (Calliari, com. pessoal).

Sendo assim, é importante ressaltar que apesar do engordamento de praia proteger a orla, este método não para a erosão, mas provê para a praia sedimentos de outra fonte enquanto a erosão continuará agindo no local. Neste sentido, mais do que uma barreira fixa contra a erosão costeira, o engordamento funciona como uma barreira “sacrificável” a ela (Linhm & Nicholls, 2010).

Como qualquer das alternativas e métodos apresentados neste trabalho, o engordamento de praia tem suas vantagens e desvantagens.

Speybroeck *et al.*, 2006 fizeram uma revisão dos impactos que o engordamento de praia causa na ecologia do ambiente praial. Estes autores concluíram que o engordamento não é uma alternativa inteiramente “ecológica”. Entretanto, dentre as alternativas existentes, a engorda de praia é a que se mostra menos impactante. Ainda assim, segundo Nordstrom (2010), existe mais informação sobre os efeitos ambientais negativos do engordamento em si do que efeitos ambientais positivos.

Além disso, esta abordagem de manejo é a menos impactante visualmente. Torna a praia ao seu estado mais próximo do seu estado natural, e sem as estruturas rígidas que podem estragar a beleza cênica da praia, prejudicar a segurança dos usuários e prejudicar o transporte de sedimento em todo o sistema praial. Soma-se a estas qualidades o fato de que o engordamento também proporciona uma área de lazer para os usuários da praia.



Figura 10 - Projeto de engordamento de praia em New Jersey. Na imagem é possível ver o maquinário atuando no projeto. (Fonte: <http://kanat.jsc.vsc.edu/student/davis/index.htm>)

Recuperação e manejo de dunas

A recuperação e manejo de dunas é uma alternativa que envolve recuperar as dunas ao seu estado natural e como conservadoras do ambiente praias frente à erosão costeira. Os métodos de manejo de dunas podem ser com preenchimento de areia importada e um remanejamento desta areia no local, ou pode ser com incentivo ao crescimento de dunas com vegetação fixadora. A duna frontal trapeia os sedimentos transportados pelo vento formando os cômodos, que ajudam a proteger a costa dos eventos de tempestade, e serve como reserva de areia para o sistema (Tabajara et.al, 2001).

A zona costeira do balneário do Hermenegildo que está sofrendo problemas de erosão e é o foco principal para as ações de manejo costeiro é a orla urbanizada. Nesta parte urbanizada já não existem dunas frontais, com exceção em um pequeno trecho da porção norte do balneário (Koerner, 2009).

Levando em conta que não há dunas frontais na faixa costeira de estudo, não vamos considerar a recuperação de dunas em nossa análise. Outro motivo é que, para recompor dunas costeiras deve ser tomada uma das alternativas: Recuar as construções da linha de costa; ou engordar a praia com sedimento suficiente para recuperar dunas frontais. Sendo assim, um projeto de recuperação de dunas em uma praia em estado crítico de erosão é um projeto não menos importante, mas secundário ou no mínimo para uso em conjunto com outras alternativas.



Figura 11 – Exemplo de recuperação de dunas com plantio de mudas e cercas para barrar o transporte de sedimentos. Fonte: DNREC (Delaware Department Of Natural Resources And Environmental Control⁵).

3.3.2 Adaptando-se - interferindo no humano

Casas com sistemas de elevação e casas à prova de inundações, zoneamento

⁵ Extraído de

<http://www.dnrec.delaware.gov/News/Pages/CoastalLandscapingandDuneManagementWorkshopforHomeownersSetforMay15.aspx>.

restritivo (e normativo), definição de linha de recuo (*setback*), modelos e avisos de tempestades, planos de evacuação, planejamento territorial e remanejamento da zona urbana já construída são alguns tipos de métodos de adaptação do ser humano ao problema da erosão costeira. A retirada se trata do abandono permanente da infraestrutura costeira, e é sempre uma alternativa possível. (USACE, 2003; NRC, 1990).

3.3.2.1 Planejando o espaço

O ordenamento territorial é uma ferramenta importante para alcançar um desenvolvimento equilibrado das regiões e uma organização do espaço e possui quatro objetivos fundamentais: o desenvolvimento socioeconômico e equilibrado; a melhoria da qualidade de vida; a gestão responsável dos recursos naturais e a proteção do meio ambiente e; a utilização racional do território. Pujadas & Font (1998) também apresentam as diretrizes básicas de um Plano como instrumento básico do ordenamento territorial. Segundo estes autores, um Plano tem a intenção básica de alcançar um futuro melhor do que se teria com a ausência de um ordenamento.

No caso dos locais com erosão costeira, ocorre uma constante perda do território, o que faz com que o ordenamento territorial deve levar em conta esta perda. Sendo assim, nestes locais deve-se ordenar o solo de maneira que as ocupações urbanas coexistam com a taxa de erosão existente na praia, de maneira harmoniosa e menos impactante (impactos negativos) possível.

Um método bastante utilizado nesta alternativa é a definição de zonas de proteção (ZP) ou zonas de recuo (*setbacks*). As ZP consistem em uma faixa de praia e dunas entre as construções e o mar, e servem para proteger as casas da ação direta das ondas e tempestades, proporcionando uma área disponível para a dissipação da energia das ondas.

Uma definição de ZP deve ser realizada com muita cautela, já que se a ZP não for suficiente para longo termo, construções dispostas na zona ‘apta para construção’ podem se encontrar sob risco muito antes do esperado, estando sob uma falsa sensação de segurança.

As ZP podem ser fixas ou móveis (Linham & Nicholls, 2010). As fixas proíbem um desenvolvimento a partir de uma distância fixa de uma referência na costa. As

móveis se baseiam na dinâmica e nos fenômenos naturais para determinar a zona de recuo mais apta para o local, e podem mudar conforme ocorrem mudanças na linha de costa (French, 2005 *apud* Linham & Nicholls, 2010).

A delimitação das ZP móveis geralmente é baseada nas taxas anuais de recuo para o local. Uma taxa de recuo (ou erosão) é mais precisa quanto maior for a série temporal de dados e que, estes dados sejam padronizados. Ou seja, a taxa será mais qualificada quando o monitoramento for baseado em uma mesma referência e quanto maior a longevidade deste monitoramento. Outro dado importante é a ocorrência e intensidade dos casos extremos, que também devem ser levados em consideração (Linham & Nicholls, 2010).

A definição e normatização de zonas de recuo da costa é uma atividade bastante usada no mundo todo. Vamos citar como exemplo os Estados Unidos, Turquia e Uruguai.

Já em 1979 o estado da Carolina do Norte estabeleceu normas para zonas de recuo em seu estado, de modo que todas as novas construções devem ser realizadas a partir da zona de proteção mais restritiva dentre os seguintes critérios:

- Distância igual a trinta vezes a taxa de erosão de longo termo.
- A crista das dunas “primárias” (atrás das frontais);
- A base de trás das dunas frontais
- 18m (60 pés) a partir da primeira linha de vegetação natural estável.

Para edificações maiores, o critério é mais rigoroso, sendo adotada a distância que for menor entre as seguintes opções: 60 vezes a taxa de erosão ou 30 vezes esta taxa acrescidos de 32m (105') (North Carolina, 1985 *apud* Cicin-Sain & Knetch, 1998).

Na Turquia, existe um zoneamento de todo o litoral, no qual existem duas zonas adotadas. Em uma primeira zona (zona A, Figura 12), contada a uma distância de 50m a partir da faixa de praia estável, ocorre total restrição de construções, sendo utilizada apenas para acesso de pedestres e usos recreacionais. Em uma segunda zona (zona B, Figura 12) que é estabelecida dos 50m da primeira zona até 100m a partir da mesma linha de referência, são permitidas estruturas para o uso público, como pavimentos para circulação e estruturas para turismo e recreação (Lei de costas da Turquia 1990, emenda 1992; *apud* Cicin-Sain & Knetch, 1998). Além disso, na praia e costa são proibidas a escavação ou dragagem que possam alterá-la. E estão sujeitas a licenciamento as obras

como píers, portos, pontes, faróis ou estruturas de proteção costeira, bem como outras atividades que por sua natureza não podem ser interiores, como aqüicultura e estaleiros.

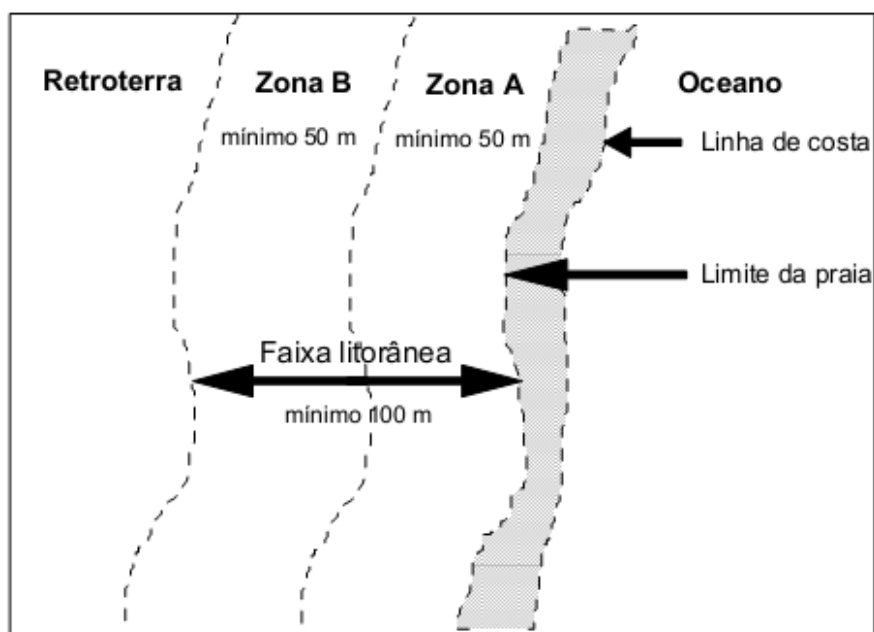


Figura 12 – Zonas de proteção estabelecidas em legislação da Turquia (Lei de Costas, 1990; 1992, *apud* Cicin-Sain & Knetch, 1998). Extraído de Muehe, 2001.

No caso do Uruguai, sua constituição estabeleceu uma faixa de defesa à beira do Oceano Atlântico, Rio da Prata, Rio Uruguai e Lagoa Mirim. Esta faixa de proteção foi estipulada em 250 metros e foi criada com o objetivo de evitar modificações prejudiciais em suas configurações e estruturas naturais. É previsto também um requerimento de autorização prévia para o Ministério competente para qualquer ação promovida dentro desta faixa de proteção que possa modificar sua configuração natural. Além disso, áreas com propriedades fiscais ou particulares e extrações de areia, seixo ou rochas só poderão ser efetuados dentro desse limite se situados a uma cota acima de 50 centímetros do nível superior da água (artigos 36, 37, 153 e 193 da Constituição Uruguaia, Lei nº15.903 de 1987 *apud* Mendonça, 2010).

No Brasil, existem alguns instrumentos legais quanto à zona costeira e a orla propriamente dita. Entretanto, nenhuma delas é exclusivamente à Zona de Proteção Costeira com caráter restritivo, como uma proibição de construções na zona delimitada como acontece em outros países.

O Código Florestal (Lei nº 4.771/65) determina que as dunas costeiras são Áreas de Preservação Permanente, que por definição desta mesma lei, são áreas “cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Nestes locais é proibida a construção e o suprimento das suas condições naturais. O caráter desta lei é de proteção das dunas, com o objetivo de mantê-las, pois por si só são áreas de proteção entre o mar (ou lagoa) e a retroterra. Como regulamentação desta lei, o Conama em sua resolução nº 303 de 2002, delimita uma área de 300 metros a partir da linha de preamar máxima. Assim percebemos que esta lei é restritiva, mas o propósito é de proteção da área de dunas e não se aplica a áreas urbanas já consolidadas ou outras áreas onde as dunas ou vegetação de restinga são ausentes.

O decreto federal nº 5.300 de 2004 estabelece um zoneamento da orla. E delimita a orla em 50m em áreas urbanizadas e 200m em áreas não urbanizadas. Para áreas em processo erosivo este decreto ressalta que poderão ser alterados estes limites desde que devidamente justificados. Esta orla se enquadra então em uma área passível de gestão, que “terá como objetivo planejar e implementar ações nas áreas que apresentem maior demanda por intervenções na zona costeira, a fim de disciplinar o uso e ocupação do território” (Artigo 24 do Decreto 5.300/04).

De acordo com o mesmo decreto supracitado, os instrumentos para gestão da orla compõe um Plano de intervenção da Orla, onde será contemplada uma Caracterização socioambiental, uma Classificação da orla e o estabelecimento de Diretrizes para intervenção. De acordo com a categoria que se enquadra a orla em questão, esta terá seu plano de intervenção com estratégias focando na Prevenção, no Controle ou na Correção dos problemas. Nos seus artigos 32 e 33 o decreto estabelece algumas normas para execução e implantação do Plano de Intervenção e também algumas restrições sujeitas a este Plano:

“Art. 32. Compete ao Poder Público Municipal elaborar e executar o Plano de Intervenção da Orla Marítima de modo participativo com o colegiado municipal, órgãos, instituições e organizações da sociedade interessados.”

“Art. 33. As obras e serviços de interesse público somente poderão ser realizados ou implantados em área da orla marítima, quando compatíveis com o ZEEC ou outros instrumentos similares de ordenamento do uso do território.”

Assim sendo, vimos que esta delimitação proposta da orla em instrumento legal de nível federal não tem caráter restritivo de ocupação. E sim, é um zoneamento do litoral cabível a restrição e planejamento a ser realizado pelo município. O problema é muitas vezes o município não possui embasamento teórico e equipe técnica apta para realizar tal zoneamento.

3.3.2.2 Retraindo as construções

A retração das casas aqui é tratada como a retração planejada, com a realocação das moradias para outro local. A opção de retrain as casas implica em reduzir o risco costeiro limitando o potencial impacto que poderia ser causado pelos eventos erosivos (Linham & Nicholls, 2010) . Em outras palavras, a retração é uma alternativa em que se realocam as casas para um local mais afastado da costa, deixando uma faixa de recuo.

A retração pode ser realizada de duas maneiras: Realocar as casas, ou seja, transportar fisicamente a construção que existia no lugar sob risco para outro local mais seguro; ou demolir a casa existente sob risco e construir uma nova casa em outro local. Nos EUA existem empresas que trabalham especificamente com retirada e transporte de casas para outros locais.

A primeira opção é passível de mais condicionantes, ou seja, existem variáveis que podem torná-la uma opção realizável ou não. Como por exemplo, a casa deve poder ser transportada sem ter a sua estrutura destruída e deve haver meios de acesso, ruas e largura compatível com a largura da casa transportada. A segunda opção é mais fácil de ser realizada e os únicos impedimentos seria não haver terrenos disponíveis para a construção da nova casa ou por motivos financeiros. Em qualquer dos dois casos, esta alternativa é mais viável quando as edificações são pequenas, de um ou dois pisos (NRC, 1990).

Retrain as edificações da orla é a alternativa mais difícil de ser adotada e também a

última a ser avaliada (USACE, 2003). Esta alternativa é geralmente aplicada em zonas pouco urbanizadas (rurais) e cuja taxa de erosão é muito alta. Ao contrário das retrações planejadas, no Brasil é mais comum que cada proprietário abandone sua casa à medida que ela fica sem condições de habitar e escolhe outro local por conta própria (Souza, *et al*, 2005).

Isto pode ser visto nos exemplos nacionais, entre os poucos está o caso da Vila do Cabeço, uma vila de pescadores na barra do Rio São Francisco, no lado sergipano. Devido às várias construções de barragens realizadas no curso do rio São Francisco, começou a faltar sedimento para manter o equilíbrio da praia na foz. A erosão passou de uma taxa de 5,8m/ano de 1955 a 1998, para 27,8m/ano a partir de 1998 até 2007. Sendo que o Farol que existe ali se encontra hoje 250 metros para dentro da água. A vila inteira foi movida continente adentro (Bandeira, *et al*, 2008).

Existem casos em que a retração é realizada no próprio terreno do proprietário à beira mar, quando estes terrenos possuem profundidade suficiente (e.g. Michigan). Mas quando há a necessidade de comprar novos terrenos e loteá-los, prover energia, água e novas infraestruturas, esta alternativa pode se tornar bastante dispendiosa. Entretanto, devem sempre ser consideradas as perdas no pagamento de impostos que os proprietários de casas na zona de risco estarão deixando de colaborar para a municipalidade, valor que também pode se tornar representativo (NRC, 1990).

Para a retração ser a ideal, deve manter uma faixa mínima de proteção entre as novas casas da orla e a praia. E esta faixa mínima de proteção corresponde à Zona de Proteção (*setback*) mencionada no tópico anterior, para que as casas que ficarem à beira-mar não fiquem expostas ao risco iminente.

Sendo assim, além do investimento para infraestruturar o novo local, existe um investimento na recuperação da orla e das dunas como faixa de proteção natural. Esta recuperação das dunas pode ser realizada com o plantio de vegetação fixadora das dunas ou com o uso de cercas que apreendem o sedimento transportado pelo vento.

3.3.2.3 Adaptando as construções e convivendo com o problema

Adaptar as construções se refere a construir casas já preparadas para suportar o problema da erosão costeira ou, onde esta alternativa é mais comumente utilizada, para

problemas de inundação costeira. Existem diversas técnicas de engenharia, para fundação de casas na beira da praia com estruturas semelhante às palafitas, ou com casas feitas com material impermeável e resistente, que suporta uma inundação em seu interior, até sistemas inovadores como casas que boiam com a subida do nível do mar (FEMA, 2011). Nos Estados Unidos existem diversos exemplos de adaptação e convivência com o problema, inclusive existem manuais de como construir sua casa em regiões costeiras como o FEMA (2011). Também existem outros exemplos de adaptação (acomodação) como a elaboração e divulgação de mapas de áreas de risco à erosão, sistemas de alerta para evacuação imediata das áreas de risco em casos de inundação e tempestades.

Acreditamos que esta alternativa está mais qualificada para áreas que ocorrem furacões, em que os estragos são enormes em um rápido período de tempo. Nestes locais o mar se eleva alguns metros causando uma inundação nas cidades costeiras. Acreditamos que esta alternativa não se aplica ao balneário do Hermenegildo, já que o problema é diferente nesta área. E também que, com os custos para adaptar as casas podem ser realizadas outras técnicas com resultados mais adequados ao local. Por estas razões esta alternativa não será assunto de pesquisa aprofundada neste trabalho.



Figura 13 - Exemplo de casa adaptada para a erosão costeira, por meio de elevação da mesma com pilares de madeira. Foto de Pedro Pereira em Aguas Dulces, Uruguai.

3.3.3 Não fazer nada

Não fazer nada (*Do Nothing*) é uma alternativa que é bastante utilizada em regiões pouco habitadas e com recursos econômicos limitados para se recorrer a uma alternativa mais cara. Em alguns casos, não fazer nada e retrair são claramente a escolha mais sensata (Komar, 1998).

Entretanto, não fazer nada também tem os seus custos, já que o problema da erosão continuará afetando o local. Um problema que ocorre é a destruição continuada das residências, ou seja, cai uma fileira de casas, e o mar segue avançando, destruindo a próxima e assim por diante, acarretando em uma enorme perda de construções e capital investido. Outro custo associado está na perda da qualidade da praia e aumento dos riscos à segurança pública, devido à praia estar sempre reduzida e com a presença de escombros na área de lazer. Tudo isto acarreta também em uma drástica redução do turismo no local, reduzindo a entrada de capital externo na economia local. Em algumas situações, os prejuízos associados à alternativa de não fazer nada podem ser maiores do que um investimento no manejo da erosão.

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 O caso do balneário do Hermenegildo

Como foi abordado anteriormente, ao se estudar o problema de erosão em um local, deve-se considerar a escala a que está se referindo. A caracterização do balneário será apresentada partindo de uma escala de longo termo até os dias atuais, começando das interferências e características naturais para no final serem apresentadas as interferências antrópicas que se tem conhecimento.

4.1.1 Contexto Físico-Natural

Geologicamente, a história evolutiva da região onde se localiza o balneário do Hermenegildo está ligada ao desenvolvimento quaternário de um amplo sistema do tipo Laguna-barreira. Villwock & Tomazelli (1995) e Tomazelli & Villwock (2000), caracterizaram a evolução das barreiras holocênicas e pleistocênicas no litoral do Rio Grande do Sul.

O embasamento cristalino na região de estudo é o Escudo Sul-riograndense. Este embasamento serve de suporte e também como fonte de sedimentos para a Bacia de Pelotas (Villwock & Tomazelli, 1995). O Escudo Sul-riograndense foi formado no período pré-cambriano entre 850 e 550 milhões de anos atrás.

Desde a separação do “supercontinente” Pangea no Mesozóico, vem sendo formado o Oceano Atlântico e a bacia sedimentar de Pelotas. A princípio, a bacia foi sendo formada a partir dos leques aluviais decorrentes do intemperismo do embasamento cristalino e, posteriormente, este sedimento foi sendo remodelado pelas subidas e descidas do nível do mar, formando as barreiras costeiras, e a plataforma continental.

Hoje a Bacia de Pelotas é um pacote sedimentar com aproximadamente 10 quilômetros de espessura e possui uma parte emersa e outra submersa. A parte emersa é a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), que compreende uma área de 33.000km², com aproximadamente 620 km de extensão e que, em alguns setores chega a mais 100 km de largura. A parte submersa é a Plataforma continental, com uma largura média de 150 km (Tomazelli & Villwock, 2000).

Os sedimentos da Bacia de Pelotas vêm sendo continuamente remodelados conforme as variações do nível do mar nos períodos de glaciação (mar baixo) e de interglaciação (mar alto). Contudo, a atual Planície Costeira manteve preservadas quatro barreiras costeiras. As barreiras costeiras do estado do Rio Grande do Sul, foram denominadas de 1 a 4, sendo a barreira 1 a mais antiga, formada há aproximadamente 400.000 anos, e a barreira 4 a mais recente e atual, formada durante o período Holoceno (últimos 18.000 anos) (Figura 14).

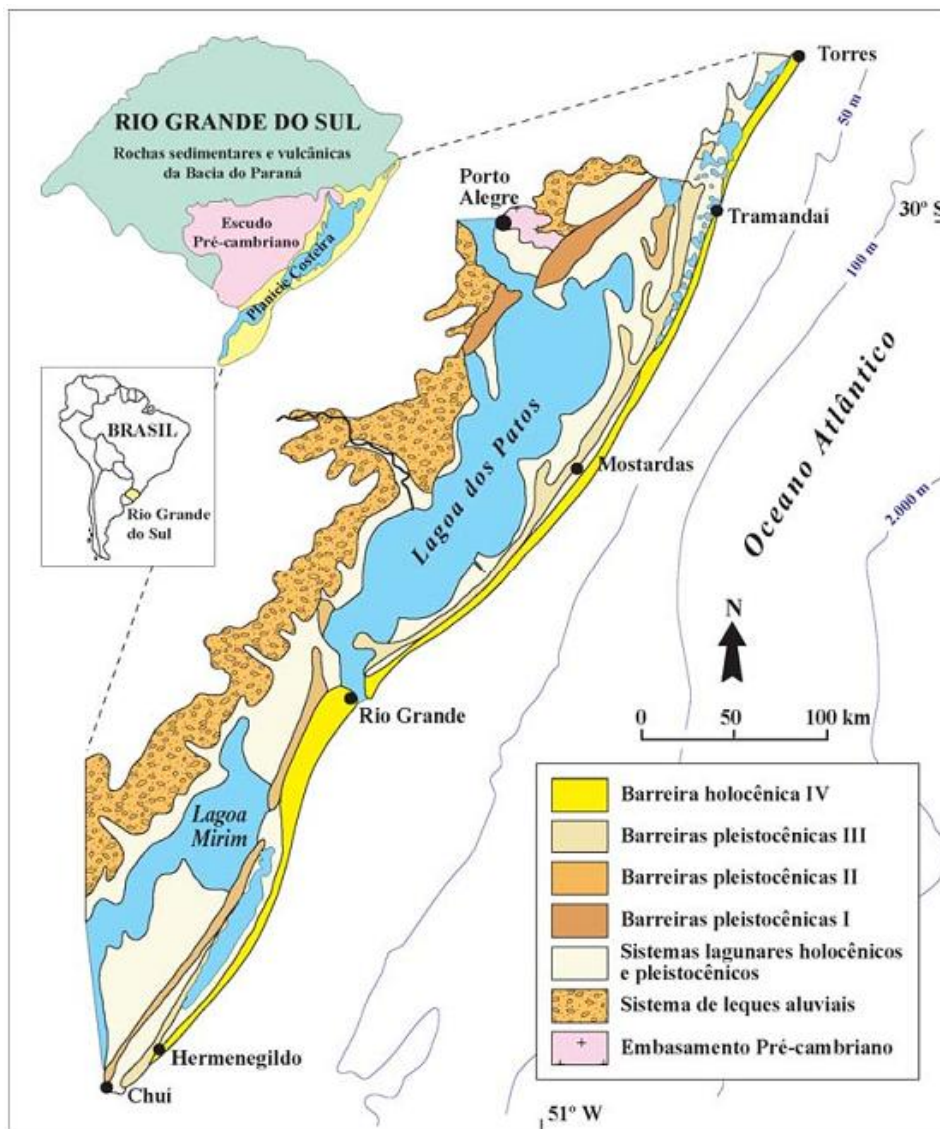


Figura 14 - Mapa geológico simplificado da planície costeira do Rio Grande do Sul, mostrando a distribuição dos principais sistemas deposicionais (extraído de Tomazelli & Villwock, 2000).

Villwock & Tomazelli (1995) correlacionaram estas barreiras com quatro picos isotópicos de oxigênio identificados por Imbrie et.al. (1984), que correspondem aos períodos de interglaciação ocorridos no Pleistoceno (I, II e III) e no Holoceno (IV) (Figura 15).

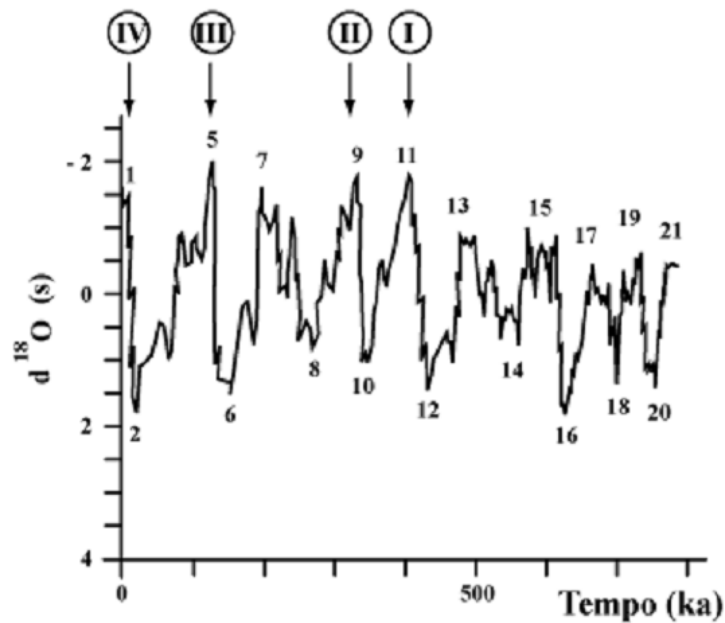


Figura 15 - Estágios isotópicos de oxigênio para os últimos 800 mil anos (segundo Imbrie et.al, 1984). Os números ímpares representam períodos interglaciais e os números pares períodos glaciais. Os números I, II, III e IV indicam as barreiras costeiras relacionadas aos picos transgressivos por Tomazzelli & Villwock (1995). Extraído de Tomazzelli & Villwock, 1995.

Dillenburg et.al. (2000) identificaram diferentes tipos de barreira atuando contemporaneamente em diferentes locais: barreiras do tipo regressiva e do tipo transgressiva (Figura 16).

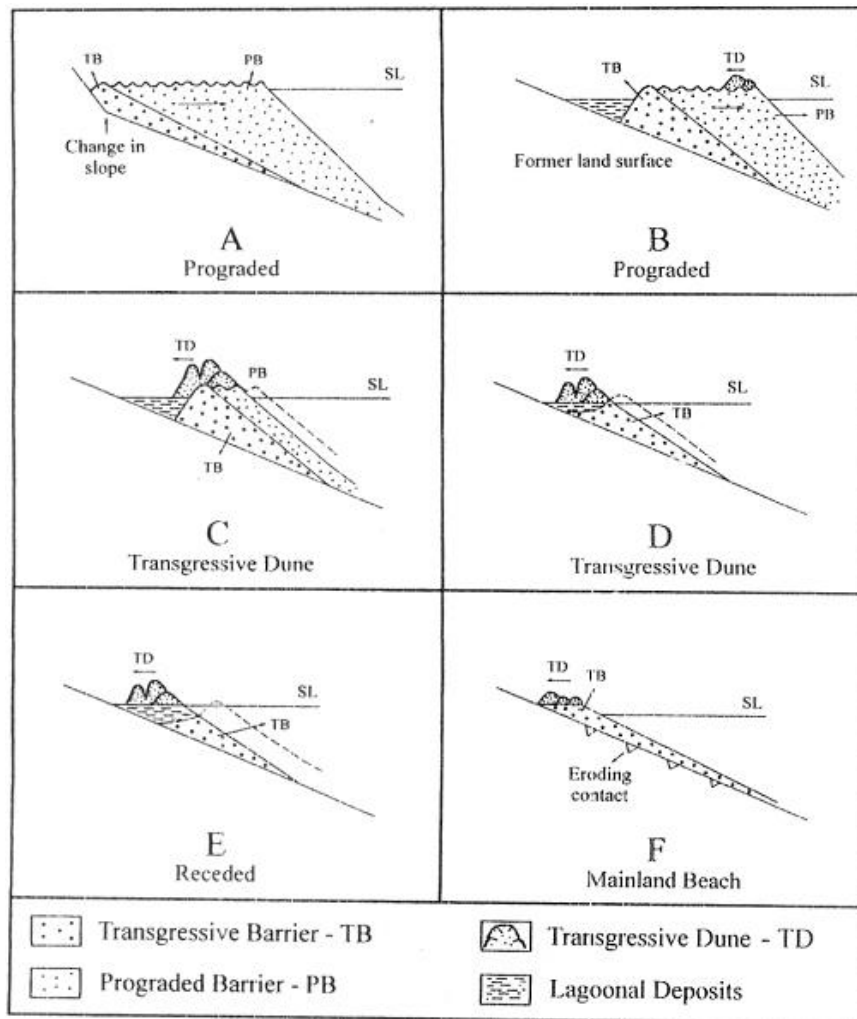


Figura 16 – Tipos de barreiras encontradas no Rio Grande do Sul: Progradantes (A e B), Dunas Transgressivas (C e D), Retrogradante com afloramento de depósitos lagunares (E) e barreiras acopladas (F). Extraído de Dillenburg et.al. (2000).

Dillenburg et.al. (2000) identificaram uma correlação entre a curvatura da barreira em planta, o tipo da barreira ali presente e a topografia da plataforma continental adjacente. As barreiras transgressivas (erosivas) foram identificadas em locais onde a curvatura em planta é convexa e a plataforma adjacente é inclinada e mais estreita. As barreiras retrogradantes (acrescivas) foram identificadas nos locais onde a forma da costa é côncava e a plataforma adjacente larga e com declividade suave (Figura 17).

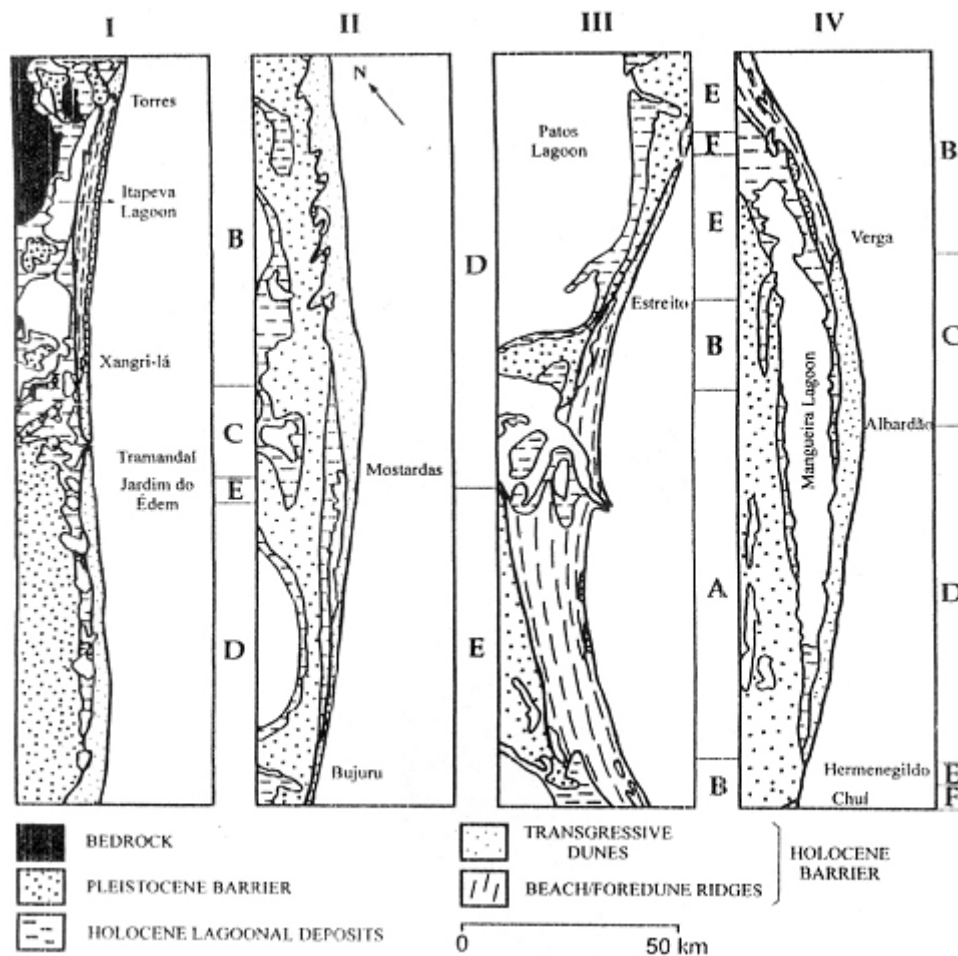


Figura 17 - Configuração da costa do Rio Grande do Sul vista em planta, existem 2 projeções costeiras e 2 concavidades. O Balneário do Hermenegildo se encontra ao sul de uma projeção costeira. As letras A a F indicam o tipo de barreira presente no local conforme as categorias apresentadas na figura anterior. Extraído de Dillenburg et.al. (2000).

Atualmente o litoral do Rio Grande do Sul não possui um aporte de sedimentos de origem continental, pois estes são trapeados pelas lagoas costeiras presentes na planície (Tomazelli et al, 1998). Sendo assim, Dillenburg et.al. (2000) relacionaram a regressão (acresção) das barreiras nas áreas côncavas do litoral como consequência da erosão (retração) de sedimentos da barreira transgressiva presente nas áreas convexas. Ou seja, o sedimento que erode ao sul das projeções costeiras se acumula nas concavidades, promovendo o acréscimo da barreira nestas áreas.

Corroborando com este argumento, Lima et.al. (2001) aplicaram o método de fluxo de energia (US Army, 1984) e estimaram o potencial da deriva litorânea na costa

do Rio Grande do Sul a partir de medições em águas profundas. Os resultados indicaram taxas mais elevadas ao sul das projeções costeiras: 2,9 milhões de m³ por ano nas proximidades do Farol da Conceição e 2,7 milhões de m³ por ano na praia do Hermenegildo. Estes setores englobam dois dos três locais no litoral do estado com erosão mais severa e evidente identificados por Tomazelli et.al. (1998): o Balneário do Hermenegildo e Farol da Conceição (o terceiro local é Jardim do Éden no litoral norte do estado).

Além disso, Lima (2008) que realizou uma análise estratigráfica na área do balneário do Hermenegildo averiguou que a linha de costa e as dunas costeiras do local estão em uma fase de transgressão há aproximadamente 6800 anos, ou seja, todo o sistema laguna-barreira (dunas, praia e lagoa mangueira) está avançando para o interior do continente neste período.

Entre os diversos fatores físicos que interferem na erosão costeira, a variação de nível do mar causada por variações da maré na costa do Rio Grande do Sul tem características específicas.

De acordo com Hertz (1977, *apud* Arejano, 1999), as marés astronômicas no litoral do Rio Grande do Sul são do tipo diurno e micromaré, com uma amplitude média de apenas 0,47 metros devido à proximidade de um ponto anfidrômico regional. A forma da linha de costa praticamente retilínea e aberta, sem reentrâncias e irregularidades também colabora para uma pequena amplitude de maré (Tomazelli & Villwock, 1992).

Dessa maneira, variações do nível de água na costa do Rio Grande do Sul são determinadas principalmente pela ação de ventos e pressão atmosférica. Quando esta variação causa uma sobre-elevação do nível do mar acima do nível da maré normal, ocorre o que vem sendo referido na literatura nacional como “maré meteorológica”, que se define basicamente como a diferença de nível entre a maré astronômica prevista e a maré observada no local (Calliari et al., 2010). Na costa sul do Rio Grande do Sul já foram observadas elevações da ordem de 1,5m acima da maré prevista (Calliari et al., 1998; Saraiva et al., 2003 *apud* Calliari et al., 2010), causando acentuada erosão costeira tanto em áreas urbanizadas como não ocupadas (Figura 18).



Figura 18 - Efeito da elevação do nível do mar por maré meteorológica no balneário do Hermenegildo. (Foto tirada em julho de 2009 por Renato Lopes).

Existem diversos fatores que contribuem para ocorrer marés meteorológicas, como o aumento da altura da arrebentação; o empilhamento de água junto à zona costeira em função do efeito do transporte de *Ekman* que age sob o efeito de ventos paralelos à costa (no caso Sudoeste) soprando fortes e sobre longas pistas oceânicas; a baixa pressão barométrica geralmente associada ao centro de baixa pressão, que aumenta o nível do oceano; dentre outros fatores adicionais, como a duração do vento, presença ou não de um ciclone associado e a velocidade do seu deslocamento, trajetória e distância da costa (Calliari, et al. 2010).

Sendo assim, em uma escala de curto termo, as principais oscilações do nível do mar que afetam a costa do estado estão relacionadas a eventos meteorológicos, sendo as marés astronômicas insignificantes na região (Tomazelli & Villwock, 1992).

Tozzi (1999) caracterizou padrões dos eventos meteorológicos e seus impactos sobre a costa do Rio Grande do Sul. Com base nas três principais trajetórias das tempestades extratropicais, este autor considerou quatro categorias de impacto de

acordo com a distribuição dos centros de baixa pressão e condições sinópticas mais representativas. Tozzi (op.cit) que analisou os impactos sobre a costa gaúcha e Parise (2007), analisando mais especificamente os impactos de tais sistemas sobre a praia do Cassino, RS, perceberam que a ciclogênese gerada ao sul da costa do Uruguai com deslocamento para leste foi a que causou maior impacto, por permanecer mais tempo próxima da costa, gerando um impacto localizado na região das praias do extremo sul do RS.

Dentre as categorias sugeridas por Tozzi (op.cit) existem ciclones extratropicais de impacto moderado, de menor frequência, gerados em Tempestades do Meio do Atlântico Sul, mas com alta elevação do nível do mar sobre a costa (“maré meteorológica”). Este autor caracteriza estas tempestades como vórtices ciclônicos que se deslocam ao longo do oceano Atlântico Sul com uma grande extensão na zona de geração. Em geral se apresentam com fortes ventos de S/SO e S/SE com marés meteorológicas acima de 1m, estas estão associadas às ondulações provenientes de S/SE com período de pico maior que 12 segundos e altura significativa da onda maior que 1,5m. O impacto destas Tempestades do Meio do Atlântico Sul distribui-se em grandes extensões de costa com taxas de retirada de sedimento das praias maiores de 20m³/m.

Barletta & Calliari (2002), analisando as frequências e intensidades das tempestades que ocorrem no litoral do Rio Grande do Sul e o seu efeito nas praias do litoral central do estado entre os anos de 1996 e 1999 perceberam que nos meses de outono ocorrem as maiores ondulações, provavelmente por iniciar o ciclo de tempestades austrais junto com as maiores elevações da maré astronômica no período de sizígia. Estes autores destacam também que no inverno se estabiliza a característica de tempestades e grandes ondulações, decaindo na primavera e se estabilizando com menores ondulações durante o verão. Os perfis mais erosivos encontrados por estes autores foram no final do inverno.

Esta variação sazonal das praias do estado pode ser percebida também na praia do Hermenegildo, que pode ser bem identificada em imagens de satélite dos meses de verão e de inverno (Figura 19).

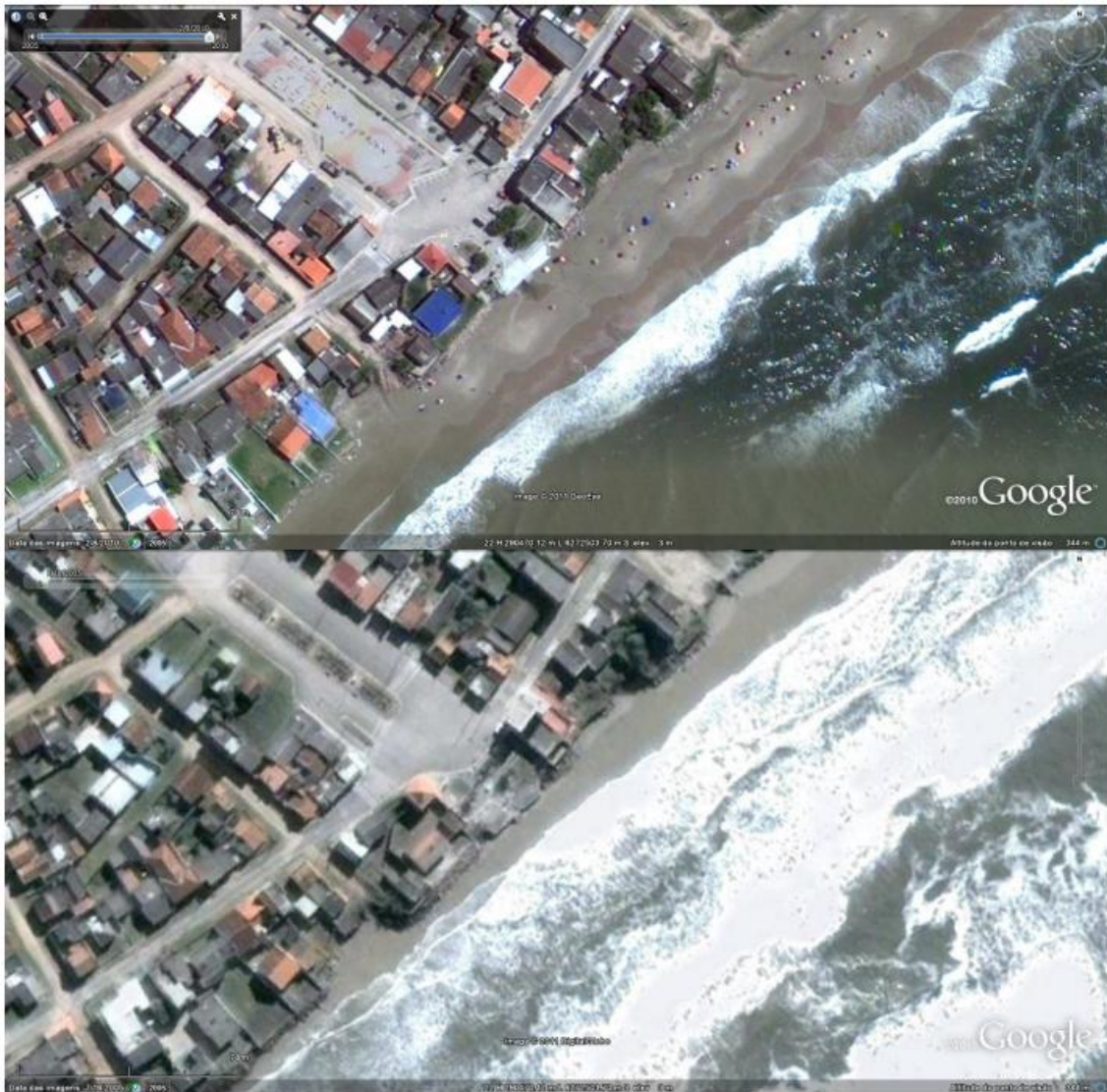


Figura 19 - Praça central do balneário do Hermenegildo em um perfil verão (08/02/2010 - imagem superior) e em um perfil de inverno (18/07/2005 - imagem inferior). Extraído de GoogleEarth®.

No estado do Rio Grande do Sul as ondulações vêm de SE e as vagas de NE. As ondas de maior altura e energia, menor esbeltez e, conseqüentemente, de maior poder de transporte litorâneo são de SE (Motta, 1969 *apud* Arejano, 1999). Como foi visto por alguns autores (Motta, 1969 *apud* Arejano, 1999; Villwock & Tomazelli, 1995; Lélis & Calliari, 2006), o principal tipo de corrente atuante na dinâmica costeira do litoral sul do Rio Grande do Sul são as correntes de deriva litorânea, sendo que esta deriva litorânea de sedimentos ocorre predominantemente de sul para norte, com um transporte secundário em direção ao sul.

Segundo Motta (1969 *apud* Figueiredo & Calliari, 1995) a altura significativa das

ondas na costa para a área de estudo é de 1,5 m com períodos de 9 segundos. Entretanto, ondas bem maiores acompanham as tempestades e, frequentemente, as alturas em águas profundas ultrapassam os 3,5 m durante os meses de inverno. Motta (1967 apud Villwock & Tomazelli, 1995) registrou que na isóbata de 20m ocorrem ondas com alturas de 4m pelo menos uma vez por ano, e alturas máximas de 7m ocorrem provavelmente em um período de 30 anos. No entanto, em estudos mais recentes analisando ventos e ciclones ocorridos em um período de 29 anos (1979 a 2008), Machado et.al. (2010) indicaram a ocorrência de 40 eventos extremos (ondas de 6m), ou seja, eventos extremos na costa do Rio Grande do Sul parecem ocorrer com muito mais frequência do que se imaginava.

Em relação às características atuais da linha de costa, Pereira (2005) fez uma compilação de dados morfodinâmicos para a costa do Rio Grande do Sul, incluindo os trabalhos mais focados no extremo sul do País, como os trabalhos realizados por Calliari & Klein (1993) e Tozzi (1999). Com um total de 7 campanhas amostrais, foi observado que a praia do Hermenegildo apresenta areias finas ($Mz = 2,5 \phi$) e alta energia de ondas ($H_b = 0,86m$). Baseado no parâmetro adimensional ômega ($\Omega = H_b/T.Ws$) a praia do Hermenegildo ($\Omega=4$) pode ser classificada como uma praia intermediária com tendência dissipativa de acordo com os parâmetros sugeridos por Short & Hesp (1982) e Wright & Short (1984). O ângulo de orientação da linha de costa em relação ao norte é de 48° , indicando que esta praia recebe, quase que frontalmente, as grandes ondulações de S-SE, as ondulações com maior nível de energia que atuam na área. A praia apresenta moderada a alta variação dos parâmetros morfométricos e baixas taxas de permeabilidade do sedimento (Pereira, op.cit.). Especificamente para a região do balneário do Hermenegildo, este autor sugere que a presença de turfas no local aumenta a impermeabilidade no subsolo praial, o que pode deixar a praia bastante umedecida, facilitando assim a retirada de sedimentos durante a ação do varrido das ondas, catalisando o processo erosivo.

Diversos trabalhos apresentaram taxas de erosão anuais para o balneário do Hermenegildo utilizando diferentes metodologias.

NEMA (2009) não calculou taxa de erosão, portanto adotou em seu Plano de diretrizes para o ordenamento territorial do balneário Hermenegildo uma taxa de 0.5m/ano segundo referências consultadas.

Tozzi (1999) analisou dados morfológicos com diferença de cinco anos (obtidos em 1991 e 1996) na praia do Hermenegildo e encontrou pequena variação na posição da linha de praia, mas significativas mudanças no volume sedimentar subaéreo da ordem de $50\text{m}^3/\text{m}$ com uma retração de 4 metros das dunas frontais, o que corresponde a uma taxa média de $0,8\text{m}/\text{ano}$ para estes perfis.

Esteves (2008) calculou uma taxa de $3,4\text{m}/\text{ano}$ para o balneário do Hermenegildo, muito mais acentuada que a taxa utilizada pelo NEMA (2009). Esta autora utilizou como base para o cálculo destas taxas seis linhas de costa mapeadas com DGPS entre 1999 e 2006.

Speranski & Calliari (2006), obtiveram uma taxa de retração costeira de $0.5\text{m}/\text{ano}$ na praia do Hermenegildo, obtida através de cinco anos de monitoramento de perfis de praia.

Toldo Jr. *et al* (2005) traçaram uma linha de água de 1999 para o litoral do Rio Grande do Sul com um GPS cinemático. Estes autores compararam as linhas coletadas em seu trabalho com a linha apresentada em cartas náuticas de 1975 e identificaram um recuo que excede 100 metros nas áreas mais críticas. Baseado neste estudo, estes autores sugeriram uma taxa de recuo de $4\text{m}/\text{ano}$. Entretanto, a metodologia utilizada neste trabalho apresenta certas restrições e pode ter sobre-estimado o valor real da erosão costeira para o litoral do estado.

Teixeira (2012) utilizando como linha de referência, a linha das escarpas de 2005, 2006, 2007, 2009, 2010 e 2011 realizou uma modelagem de taxas de erosão utilizando dois métodos, ERR e LRR, ou seja, de erosão pontual e pelo RMS (erro quadrático médio). Os resultados obtidos pela autora para toda a orla urbanizada pelo método LRR foram inconsistentes estatisticamente, obtendo uma margem de confiança de 50%. Já os cálculos realizados pelo método pontual passam uma taxa pontual de erosão, não podendo ser inferidos para toda a orla urbanizada, já que podem ocorrer diferenças pontuais de erosão e acreção. Talvez neste caso estudado por Teixeira (2012) tenha ocorrido uma falta de linhas de costa ou a escala temporal de análise ainda seja insuficiente para gerar taxas de confiança estatística.

Considerando a fronteira entre a orla urbanizada e a praia como um referencial “fixo” no decorrer das últimas quatro décadas (as casas somente caíram e não foram construídas mais casas avançando em direção ao mar) e comparando esta orla

urbanizada com as dunas adjacentes, Koerner (2009) detectou uma diferença de cerca de 50 metros entre estas duas referências. Ou seja, as dunas adjacentes retraíram cerca de 50 metros mais adentro do que a orla urbanizada. Com base neste trabalho, podemos afirmar que já foram erodidos 50 metros de 1964 até 2005 das imagens utilizadas naquele estudo. Portanto, o que não podemos afirmar é, desde quando precisamente, que as dunas adjacentes e a orla urbanizada se encontraram, já que na imagem de 1964 pudemos detectar que as casas ainda se encontravam atrás das dunas frontais.

Sendo assim, podemos calcular uma taxa de erosão histórica, para fins de comparação e com uma margem de confiança, de 50 metros de erosão em 41 anos. A taxa encontrada seria de 1.22 metros por ano. Convém lembrar que esta taxa de erosão é provavelmente subestimada já que o referencial, considerado fixo nesta análise, também retraiu e que foi considerado que as linhas de dunas e orla urbanizada se “encontraram” em 1964, fato que provavelmente aconteceu alguns anos depois.

Machado & Calliari (2011), analisando diferenças entre perfis de praia levantados em julho de 2011 e março de 1996 obtidos no mesmo ponto, encontrou uma taxa de erosão de 3,6 m/ano, com um recuo da linha de costa, ao nível do mar, de 55m, apresentando perda de volume da ordem de 130.46 m³/m de sedimentos (Figura 20).

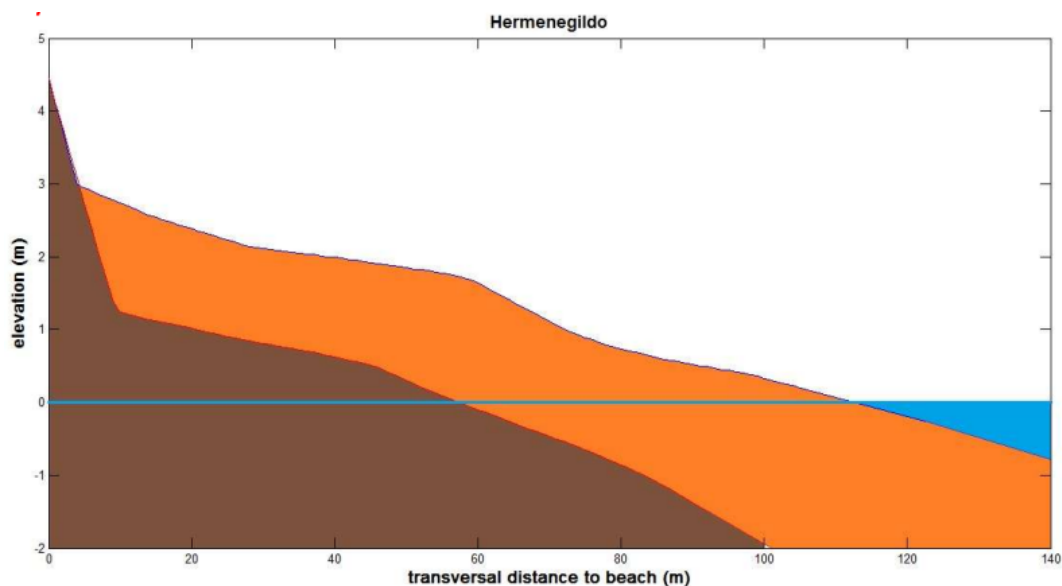


Figura 20 – Perfis de praia do Hermenegildo, de março de 1996 (linha superior) e julho de 2011 (linha inferior). Em laranja está representada a diferença entre os perfis, tendo sido calculado um déficit sedimentar de 134m³/m de praia e um recuo de 55m na linha do nível do mar, o que representa uma taxa média de 3,6m/ano de erosão. Extraído de Machado & Calliari (2011).

4.1.2 Contexto Socioeconômico

A ocupação do balneário iniciou por volta de 1890, com acampamentos temporários que passaram a ser substituídos por construções simples de madeira. O local foi estabelecido em função da existência de uma passagem logo ao sul da Lagoa Mangueira, que ligava Santa Vitória do Palmar ao Oceano Atlântico (Teixeira, 2007). A maior parte das casas foi construída próxima da linha de costa e nas zonas baixas e alagadiças a beira de um sangradouro.

Segundo o censo do IBGE de 2010, o balneário do Hermenegildo compreende um total de 2402 residências, sendo 229 delas ocupadas durante o ano. Estas casas ocupadas abrigam cerca de 530 moradores durante o inverno (IBGE, op.cit.), sendo a maioria deles, pescadores e aposentados (Esteves, 2000).

Fazendo uma análise histórica das fotos aéreas de 1947, 1964 e imagem de satélite de 2005, Koerner (2009) pôde concluir que a ocupação do balneário do Hermenegildo já se iniciou paralela à costa, mantendo esse padrão até os dias atuais (Figura 21). Analisando a linha de dunas em 1947, 1964 e 2005 e comparando com o limite das casas à beira mar do balneário nos mesmos períodos, foi percebida uma aproximação entre estas referências, ou seja, houve uma migração horizontal da linha de costa em direção ao interior continental no decorrer dos últimos 60 anos (Koerner, op.cit.).

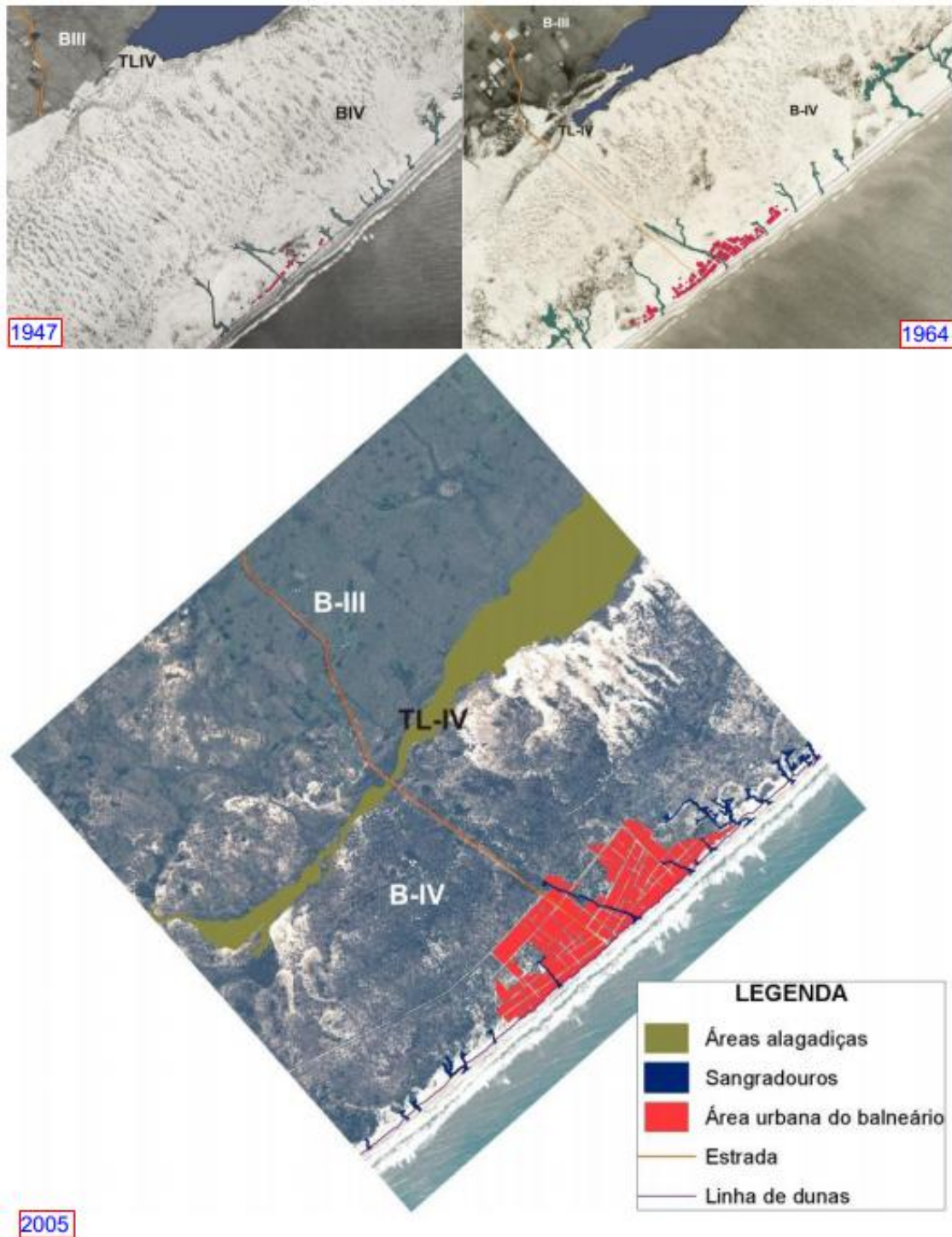


Figura 21 – Evolução da área urbana do balneário do Hermenegildo. Nestas imagens de 1947, 1964 e 2005 é possível ver sua configuração paralela à costa desde o início da ocupação. B-III, B-IV e TL-IV correspondem às Barreiras III e IV e ao Terraço Lagunar IV respectivamente. Modificado de Koerner (2009).

Uma visão histórica do balneário do Hermenegildo pode ser encontrada em Vidal (2008). Segundo conta este autor, no início, em meados da década de 40, o problema no balneário era outro: as areias dos cômodos cercavam as casas durante o ano, tendo que extraí-las todos os verões.

Com base em informações históricas de um geógrafo, historiador e antigo morador do Balneário do Hermenegildo, professor Homero Vasques Rodrigues, pode-se inferir que o processo de estruturação e proteção das casas contra o processo “natural” de erosão costeira não é atual, estando já presentes na orla do balneário desde antes da década de 1960. Segundo este professor, o processo de contenção à erosão costeira pode ser dividido em dois momentos: No primeiro momento histórico (até meados da década de 70) as casas que eram construídas próximas da linha de costa eram acrescidas de estruturas de madeira ou vegetação para conter a erosão. Mesmo assim, em maio de 1958 praticamente todas estas casas foram destruídas por um evento de tempestade de alta energia, sendo posteriormente reconstruídas mais afastadas da praia. No segundo momento (a partir da década de 70 e 80 até os dias atuais) os moradores passaram a construir enrocamentos e a fixar a linha de costa. Em meados da década de 1990 esta característica passou a predominar a orla, fruto da ação das grandes “ressacas”, que progressivamente retiraram material sedimentar da parte recreativa e mantiveram, em parte, as estruturas. De fato, em 2009, 57% das casas da orla apresentavam algum tipo de proteção (KOERNER, 2009).

Esteves *et al.*(1999b), observaram o impacto de um evento de alta energia ocorrido em 16 e 17 de abril de 1999. Havia sido feita uma caracterização antes, e uma logo após o impacto e foram contabilizadas que 20% das casas à beira-mar e 65% das estruturas de contenção haviam sido parcialmente ou totalmente destruídas neste evento. Algumas das conclusões tiradas deste trabalho foram que as obras de estrutura rígida estavam sem fundação, e quando retirada uma grande quantidade de sedimentos elas perdiam sua sustentação e colapsavam. Outra constatação importante é que a destruição das obras de contenção ocorreu sempre pelo lado sul destas contenções. E a destruição foi pior principalmente das casas sem obras de proteção que estavam situadas ao lado sul de casas protegidas.

Koerner (op.cit) realizou uma caracterização das estruturas de contenção à erosão presentes nas casas de frente para o mar, juntando com dados obtidos por Esteves *et al.*

(1999a e 1999b), Esteves & Santos (2001), Teixeira (2007), totalizando um período de 10 anos de monitoramento das estruturas de contenção e proteção. Este autor percebeu que existe uma tendência ao aumento do número de casas com estruturas de proteção e, além disso, um aumento da qualidade destas estruturas, ou seja, além de surgirem mais casas com algum tipo de proteção, esta proteção está passando de estruturas mais simples como muro de madeira ou estacas, para estruturas muito mais caras como enrocamentos e muros de concreto.

Entretanto, estas estruturas foram implementadas sem o conhecimento e suporte técnico (i.e. com um projeto de engenharia, desenho estrutural e programa de monitoramento), sendo que, geralmente, o conhecimento veio do “vizinho mais experimentado” (Esteves, et al. 2000). Ainda assim, Esteves & Santos (2001), ao monitorar as obras de proteção das casas perceberam que estas estruturas foram reconstruídas de maneira semelhante às estruturas encontradas antes da tempestade de abril de 1999. A partir de entrevistas com os moradores, foi computado um gasto aproximado de U\$ 121.500,00 para a reconstrução da orla, com aterros, muros de contenção e enrocamentos, com uma média de U\$ 2.530,00 por propriedade.

Esteves et.al.(2008), fizeram uma análise geral dos impactos econômicos causados pela erosão costeira nas casas da orla do balneário, com os resultados das entrevistas realizadas em 2001 (Esteves & Santos, 2001) e em 2005 (Teixeira, 2007) e chegaram às seguintes conclusões:

(i) o custo médio da construção de estruturas de proteção por casa está em torno de U\$ 2203,00. Multiplicando este valor (média de 10m por casa) por toda a área construída da praia (2,5km), o gasto total está em torno de U\$550.000,00 para proteger todas as casas em frente à praia.

(ii) em torno de 20% das casas em frente ao mar estão sempre à venda, e estas sofrem uma desvalorização de 50 a 80% do seu real valor, custando uma média de U\$15.350,00. Multiplicando este valor pelas 139 casas contadas em 2005, o total das casas de frente para o mar custa cerca de U\$2,13 milhões.

(iii) se for considerada uma tempestade semelhante à que ocorreu em abril de 1999, em que 20% das casas foram destruídas, e somente metade das estruturas de contenção e 10% dos muros ficaram preservados. Seria estimado um gasto aproximado de U\$560.000,00, ou seja, próximo do valor gasto com a construção de estruturas de

proteção para toda a orla urbanizada.

Esteves et.al. (2008) concluíram com estes cálculos que a proteção das casas do jeito que está sendo realizada é visivelmente inadequada. Estes autores ainda relatam que não existe uma solução para o problema de erosão no Hermenegildo sem engajar os órgãos governamentais locais, os moradores e os tomadores de decisão em um desenho e implementação de um plano de gerenciamento visando apontar os impactos da erosão de praia e reduzir a ocupação das áreas de risco em médio e longo prazo.

Por muito tempo a Prefeitura de Santa Vitória do Palmar não tomou uma iniciativa concreta sobre esta questão, já que isto é uma das principais reclamações dos moradores do local. Em 2005 a prefeitura passou por um processo do Ministério Público Federal e assinou um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) em que se comprometia com o seguinte (Teixeira, 2007):

1. Resguardar de ocupação, pelo menos, uma faixa de terreno com largura de 300 metros a contar da linha de preamar máximo, em direção ao interior do continente, à título presumidamente de marinha, preservando a faixa marítima (como definido no art. 10º parágrafo 3º da lei 7.661/65 de domínio federal à visa do disposto no art. 20, inciso IV da constituição federal e 88), bem como as dunas consideradas área de preservação permanente;

2. Não conceder autorização ou permissão para a construção na faixa referida acima, promovendo as ações judiciais cabíveis e necessárias visando à destruição e remoção de construções que venham a se instalar em referida área;

3. Elaborar previamente, um plano de uso da praia, o qual deverá ser aprovado pelo órgão ambiental competente, visando à regulação da utilização das atividades ao período de verão;

4. Apresentar um termo de referência para elaboração do plano de ordenamento territorial da costa do município;

5. Elaborar plano de ordenamento territorial da costa do município, no prazo de 18 meses, no qual serão definidos os critérios para urbanização, áreas de expansão, vias de acesso, áreas verdes, equipamentos públicos, mapeamento da região, áreas de interesse ambiental, contemplando as normas ambientais, entre elas as Resoluções CONAMA 302/2002, 303/2002 e 341/2002, contendo o plano:

- Diagnóstico ambiental da costa do município;
- Análise da regularidade dos loteamentos existentes, de acordo com as normas ambientais, urbanísticas e do plano diretor do Município de Santa Vitória do Palmar (quando instituído) e ressaltando a área prevista no item 1 e,
- Levantamento de todas as construções e ocupações irregulares na faixa de terreno com largura de 300 m a contar da linha da orla atual, em direção ao interior do continente e em áreas de proteção ambiental, identificando os proprietários e moradores.

Seguindo a sequência dos acontecimentos, em 2009 uma equipe da ONG NEMA (Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental) elaborou um Plano de Manejo de Dunas, conforme é requerido por determinação da FEPAM⁶ no estado do Rio Grande do Sul. Em anexo a este plano, foi elaborado um Plano de Diretrizes Ambientais para o Ordenamento Territorial dos Balneários do Hermenegildo e Barra do Chuí, que contempla alguns dos requisitos do Termo de Ajustamento de Conduta citado anteriormente.

Apesar deste documento ainda estar em processo de licenciamento pela FEPAM, ele vem sendo usado como referência na prefeitura municipal de SVP para o balneário do Hermenegildo (Sec. Planejamento – SVP, com. pessoal).

Em maio de 2010 uma equipe da Prefeitura Municipal de Santa Vitória do Palmar procurou o Laboratório de Oceanografia Geológica para discutir as possibilidades que existem para resolver o problema da erosão costeira no Hermenegildo. Na reunião foi avaliada a possibilidade de se fazer um workshop expositivo para a população de Santa Vitória do Palmar, para que eles tomassem conhecimento do que a universidade tem feito de estudos no balneário e o que se sabe a respeito do problema da erosão costeira no local.

Em outubro de 2011 ocorreu uma Audiência Pública com professores e estudantes da FURG que apresentaram e discutiram seus trabalhos. Para avaliar a percepção da comunidade em relação ao problema, foi realizado um questionário, cujos resultados serão apresentados conforme forem discutidas as alternativas de manejo para a erosão do balneário.

⁶ FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

4.1.3 Percepção da comunidade

Foram poucos os trabalhos encontrados que realizaram pesquisas de opinião junto à comunidade que reside ou veraneia no balneário (e.g. Esteves, et.al.2000; Esteves & Santos, 2001; Teixeira, 2007).

Esteves et.al. 2000 entrevistaram 50 proprietários de casas à beira-mar. Entre as conclusões obtidas por estes autores é que todos os proprietários percebem a erosão como um problema no balneário do Hermenegildo. 45% dos entrevistados reconhecem que a erosão acontecia há mais de 10 anos (antes de 1990) e muitos citaram processos naturais e antrópicos como fatores que contribuem à erosão de praia, sendo que a maioria mencionou mais de um fator, reconhecendo que a erosão costeira pode ser uma combinação de fatores.

Outra constatação importante é que 46% dos entrevistados tinham conhecimento do problema da erosão quando compraram ou construíram suas casas. 39% não sabiam e 15% herdaram a sua casa. 88% dos entrevistados construíram estruturas para proteger suas casas, inclusive proprietários que nunca haviam perdido terreno. Segundo estes autores, os entrevistados apresentavam ter conhecimentos básicos sobre a dinâmica da praia, mas se apresentavam relutantes em reconhecer que viver perto da água poderia não ser tão aprazível quanto gostariam (Esteves et.al. 2000).

Teixeira (2007) entrevistou 78 moradores e proprietários de casas à beira-mar do balneário do Hermenegildo (contemplando 60,93% das casas a beira mar). Os resultados de sua entrevista apresentam que a maioria dos entrevistados concordava com o pagamento de alguma taxa para algum projeto conjunto que realmente solucionasse este problema (65%). Entretanto, para a maior parte dos proprietários a opção de mudar a casa de local é descartada (75%).

Quanto às soluções para resolver o problema da erosão costeira no local, os entrevistados apresentaram as mais variadas sugestões, sendo que muitos ainda acreditam no enrocamento da orla por cada proprietário (24%) ou uma mesma proteção em toda a orla urbanizada (3%). Outras soluções sugeridas pelos entrevistados são a abertura de antigos sangradouros para repor a areia da praia (12%) ou fazer uma recuperação das dunas ou alguma maneira para reter esta areia (19%); outros ainda acreditam na construção de um molhe ou espigão (4%) para esta função. 10% dos

entrevistados não sabem o que fazer. Outros 4% sugerem recuar as casas. Um dos entrevistados também relatou que organizou uma palestra com professores da FURG que já fizeram seus trabalhos pelo Hermenegildo, entretanto, na época, nada havia sido concretizado (Teixeira, op.cit.).

4.2 Protegendo a linha de costa - Interferindo no Natural

4.2.1 Fixando a linha de costa: Muros e Revestimentos

As estruturas fixadoras da linha de costa compõem uma forma peculiar de proteção costeira. Estas estruturas evitam ainda mais erosão na linha de costa, mas não param os processos erosivos (Bijker, 1989 *apud* Pilarczyk, 1990), de modo que a praia fica protegida das ondas provenientes, mas não impede que a erosão continue nas praias adjacentes.

Dean (1986 *apud*; Pilarczyk, 1990) fez uma revisão crítica sobre os “consensos comuns” sobre os revestimentos e seus impactos nas praias adjacentes (Anexo 1).

De acordo com USACE (2003), “Kraus (1988) revisou 100 referências (estudos laboratoriais, de campo, teóricos e conceituais) e ainda fez uma atualização com mais 40 artigos (Kraus, 1996) sobre este assunto. No geral, a sua extensiva revisão bibliográfica estava de acordo com o que Dean (*op.cit.*) apontou como conhecimentos verdadeiros ou provavelmente falsos”.

De modo geral, são dois os impactos mais conhecidos e destacados na literatura: (i) o impacto causado na praia em frente à proteção da costa e, (ii) o impacto causado ao final da proteção (Figura 22 i e ii).

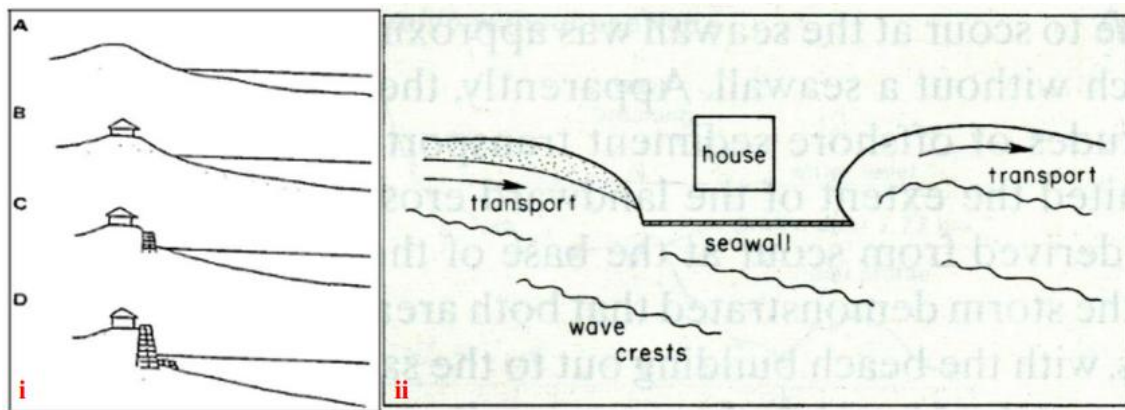


Figura 22 – Efeitos do muro de contenção em uma praia visto de perfil (i) e em planta (ii). A, B, C e D indicam as fases antes da construção do muro (A e B) e após a construção do muro (C e D) quando a praia começa a desaparecer e “submergir”. Na vista em planta é indicada a acresção que ocorre no início e a erosão que ocorre ao final da estrutura de proteção, no exemplo a corrente longitudinal dominante é da esquerda para a direita. Modificado de Sobral (1998); Komar (1998).

Os proprietários de casas da orla do balneário do Hermenegildo vêm utilizando este tipo de estrutura desde a década de 1970 até os dias de hoje. No início eram estruturas simples e de madeira, e conforme se via a necessidade de proteger a casa foram sendo colocados grandes blocos de rochas associados ou não a muros de madeira ou concreto. Em 2009 57% de todas as casas da orla apresentavam algum tipo de proteção (Koerner & Oliveira, 2010a).

Estas estruturas foram colocadas individualmente, como resposta imediata à necessidade de proteger os patrimônios em risco, a sua colocação foi realizada sem um conhecimento técnico do assunto e foram baseadas no “vizinho mais experimentado” (Esteves *et al* 2000). Em outras palavras, os revestimentos colocados não incluíram uma proteção contra a erosão da sua base, camada filtrante ou com uma altura significativa para evitar o colapso devido a uma retirada do sedimento por trás desta. Colocados assim, a tendência das rochas é de se colapsarem e se soterrarem na face da praia e de fato isto aconteceu com algumas casas da orla cujos proprietários tiveram que comprar novos carregamentos de rocha ou cavar a praia para recuperá-las, realizando a sua manutenção (Figura 23).

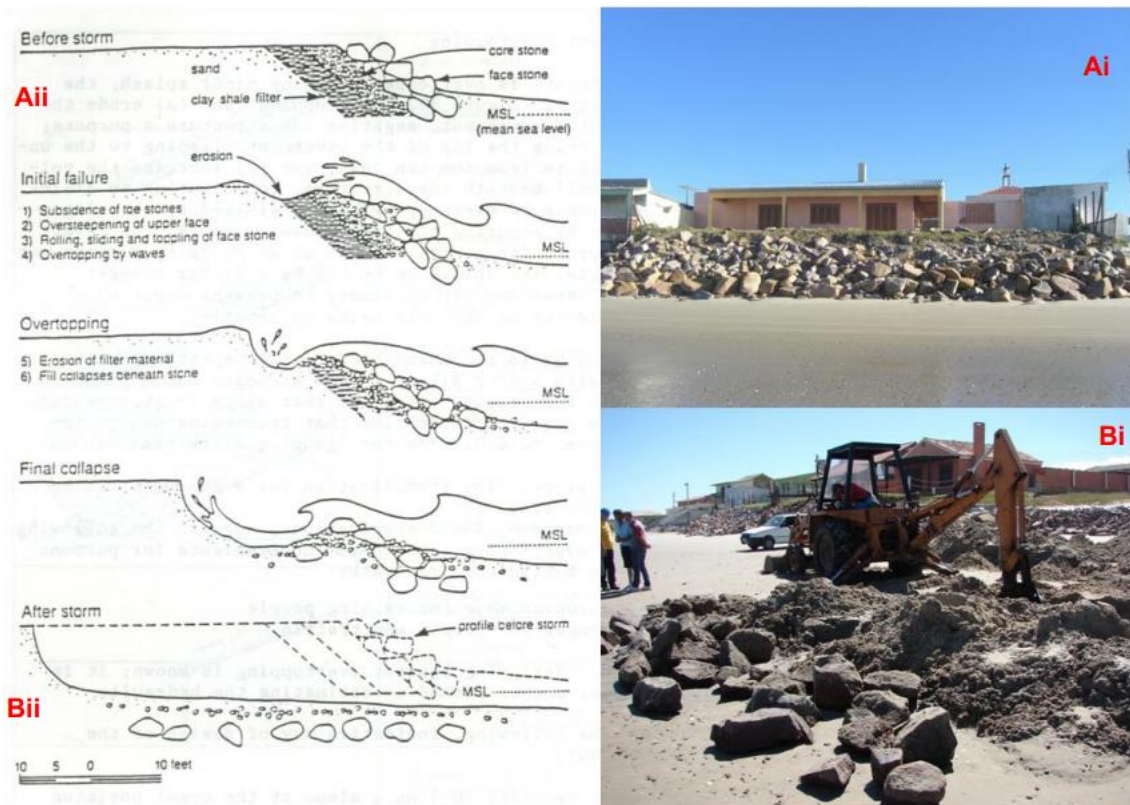


Figura 23 - Conseqüências de um enrocamento realizado sem proteção da sua base. Em (Ai) vemos um exemplo de um enrocamento realizado no balneário do Hermenegildo. Em (Bi) um proprietário está retirando rochas que foram soterradas anos antes a cerca de 10 metros a frente de sua atual propriedade. A esquerda um quadro ilustrativo do que acontece quando a onda se sobressai à altura do enrocamento (*overtopping*). Aii e Bii ilustram o enrocamento antes, e depois da tempestade respectivamente. Fontes: Foto A (do autor), foto B (Pedro Veras Guimarães), ilustração retirada de Pilarckzik (1990).

Além disso, o modo individual como são feitas as estruturas de contenção acaba por deixar uma orla recortada, com partes bem estruturadas e outras com estruturas mais fracas ou mesmo sem estrutura alguma, deixando “espaços vazios”. Por efeito local de refração das ondas em eventos de maré meteorológica, as casas sem proteção ao lado de casas protegidas acabam por ficarem mais expostas do que se estivessem sozinhas. Esteves et.al. (2000) observaram que as casas desprotegidas localizadas ao lado sul de casas com proteção sofreram perdas severas na tempestade de abril de 1999.

Apesar das estruturas terem sido colocadas sem um conhecimento técnico e um projeto adequado, Koerner & Oliveira (2010b) identificou que, na medida do possível,

estas estruturas vêm fixando a linha de costa e contendo a sua erosão. Este autor detectou que a zona central do balneário está avançada sobre o pós-praia em uma faixa de aproximadamente 50 metros em relação às dunas frontais adjacentes (Figura 24).



Figura 24 – Área aproximada de contenção da orla do balneário do Hermenegildo comparado à base das dunas frontais adjacentes (provável limite superior natural da praia, linha laranja). Nos círculos azuis é possível perceber como os sangradouros tendem a acompanhar a evolução natural da praia. Extraído de Koerner (2009).

Além disso, este autor identificou uma inflexão da linha de água em frente à porção central (a mais estruturada) do balneário e também uma diferença nos perfis realizados na zona protegida e na zona de dunas adjacentes (Figura 24). Isto pode indicar que já está havendo uma retirada de sedimentos da face da praia em frente à orla urbanizada, estando de acordo com as consequências dos revestimentos na orla apresentadas por Dean (1986, Anexo 1).

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. Em 2007, Teixeira (2007) destacou a margem de proteção estabelecida pelas dunas no extremo norte da orla do balneário e que nenhuma das casas daquele local havia sofrido danos com o processo de erosão (Figura 25A e B). Em dezembro de 2011 este mesmo local havia sido erodido (Figura 25C). 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”.



Figura 25 – Erosão das dunas costeiras no extremo norte da orla urbanizada do balneário do Hermenegildo, provavelmente por efeito do enrocamento da orla urbanizada ao sul. Figuras A, B e

C apresentam a faixa de dunas costeiras em frente às casas localizadas ao norte do balneário, em planta (A) e de visada (B e C). As setas indicam as casas utilizadas como referência. Modificado de Teixeira (2007, Fig. A). Figuras B e C mosaico realizado pelo autor com fotos de Ulisses Rocha de Oliveira.

Em relação aos custos da implementação, podemos utilizar como indicador o cálculo realizado por Teixeira (2007). Esta autora utilizou como base de cálculo o custo dos materiais utilizados para construir o muro de uma casa e também o enrocamento de outra, calculou um gasto da ordem de R\$ 2.300.000,00 na época para fazer um muro para toda a orla urbanizada, com 6 metros de fundação, e 3,6 metros de altura. Para o enrocamento de toda a orla, foi calculado um gasto de R\$ 2.000.000,00, sem incluir altura. Estes cálculos não consideraram os gastos com a mão de obra, o projeto e a manutenção. Além desses motivos, este cálculo deve ser subestimado também porque o muro e o enrocamento utilizados como referência não foram realizados com os conhecimentos técnicos de engenharia e resistência dos materiais necessários, de modo que o muro de proteção e os revestimentos ideais devem ser muito mais dispendiosos do que os já implementados no balneário.

De acordo com NRC (1990) os muros e revestimentos são alternativas relativamente caras. Linham & Nicholls (2010) ressaltam que uma das barreiras para a implementação de um bom e eficiente muro de proteção é o seu custo elevado, sendo que o principal fator que agrega no custo dos muros é a altura do projeto. Estes autores ainda destacam que esta alternativa é frequentemente inviável em países em desenvolvimento, devido ao alto custo para a coleta de dados ambientais de longo termo e de alta qualidade (e.g. tamanho de ondas e eventos extremos); adicionalmente, o projeto do muro deve ser altamente robusto, requerendo um desenho elaborado, altas quantidades de matéria-prima e métodos de construção potencialmente complicados. Ainda assim, em alguns casos pode haver a necessidade de se reforçar com enrocamento na base para a proteção do muro.

Caso essa alternativa seja utilizada na solução do problema, algumas considerações devem ser levadas em conta:

Quadro 1 – Considerações quanto à utilização de estruturas fixadoras da linha de costa (Muros e Revestimentos).

-
- I. 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.*
- II. Recomenda-se que o muro e os revestimentos sejam construídos o mais afastado da linha da água quanto possível. Esta recomendação se baseia no fato de que, ao deixar uma área de praia entre a estruturação da linha de costa e a água, esta vai ser mais fácil de ser recuperada após os eventos erosivos. A base do muro será preservada por mais tempo, de modo que aumentará a eficiência da proteção durante as tempestades, minimiza impactos adversos e evita gastos excessivos com a manutenção do projeto (EPA, 2005).*
- III. O principal fator que agrega no custo do projeto é a altura da estrutura de proteção. Uma empresa de engenharia com atuação na área pode calcular a altura necessária no projeto e o quanto este valor pode ser reduzido. Uma das vantagens do muro de proteção é a possibilidade de aumentar o muro conforme aumenta o nível do mar. Dessa forma, é importante se realizar um projeto viabilizando o seu desenvolvimento conforme a necessidade.*
- IV. Ainda que os muros e revestimentos possam ser construídos com materiais mais baratos como sacos com areia e tecidos geotêxteis, e com a mão de obra local, a eficiência destas estruturas de proteção é discutível, de modo que a manutenção deverá ser realizada constantemente (USACE, 2004). Recomenda-se no mínimo um projeto elaborado com conhecimentos técnicos e precisos.*
-

A grande vantagem dos muros de proteção, é que eles oferecem um alto grau de proteção da costa contra erosão e inundação. Um projeto bem elaborado e que siga uma manutenção apropriada pode, além de fixar a linha de costa, assegurar que mais erosão deixe de ocorrer no local (Linhm & Nicholls, 2010). Outras vantagens dos muros e revestimentos é que, se realizada uma manutenção adequada, eles podem durar muito

tempo, como o muro de proteção construído em 1903 em Galveston, Texas – EUA, que continua a oferecer proteção costeira até hoje (Dean & Dalrymple, 2002 *apud* Linham & Nicholls, 2010).

Embora haja vantagens de se utilizar muros de proteção, mais de uma referência ressalva a recomendação de que muros devem ser construídos somente quando a linha de costa é área de importantes construções e infraestrutura que **não podem** ser realocadas (NRC, 1990; EPA, 2005; Linham & Nicholls, 2010). Embora esse não seja o caso do balneário do Hermenegildo, a importância das construções é um assunto relativo e diz respeito não só ao valor venal das mesmas, mas ao valor ligado a outras questões que não podem ser monetariamente calculadas (valor histórico, cultural, etc.).

4.2.2 Estabilizando a linha de costa: Espigões, Quebra-mares e Recifes artificiais

Para implementar este tipo de estrutura na praia como ferramenta para o manejo da erosão costeira é necessário o conhecimento detalhado em dois tipos principais de dados:

- i. Existe um suprimento de sedimento para o local? Quanto sedimento?
- ii. Como se comportam as correntes de transporte de sedimento no local? O transporte litorâneo ou transversal que predomina? E qual a direção predominante?

Para o balneário do Hermenegildo não foram encontrados estudos na literatura sobre o suprimento de sedimento para o local, mas foram encontrados estudos sobre o transporte de sedimentos na praia. Já estudos sobre as correntes costeiras foram encontrados, sendo mais conhecidas as correntes litorâneas do que as transversais.

Lima *et al* (2001) estimaram a capacidade de transporte das praias do Rio Grande do Sul a partir de dados de ondas. O cálculo foi realizado utilizando o Método do Fluxo de Energia proposto pela US Army Corps of Engineers (1984). As maiores taxas de transporte encontradas foram nas proximidades da praia do Hermenegildo, com -2,7

milhões de m³/ano e entre a praia do Cassino e Solidão com uma média de -2,6 milhões de m³/ano. Estas áreas de maior transporte compreendem aproximadamente 60% de todo o litoral, enquanto o valor médio para os outros locais está em -1,1 milhões m³/ano. Estas áreas coincidem com as maiores taxas de erosão observadas por Toldo *et al* (1999) no litoral do estado.

Todavia, em uma publicação mais recente, estes próprios autores (Almeida et al, 2006) ressaltam que é deficiente a quantidade de dados sobre valores de deriva litorânea, sendo assim, o coeficiente de calibração (que varia para cada localidade estudada) adotado por estes autores foi o proposto no manual.

Apesar da existência destes estudos, ainda fica a dúvida sobre quanto sedimento *chega* à praia do Hermenegildo. Como este estudo foi realizado somente no estado do Rio Grande do Sul, e o balneário do Hermenegildo se encontra a apenas 12 km da fronteira com o Uruguai, não se sabe quanto sedimento é transportado no país vizinho para suprir o balneário. Portanto, acredita-se que esta quantidade deve ser pequena, visto que o litoral uruguaio é bastante recortado, de modo que os promontórios devem funcionar como retensores de sedimentos.

Dentro do que foi apresentado, pode-se inferir que a taxa de entrada de sedimento ao balneário por ano, é menor do que a taxa calculada por Lima *et al* (2001) já que o balneário se encontra em um estado erosivo, ou seja, um estado em que entra menos sedimento do que sai do sistema.

Quanto ao sentido do transporte litorâneo no estado do Rio Grande do Sul, este já foi identificado por Motta (1969 *apud* Arejano, 1999), que afirma que o transporte ocorre nos dois sentidos SO-NE e NE-SO, sendo o transporte líquido para NE. Apesar da predominância dos ventos no estado serem de NE, as ondulações de maior energia e eficiência no transporte provêm do quadrante sul.

Lélis & Calliari (2006) mediram a alteração da linha de costa das praias adjacentes aos molhes existentes no estado do Rio Grande do Sul, a saber, os molhes da barra da Laguna dos Patos, da Laguna de Tramandaí e o Rio Mampituba. Confirmando a observação de Motta (*op.cit*) estes autores encontraram uma acresção da praia ao sul dos molhes da Laguna dos Patos e do Rio Mampituba. Entretanto, para os molhes da

Laguna de Tramandaí foi encontrada erosão dos dois lados, diferente do que se esperava. Estes autores acreditam que estas praias (de Tramandaí ao Sul e Imbé ao Norte) possuem características particulares, e a intensa urbanização pode ter influenciado na erosão de suas dunas frontais.

Lélis & Calliari (op.cit) encontraram uma rápida taxa de acreção de 4.10 metros/ano na praia do Cassino entre os anos de 1947 até 1975, seguida de uma taxa reduzida de acreção de 1975 até 2000, correspondendo a 1.46 metros/ano. Para o lado norte, eles evidenciam a existência de uma corrente de deriva secundária proveniente do Norte, pois a taxa de erosão desta praia não foi igualmente alta como a de acreção ao sul, sendo esta taxa de -1.44m/ano de 1975 até 2000. A praia do Cassino sentiu influências da acreção após a construção dos molhes até 10 quilômetros da base destes (Calliari & Fachin, 1993 *apud* Lélis & Calliari, 2006).

É importante ressaltar que, apesar desta informação auxiliar e formar uma ideia de como a praia do Hermenegildo se comportaria caso fosse construído um espigão, esta informação não pode ser extrapolada para o balneário sem um estudo local, por três fatores principais:

- i. A orientação de costa destas praias é diferente; a praia do Cassino se encontra em uma retração da costa, uma região naturalmente acresciva, enquanto o Hermenegildo está ao sul de uma projeção costeira em um estado de transgressão (Dillenburg, *et al*, 2000);
- ii. A praia do Cassino está suscetível a uma deposição de sedimentos provenientes da Laguna dos Patos, com depósitos principalmente de lamas (Calliari & Fachin, 1993) o que, além de incrementar na taxa de acreção da praia também auxilia na dissipação da energia de ondas na zona de arrebentação (Pereira, 2010), tornando a praia com perfil acrescivo em situações de calmaria.
- iii. A praia do Hermenegildo possui uma configuração topográfica na antepraia que funciona como lentes batimétricas, o que produz, por refração das ondas, um foco estável dos raios e energia de ondas em frente ao balneário (Speranski & Calliari, 2006).

Além destes fatores, não se sabe ao certo quanto é, de fato, a contribuição de sedimentos e a quantidade destes que entra e sai de cada sistema praial. Também não se sabe como ocorrem as correntes transversais na praia. O que se sabe é que o balneário possui também um perfil cíclico, mas carecemos de saber quanto deste sedimento é novo no sistema e quanto permanece na antepraia e retorna para a berma sazonalmente.

Tendo um conhecimento avançado sobre estes dados no Hermenegildo pode-se então definir se a alternativa de estabilizar a costa é uma opção viável ou não para o balneário, já que de nada adianta implementar uma alternativa com esta abordagem sem a existência de um suprimento sedimentar para o local. A regra geral para a escolha do método é que se a remoção por deriva litorânea é mais importante do que a transversal, o uso do espigão é mais indicado. Se, ao contrário, a corrente transversal predomina, os quebra-mares e recifes artificiais parecem mais apropriados (Pilarczyk, 1990).

Ao se colocar um espigão em uma praia de mar aberto, espera-se que o seu lado à barlamar (o lado sul neste caso) vai crescer, devido ao barramento do sedimento proveniente do transporte litorâneo, e, como consequência, o lado à sotamar do espigão será erodido.

Baseado na revisão bibliográfica e no estudo do caso do Hermenegildo, listamos algumas considerações quanto ao uso do espigão no balneário:

Quadro 2 – Considerações quanto à utilização de estruturas estabilizadoras da linha de costa, com ênfase nos espigões.

I. Mais pesquisas devem ser realizadas, principalmente no intuito de mapear as correntes de deriva litorânea na praia, correntes transversais à costa, e quantificar o transporte de sedimento que é efetivado;

II. Existe, atualmente, um convênio do governo brasileiro com a Universidade de Cantábria na Espanha⁷, que desenvolveu um modelo (SMC⁸) para quantificar e

⁷Convênio Brasil – Espanha:

http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Agenda/PlanoDiretor/Maio2011_Resumo_Projeto_Cooperacao_SMC-Brasil.pdf

⁸ SMC: Sistema de Modelado Costero (<http://www.smc.unican.es/es/>).

modelar o represamento de sedimento e suas consequências no sistema praial. A FURG é uma das universidades conveniadas, podem-se elaborar projetos utilizando este modelo com o intuito de incrementar o conhecimento de base no balneário;

III. É necessário avançar nos estudos deste gênero, aplicando modelos de hidrodinâmica e fluxo de sedimentos sobre espigões de vários tamanhos e formas, a fim de analisar qual seria o ideal para represar o sedimento sem interferir em todo o sistema praial, de modo que minimize a erosão das praias mais ao norte.

IV. Ao se construir um espigão no balneário, aconselha-se que este seja colocado o mais ao norte possível, de modo que nenhuma das casas fique na área de “efeito colateral” do espigão, sob risco de sofrer uma erosão ainda pior do que a que já está presente.

V. Se somente um espigão terminal não for o suficiente, devem ser contemplados estudos de caráter técnico e de engenharia para auxiliar na escolha dos melhores métodos para esta alternativa.

VI. O balneário do Hermenegildo tem a vantagem de estar localizado no extremo Sul do Rio Grande do Sul, distante cerca de 220 km do balneário mais próximo ao Norte, o balneário Cassino.

De qualquer maneira, se for utilizada esta alternativa para o balneário do Hermenegildo, devem ser realizados estudos técnicos detalhados, e um planejamento territorial eficiente, de modo que seja proibida a construção de casas na orla litorânea ao Norte do balneário. Uma sugestão é a criação de uma Unidade de Conservação Municipal no local, em concordância com a Unidade de Conservação do Albardão⁹, caso esta venha a ser implementada.

⁹ “A DIREP está trabalhando em uma proposta de criação de Unidade de Conservação nesta região. Esta proposta tem recebido várias manifestações de apoio e moções de organizações não-governamentais, solicitando ao Ministério do Meio Ambiente, medidas urgentes para o ordenamento da pesca de emalhe nesse local, para proteger o pequeno cetáceo mais ameaçado de extinção do Brasil, a Toninha (Pontoporia

Outras estruturas estabilizadoras da linha de costa são os quebra-mares e os recifes artificiais. A função destas estruturas é mimetizar a natureza, e formar um promontório artificial ou uma saliência causada por uma ilha ou barreira de recifes.

Tais estruturas reduzem a energia de ondas tal como ocorre quando a praia se encontra em um perfil acrescivo (Pilarczyk, 1990). A fim de exemplo, se o quebra-mar reduzir em 70% a altura das ondas que incidem sobre ele, será reduzida em 49% a capacidade de transporte de sedimento (USACE, 2004). Soma-se a esta redução da altura das ondas à sua retaguarda, a refração das ondas resultantes na sua zona de sombra. Como consequência, o sedimento será transportado a esta área, formando uma saliência ou um tómbolo (Pilarczyk, op.cit.).

A distância da costa, o comprimento da estrutura, a porosidade e o espaçamento entre elas (se mais de uma estrutura é construída) são os fatores que vão determinar se o resultado do quebra-mar vai ser um tómbolo ou uma saliência (USACE, 2004; 2003).

De acordo com USACE (2003), a saliência é preferível ao tómbolo, pelo fato de que permite o transporte longitudinal e a manutenção de sedimento no sistema. Quando o quebra-mar forma um tómbolo, este funciona como um grande espigão, com a diferença de que a erosão à sotamar da corrente de deriva não vai ocorrer como acontece com o espigão. Uma vez que este tipo de estrutura é implementado quando a corrente transversal é dominante.

As desvantagens do quebra-mar são os seus custos mais elevados do que as estruturas junto à costa, pois estes são implementados afastados da costa em locais com maior profundidade (NRC,1990).

Os quebra-mares submersos ou recifes artificiais são alternativas de menor custo, pois não são expostos à superfície e envolvem menos recursos materiais para a sua implementação. Em alguns locais como na Itália, como alternativas de menor custo, são utilizados barcaças ou navios afundados que funcionam como recifes submersos (NRC, op.cit.).

blainvillei)” (ICMBio, 2010). Extraído de <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-plano-de-acao/pantoninha.pdf>.

Também podem ser utilizados quebra-mares flutuantes, de blocos de concreto ociosos ou mesmo pneus. Entretanto, este tipo de estrutura é mais eficiente em costas abrigadas, e não é este o caso da praia estudada neste trabalho (USACE, 2004).

Outro exemplo de um método que vem sendo testado recentemente em poucas praias no mundo é o “recife artificial multipropósitos”. Este método nasceu na Austrália e, além de seu objetivo de dissipar a energia das ondas para engordar a praia, também possui os objetivos de criar ondas perfeitas para a prática de surf, e ainda criar um ambiente (substrato) com diversidade ecológica, viabilizando a prática de mergulho em dias de calmaria (ASR lmtd¹⁰; Carmo et.al., 2010). Estes autores ressaltam que estes objetivos aumentam o potencial turístico do local, fazendo às vezes, com que pague a própria obra.

Entretanto, segundo Simioni & Esteves (2010), não existem estudos que confirmem a eficácia destes recifes. Existem somente seis recifes deste tipo implementados no mundo e não foram reavaliados os sucessos destas obras, inclusive econômicos. Ainda conforme estes autores, quanto à melhora para a prática de surf, estes recifes não obtiveram o sucesso esperado. Ou seja, por ser uma abordagem recente para lidar com os problemas de erosão, ainda necessitam ser realizados mais estudos quanto ao sucesso da implementação dos recifes artificiais multipropósitos para se concretizar os objetivos a que se propõe.

No Hermenegildo não se tem conhecimento preciso das correntes de deriva litorânea e transportes de sedimentos que ocorrem no local, e quanto menos a influência de cada uma das componentes do transporte: transversal e longitudinal. O que se sabe é que o transporte longitudinal resultante é considerável, e que a energia das ondas que atuam na praia em eventos de tempestade é bastante alta.

Com estas informações podemos entender que um espigão poderia funcionar adequadamente para o local, já que trapearia sedimentos que são transportados longitudinalmente. Entretanto, não sabemos qual poderia ser o efeito de uma tempestade extrema com maré meteorológica alta sobre o local. Um efeito desastroso seria a

¹⁰ ASR limited: <http://www.asrltd.com/expertise/multi-purpose-reefs.php>

elevação do nível do mar causada pela maré meteorológica erodir a praia estabilizada até então. Um espigão mal projetado pode gerar correntes de retorno ao longo de sua extensão retirando o sedimento acumulado para fora do sistema praial.

Devido a alta energia das ondas que atuam no local, devem ser calculados com prudência a resistência dos materiais possíveis para serem usados como quebra-mares ou recifes, como blocos de concreto ou tubos geotêxteis. Entretanto, é possível afirmar que estruturas pouco resistentes como quebra-mares feitos de pneus ou madeira não são recomendados.

4.2.3 Recuperando a praia: engordamento e recuperação de dunas

O engordamento (ou engorda) de praia é uma transposição de sedimento proveniente de outro lugar para a praia de destino. O principal objetivo desta disposição de sedimento e aumento da faixa praial é de criar uma zona de proteção natural da costa; um segundo objetivo, agregado a este, é de se criar uma zona de recreação e lazer. Também existem casos em que foram feitos engordamento em praias que não estão em erosão com o objetivo de criar ou aumentar a área de recreação.

A praia e as dunas naturalmente servem como uma faixa de proteção entre as estruturas da orla e a água e ondas. Sendo os candidatos à criação de projetos de proteção costeira, os locais com pouca ou nenhuma praia (USACE, 2003), a lógica por trás do engordamento é tornar esta praia estreita, erosiva e reflexiva em uma praia larga e dissipativa, a qual aumenta a atenuação da energia das ondas que chegam a ela (French, 2001 *apud* Linham & Nicholls, 2010).

Assim sendo, quando nos referimos ao engordamento de praia, existe a visível necessidade de responder a uma pergunta básica: “Existe sedimento disponível para exploração nas proximidades da praia onde se quer realizar o manejo?”.

Além de haver a disponibilidade de sedimento para a engorda de praia, este sedimento deve atender a critérios técnicos específicos para este fim. O principal deles é que o sedimento importado deve ser de granulometria igual ou mais grosseira do que o

sedimento nativo. No tópico 4.6 apresentamos uma análise da disponibilidade de sedimentos realizada no presente estudo, na qual averiguamos a ocorrência de sedimentos na região que atendem aos critérios para o engordamento.

Feita a análise, entra em questão o transporte do sedimento para o local de destino. A maneira mais comum para transportar sedimentos para a praia é por meio hidráulico, principalmente para operações de larga escala. Dean (2002, *apud* Nordstrom, 2010) estima que 95% dos volumes de areia utilizados em projetos de engordamento são oriundos de dragagem, visto que grandes quantidades de areia adequada são frequentemente encontradas a uma distância de 1 a 20km da costa. Entretanto, em operações de menor escala também podem ser empregados caminhões (Muñoz-Perez *et al*, 2001 *apud* Nordstrom, 2010) para o transporte de areia proveniente de áreas de escavação.

Para fins de cálculo e apresentação da dimensão do projeto de engordamento com base na exploração de areia continental, vamos considerar, hipoteticamente, uma necessidade de 500.000 m³ de areia. Esta quantia seria suficiente para abranger toda a orla urbanizada do balneário realizando, por exemplo, um engordamento inicial com 3km de comprimento, por 50m de largura de praia e 3,3m de altura. É importante ressaltar que a praia resultante não teria esta dimensão, pois esta será remodelada e os sedimentos redistribuídos pela ação das ondas.

Considerando caminhões com uma autonomia 5 km/l de combustível a um custo de R\$2,00 o litro do combustível, calculamos um custo de R\$ 0,40/km percorrido. Considerando que os caminhões possuam uma capacidade de carga de 10m³, seriam necessárias 50.000 viagens de ida mais 50.000 de volta com o veículo para suprir a demanda de 500.000m³ de sedimento para a praia. Calculamos então um custo total de R\$ 40.000,00 para um quilômetro de distância entre o balneário e a fonte. Este valor corresponde somente ao combustível gasto com o transporte de sedimento originário de uma área a 1 km de distância do balneário.

No custo de um projeto de exploração de jazidas continentais devem ser consideradas ainda: o valor da “hora-homem” de todos os trabalhadores envolvidos, o estrago e a posterior manutenção das estradas por onde passarão os caminhões, os

gastos com o maquinário pesado, como os tratores da área de jazida e da área de disposição do sedimento, além dos custos de licenciamento das jazidas. Não estamos considerando aqui, os custos com projetos de engenharia e gestão costeira anteriores à execução em si do projeto. Também não estão incluídos os gastos com manutenção.

Linham & Nicholls (2010) constatam que projetos de engorda com sedimento de jazidas continentais podem existir, mas em uma pequena escala e com trabalho local. Visto que o trabalho, como vimos, é bastante laborioso.

Segundo Barletta (com. pessoal) um projeto de engorda que pode levar 6 meses, se realizado com uma dragagem, pode levar 3 anos se realizado com caminhões e que os custos de manutenção de estradas de uma engorda realizada com caminhões também pode superar um projeto realizado com dragagem.

Percebe-se que entre os principais obstáculos desta alternativa, o que mais se destaca é o custo muito elevado, na ordem de milhões de reais. Além disso, esta alternativa exige uma manutenção e reposição de sedimento de outras fontes constantemente.

Tendo isto em vista, ao se optar por esta abordagem de manejo, deve-se levar em conta (i) a existência de fontes de sedimento para novas engordas, (ii) a necessidade e possibilidade de manutenção, (iii) o impacto na área de extração do sedimento importado, e (iv) um plano e reserva para uma engorda de praia emergencial.

É bem provável que para o balneário do Hermenegildo um engordamento de praia sozinho não seria o suficiente. Visto que o transporte de sedimentos é bastante alto, o que poderia remover boa parte da praia engordada em um único ano se não em uma única tempestade extrema.

Para ser realizada uma engorda que permaneça por algum tempo, este deve ser associado a estruturas rígidas que mantêm o sedimento no local.

Quanto à disponibilidade de sedimentos, veremos no tópico 4.6 que existe sedimento disponível, inclusive em quantidade suficiente para realizar engordas de manutenção. O problema maior no caso desta praia é haver disponibilidade de recursos financeiros para a manutenção, devido ao elevado custo de cada projeto de engordamento.

É importante lembrar que o engordamento de praia é a disposição de uma barreira temporária, e este tem um prazo de validade sendo, sem sombra de dúvidas uma alternativa que exige a manutenção e a reposição de sedimentos sucessivamente enquanto durar o processo erosivo na praia. Sendo assim, um projeto de engordamento de praia deve apresentar um cronograma que inclua os próximos possíveis engordamentos e as maneiras que serão alcançados recursos financeiros para este fim.

Quadro 3 - Considerações quanto à utilização de técnicas de recuperação e engordamento de praia.

-
- I. Um projeto de engorda necessita de manutenção constante. Sendo assim, é essencial prever a manutenção do projeto e planejá-la, incluindo no orçamento do projeto de manejo. Além disso, devem ser quantificadas e consideradas as reservas de recursos minerais e financeiros para a reposição e manutenção.*
 - II. Por ser um investimento de valor elevado e com manutenção constante também de valores elevados, deve-se avaliar o custo benefício da realização de um projeto de engordamento.*
 - III. Considerar utilizar alternativas complementares para aumentar o prazo de validade do engordamento na praia.*
 - IV. Realizar uma busca detalhada do sedimento propício que atenda a critérios específicos como de granulometria, com uma quantidade mínima de lama na amostra a ser avaliada, já que a lama inclusa no transporte será perdida do sistema para a antepraia.*
 - V. Uma alternativa é a de se considerar a utilização do sedimento de dragagem dos canais da Lagoa Mirim. Sedimentos estes que devem ser avaliados segundo critérios específicos para engordamento de praia.*
 - VI. Considerar utilização de jazida continental, calculando o impacto somado das áreas de extração de areia. Estabelecendo um limite máximo para extração na região.*
-

4.3 Se adaptando - Interferindo no Humano

4.3.1 Planejando o espaço

Um plano tem a intenção básica de alcançar um futuro melhor do que se teria com a ausência de um ordenamento (Pujadas & Font, 1998). No caso de locais com erosão costeira, o planejamento deve considerar a taxa de recuo e de perda de terreno. Sendo assim, um planejamento na zona costeira deve estar em harmonia com a dinâmica natural da costa.

O balneário está contemplado no Plano de Manejo de Dunas que prevê restrições e permissões para o manejo das dunas costeiras marinhas do município de Santa Vitória do Palmar e em anexo contém um Plano de diretrizes para o ordenamento territorial do balneário do Hermenegildo. Os autores deste plano detectaram que 38,75% da área urbana do balneário do Hermenegildo está dentro da área limite dos 300m de APP. Mas, se analisada não a área urbana como um todo, incluindo lotes vazios, mas somente as áreas construídas no balneário, observa-se que mais de 50% das casas estão dentro da zona de 300m de APP (Figura 19).

NEMA (2009) ao elaborar este plano adotaram uma taxa de erosão de 0,5m/ano para o balneário, e então realizaram uma projeção de 30 vezes esta taxa. As casas que se encontram nesta zona se encontram em uma área classificada como *Área de Risco Socioambiental* neste Plano. Para esta área o Plano sugere uma contração da urbanização.

Ainda se tratando deste plano de manejo (NEMA, op.cit.), é sugerida uma área para expansão do Balneário para o sentido oeste, até o limite das áreas alagadas da Lagoa Mangueira, consideradas como áreas para conservação. Quanto ao regramento para novas ocupações, o órgão recomenda que não sejam permitidas novas construções na área de 300m da APP das dunas e, para ressaltar isto, recomenda a implementação de um limite físico nesta linha dos 300m, como a criação de uma vala de drenagem por exemplo, adicionalmente, indica que as novas construções aconteçam somente na área sugerida para expansão, e que os lotes não sejam menores do que 450m².

Acreditamos que as taxas de erosão adotadas por NEMA (2009) foram subestimadas. No entanto, taxas anuais de erosão são bastante difíceis de serem

definidas. Como já mencionado anteriormente, são necessários dados históricos, padronizados e de qualidade para a definição de taxas de erosão.

Em uma busca de taxas anuais de recuo já calculadas para o balneário do Hermenegildo, encontramos diversos valores e diferentes metodologias utilizadas, o que reitera que a obtenção de uma taxa de erosão não é um processo simples. As análises avaliadas aqui mostraram taxas de erosão, para o mesmo local, de 0.5m/ano, 0.8m/ano, 1.22m/ano, 3.4m/ano, 3.6m/ano e 4.0m/ano. Tendo em vista as taxas de erosão analisadas, podemos notar que existe a carência de análises de taxa de recuo da praia com precisão e baseada em dados históricos. Contudo, devemos levar em consideração o fato de que as taxas de erosão variam intermitentemente, de um ano para outro ou mesmo em diferentes estações do ano. Por isso a necessidade de uma escala histórica de monitoramento para a determinação de uma taxa de erosão confiável para ser utilizada no ordenamento territorial da orla e na gestão do balneário.

Outro item que deve ser levado em conta é que existe uma diferença nas taxas de erosão encontradas nas dunas adjacentes e na orla urbanizada. Ou seja, as dunas adjacentes, onde ainda não são ocupadas, possuem livre mobilidade da linha de costa, podendo migrar mais rápido para o interior do que a linha de costa em frente a zona urbana que é protegida. Sabe-se que, além de os proprietários de casa na orla do balneário protegerem suas casas com estruturas de contenção, estes aterram novamente os terrenos perdidos nos eventos erosivos, mantendo ainda mais a linha de costa em uma posição fixa.

Sendo assim, provavelmente as taxas menores encontradas (1m/ano) se adéquam à orla urbanizada com a linha de costa em constante proteção e manutenção, e as taxas maiores de erosão, da ordem de 3 a 4m/ano sejam mais factuais nas áreas onde a linha de costa possui livre mobilidade.

Ao planejar o uso de um espaço, quanto mais um espaço dinâmico, deve-se adotar o princípio da precaução. Tendo como média dos valores de recuo calculados, obtêm-se a taxa de recuo de 2,25m/ano. Recomenda-se utilizar uma taxa no mínimo maior que este valor, sendo 3m/ano uma taxa aceitável para uma proposta de zona de proteção (ZP) enquanto não se tem taxas mais precisas.

4.3.2 Retraindo as construções

A retração é uma alternativa em que se mudam as casas da orla que estão sob risco para um local mais afastado da costa, deixando uma faixa de recuo. Para ser uma alternativa adequada, esta faixa de recuo deve funcionar como uma zona de proteção, ou seja, deve-se deixar uma zona com dunas, de modo que a areia que é erodida para o mar em tempestades retorne à praia em momentos de calmaria (EPA, 2005).

Uma condição para que haja a retração é a disponibilidade de novos locais continente adentro para a disposição das edificações manejadas. O balneário do Hermenegildo possui esta vantagem: existem áreas disponíveis suficientes para reconstruir todas as casas do balneário em outro local mais afastado da costa. Na Figura 26 pode-se perceber que a área proposta pelo NEMA (2009) para expansão urbana do balneário é quase equivalente à área urbana atual. Esta área para expansão pode ser ainda maior, desde que realizado um planejamento territorial adequado.

Outro ponto que favorece a realocação é a presença de infraestrutura passível de ser mobilizada, ou seja, pouca ou nenhuma presença de prédios ou casas bastante robustas. Quanto a isto, a maioria das casas no balneário é simples e de um único piso, segundas residências construídas para uso no verão. São poucos os sobrados existentes e nenhum prédio em toda a área do Hermenegildo. Desta forma, a maioria das casas pode ser realocada com toda a sua estrutura para áreas seguras e, se forem demolidas, o custo para a reconstrução não deve ser muito elevado.

Um terceiro ponto que conta para a retração das casas é a disponibilidade dos proprietários em se mudar. Esta é uma questão delicada, visto que além do valor material da propriedade em si, existem outros valores que não podem ser monetariamente calculados, como o prazer de se ter uma casa de frente para o mar. Quando questionados se mudariam a sua casa de lugar, a maioria dos proprietários de casa à beira mar respondeu que não mudariam (75%), outros mudariam a casa (20%) e outros não responderam (5%) (Teixeira, 2007).

Entretanto, dos 50 proprietários de casas à beira mar entrevistados por Esteves *et al* (2000), 46% disseram ter conhecimento do problema da erosão quando construíram

suas casas; 39% não sabiam que a praia estava em erosão e 15% herdaram suas propriedades. Ainda em 2009 havia gente comprando casas consideradas condenadas, reformando-as e utilizando-as para veraneio.

Notamos que apesar do valor material das casas estar reduzido devido à possibilidade iminente de ser destruída (Esteves & Santos, 2001), existe um alto valor agregado a outros fatores imateriais, como o fato de se ter uma residência de frente para o mar, mesmo que tenha um “prazo de validade”. Talvez por este valor imaterial de se possuir uma casa de frente para o mar, realocar as casas da orla é a alternativa mais difícil de ser adotada.

No plano de manejo de dunas, NEMA (2009) identificou toda a área da orla urbana do balneário como uma área de Risco Socioambiental e sugere algumas medidas a serem realizadas no balneário (Figura 26). Uma das medidas propostas é a de considerar a área de risco como uma área de contração urbana, onde não seriam permitidas mais construções ou aumento das construções já existentes, estabelecendo uma política pública de realocação das casas para áreas mais adequadas. Este órgão também sugere áreas propícias para a expansão urbana em terrenos existentes ao norte e ao sul da estrada que dá acesso ao balneário (NEMA, 2009).

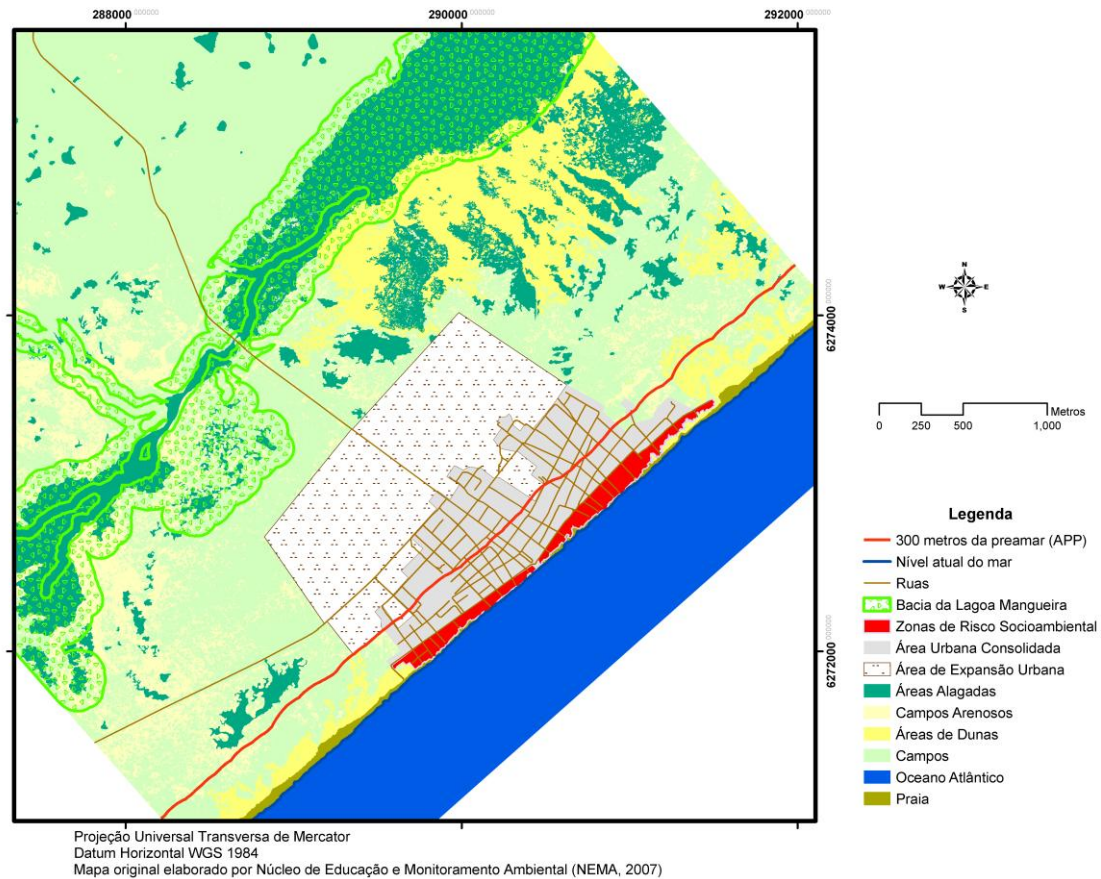


Figura 26 – Área de expansão urbana e risco socioambiental propostos no Plano de Manejo de Dunas de Santa Vitória do Palmar. A Área de expansão urbana é delimitada pela área da bacia da Lagoa Mangureira, proposta como área para conservação. Mapa modificado de NEMA (2009).

Esteves *et al* (2008), também sugerem algumas medidas. Estes autores ressaltam que, apesar de ser uma vila relativamente pequena, remover ou realocar todas as propriedades não é uma alternativa viável. Entretanto, podem ser tomadas medidas das autoridades públicas onde não são mais permitidas reconstruções das casas e estruturas de proteção destruídas pela erosão, além de exigir a remoção dos destroços. Estes autores também sugerem um controle das casas que estão na área de risco nos próximos 20 anos, tal como identificado num zoneamento municipal.

Em concordância com NEMA (2009) e Esteves *et.al* (2008), recomendamos que sejam tomadas medidas das autoridades públicas para o regramento das propriedades inseridas na *zona de risco socioambiental* proposta no Plano de Manejo de Dunas. Parece difícil se conseguir realizar a alternativa de retrain as casas de toda a zona de proteção, visto que não é o que os proprietários das casas da orla querem. No entanto,

podem ser realizadas algumas políticas, como de restrição de reforma das casas que já se encontram condenadas e obrigação de recolhimento dos entulhos dos proprietários que tiveram suas casas destruídas. Também podem ser realizados incentivos por parte da municipalidade para a mudança dos proprietários que perderam ou estão prestes a perder suas casas, ou mesmo para os que querem mudar sua casa de lugar. Exemplos são: ressarcindo o valor total do IPTU pago pela propriedade que foi perdida, disponibilizando um terreno em um loteamento na *área para expansão* com valores reduzidos ou disponibilizando maquinário para auxiliar na remoção e transporte das casas da orla para outro terreno mais seguro.

De qualquer maneira, concordamos com NEMA (2009) ao sugerir que “o problema deve ser enfrentado de modo participativo, com o envolvimento de toda a comunidade e numa perspectiva estratégica de longo prazo”.

4.3.3 Adaptando as construções e convivendo com o problema

Balneário, segundo Houaiss (2009) é um local público destinado a banhos, usado para descanso e lazer. Visto que o objetivo principal de um balneário e das pessoas que possuem uma propriedade neste local é o de ficar próximo da praia, ter o prazer da vista para o mar e utilizar a praia como zona de recreação, os usuários de um balneário querem ficar próximos da costa. Desta forma, não faz sentido ter uma casa no balneário muito longe da praia, já que ela é o foco dos proprietários.

Sendo assim, mantendo uma zona de proteção mínima, logo atrás dela haverá uma ocupação no bairro. Entretanto, quer seja planejando e estabelecendo uma zona de proteção ou recuando a urbanização da orla para mais afastado dela, o problema tornará a aparecer no futuro.

Dessa forma, existe uma necessidade de nos adaptarmos frente ao cenário de elevação do nível do mar a que estamos vivenciando. Nos Estados Unidos existem diversos exemplos de adaptação e convivência com o problema, inclusive com orientações de como construir sua casa em regiões costeiras (FEMA, 2011).

Devemos desenvolver nas zonas costeiras, uma mentalidade marítima, na qual as pessoas devem ter conhecimento de que estas zonas são complexas e dinâmicas. Deve ser esclarecido que, apesar de existirem tentativas de manejar o problema da erosão costeira ela é inexorável (Charlier, 2005). Frente a esta dinâmica e retração natural da orla costeira, podemos nos adaptar e entrar em harmonia com a natureza ao invés de lutar contra ela. Como exemplo disto, existe um morador do balneário do Hermenegildo que comprou recentemente um terreno na beira da praia, sabendo do risco iminente de perdê-lo. Como forma de construir sem perder todo o capital investido, a sua casa foi adaptada para poder ser retirada e realocada assim que seja impossível seguir usufruindo da orla. Dessa forma, este proprietário aproveita o momento para ter uma casa na orla enquanto for possível tê-la.

Sabemos que isto é uma opção difícil de ser tomada, já que o *Homo sapiens* é um organismo terrestre e possui uma reação instintiva que rejeita qualquer perda de terra (Komar, 1998).

4.4 Não fazer nada

Essa opção significa deixar que a natureza siga seu curso, permitindo que a erosão continue agindo no local.

Ao serem questionados entre as quatro possibilidades, se havia ou não solução e se deveria ou não ser feito um esforço para manejar o problema da erosão no balneário, das 46 pessoas que responderam o questionário, apenas 4% responderam que se deve deixar como está, e outros 2% acreditam que existe solução, mas não deve ser feito esforço para o manejo. Outros 70% acreditam que tem solução e deve ser feito um esforço e 13% acham que não tem solução, mas deve ser feito algum esforço. Ou seja, entre os usuários do balneário que estavam presentes na audiência, 83% querem tomar alguma atitude para manejar o problema.

Considerando taxas de erosão de 1m/ano e 3 m/ano para o balneário do Hermenegildo, e tomando como linha de referência a linha da base da escarpa e das dunas extraída com instrumento RTK-GPS por Koerner, 2009 elaboramos um mapa

com cenários de linhas de escarpa futuras, de 30 anos e 60 anos, para cada uma das taxas de erosão adotadas. Também inserimos no mapa os limites legais de 300m de APP das dunas costeiras e de 50m para orlas urbanizadas. O mapa resultante é apresentado na Figura 27.

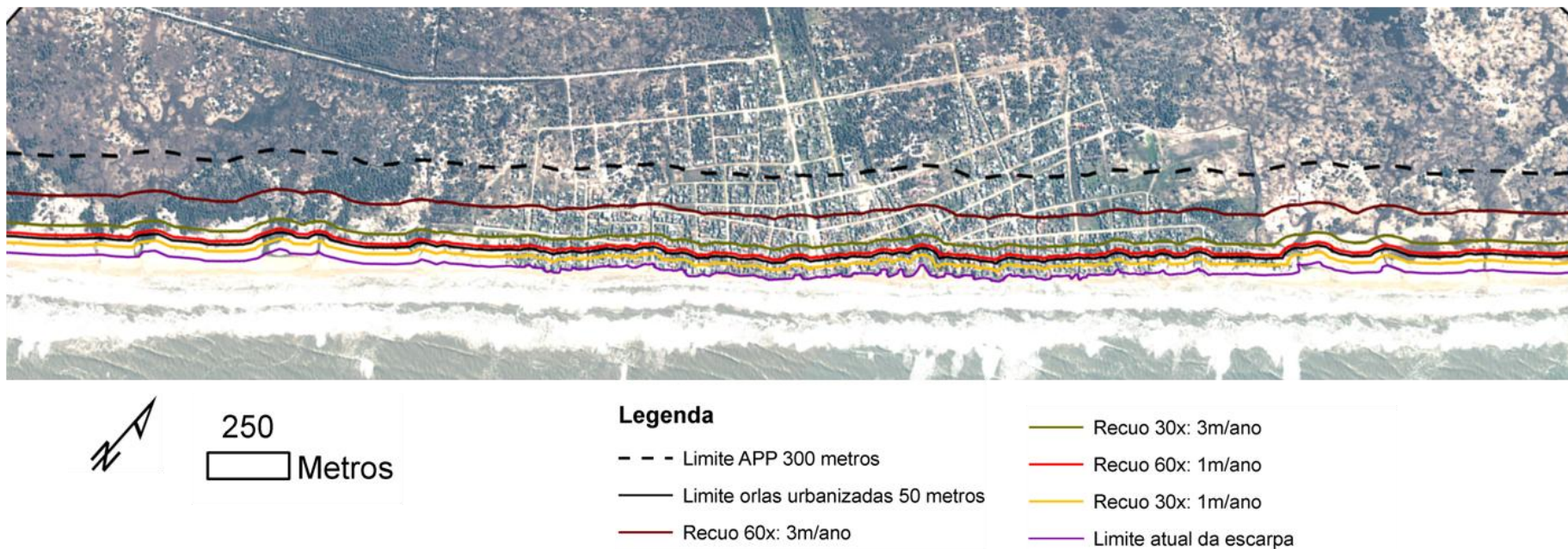


Figura 27 - Simulação do recuo total após 30 e 60 anos utilizando taxas de erosão de 1 metro por ano e de 3 metros por ano. Também estão contemplados os limites de 300 metros de Área de Preservação Permanente (Resolução no 303/2002 CONAMA) e de 50 metros para Orlas Urbanizadas (Decreto Federal no. 5.300/2004).

É importante observar que não fazer nada se refere a deixar como está, ou seja, não realizar medidas em conjunto para tomar alguma decisão e alguma ação de manejo sobre o problema. Mas isto não quer dizer que os proprietários das casas também nada farão. Dessa forma, provavelmente as taxas de erosão simuladas se comportarão de maneiras diferentes na orla urbanizada e na orla não urbanizada (dunas adjacentes). Se seguir da forma que se encontra (com os proprietários construindo estruturas de proteção), em 30 ou 60 anos, o balneário possivelmente se encontrará na forma de um promontório mais acentuado com nada ou quase nada de faixa de praia seca em frente à orla urbanizada e com uma largura de praia natural nas zonas não urbanizadas ao norte e ao sul.

Ao se comportar como um promontório, por efeitos de refração e difração, as ondas focarão sobre a zona urbanizada (tal como acontece em um promontório natural) e erodirão ainda mais as dunas adjacentes, principalmente na porção norte. Ou seja, a erosão se tornará cada vez mais intensa e a praia se tornará inexistente em frente ao balneário e perderá seu valor como área de recreação. Um exemplo concreto da tendência para o Balneário do Hermenegildo para os próximos anos se nada for feito é a praia de Aguas Dulces no litoral do Uruguai, um pequeno vilarejo que se encontra em um estágio mais trágico de erosão costeira (Figura 28).



Figura 28 - Praia de Aguas Dulces no litoral do Uruguai. Possível tendência para o Hermenegildo caso não seja realizada alguma ação de manejo. Foto de Pedro Pereira (2009).

4.5 Aspectos a serem considerados

Definida a Audiência Pública para explicar os problemas erosivos que o balneário do Hermenegildo se encontra, esta foi anunciada na mídia dias antes da data e repetidas vezes. Na ocasião da audiência, a sala se encontrava lotada de moradores e usuários do balneário. Isto reflete a demanda de informação que os usuários do balneário têm sobre o problema e a sua curiosidade pelo que pode ser feito para solucioná-lo.

Nesta Audiência Pública foi bastante comentado por mais de um morador do balneário que o “Hermenegildo tinha uns 15 sangradouros” e estes foram soterrados para construir as ruas. Estes moradores acreditam que essa interferência pode ser uma das causas da erosão costeira no local. Em concordância a hipóteses levantadas em pesquisas de que os sangradouros são as áreas de alto risco por serem mais suscetíveis à inundação (Maia, 2011), os moradores afirmaram que a inundação realmente ocorre nos sangradouros, mas também argumentam que a energia das ondas é bastante dissipada e nestes locais ela já não é mais tão destrutiva como na beira da praia.

Entretanto, acreditamos que, para efeito local, o soterramento dos sangradouros poder ter tido uma influencia positiva na dinâmica praial, uma vez que o sedimento da face praial é retirado somente pela ação das ondas, e não mais com o auxílio da drenagem pluvial, mas não foram encontradas, para o local, evidências científicas que comprovem isto. Por outro lado, as dunas em todo o entorno do balneário eram móveis e não vegetadas como são agora (Figura 2 e Figura 21) (Ugri, 2004; Vidal, 2008). Não sabemos quanto sedimento estes sangradouros carregavam de trás das dunas frontais de volta para o sistema praial e nem qual seria esta colaboração para manter o sedimento na berma.

Outra hipótese que existe, mas não encontramos estudos aprofundados sobre o assunto no local de estudo é que a erosão no balneário é potencializada por ter uma camada de turfas abaixo da praia. Esta camada de turfas funciona como uma camada isolante que não permite que a água do mar penetre para as camadas mais ao fundo da praia, o que faz com que a praia se mantenha sempre úmida. Como resultado desta praia sempre úmida, o sedimento é retirado da face praial para a área subaquosa com muito mais facilidade.

Para manejar este problema local, existe uma alternativa que funciona utilizando

um sistema de drenagem da água da face praial. É como um tubo permeável que passa por baixo da praia com bombas de sucção em suas extremidades. O resultado é que esta estrutura mantém, dentro do possível, a praia sempre seca, diminuindo o potencial erosivo da onda, e inclusive auxiliando na acresção de sedimento. Um exemplo bem sucedido desta metodologia foi realizado no Uruguai (playa Solanas – Punta Del Este).

Este método pode não funcionar para o balneário do Hermenegildo sozinho, já que um único evento de tempestade poderia desenterrar todo o sistema de tubulação instalado. Entretanto, este sistema pode auxiliar no manejo em combinação com outro método, como um engordamento de praia ou espigão por exemplo. Para baratear os custos deste sistema, pode ser realizado um manejo utilizando bombas de drenagem já usadas pelos arrozeiros da região, e os gastos com a energia para a manutenção do sistema pode ser dividida entre todos os usuários do balneário, como uma cota extra na conta de luz.

Em um workshop realizado em maio, que reuniu participantes do PPGC e do MCI (Manejo Costero Integrado – UY), pesquisadores uruguaios que participaram do projeto de drenagem da praia (citada anteriormente) relataram que é importante fazer todo um sistema de drenagem no balneário, de modo que se desvie toda a água da chuva que iria parar na praia que está com o problema da erosão, fazendo com que ela se mantenha mais seca possível. Isto já se contrasta com a opinião dos moradores do balneário do Hermenegildo, que apoiariam uma reconstrução dos sangradouros soterrados.

Para se realizar um plano de manejo eficiente, fica clara a necessidade de se ter um maior conhecimento do ecossistema local e das suas interações, como da erosão em dias com chuva, ou da quantidade de sedimento carregado por um sangradouro proveniente de dunas livres versus dunas vegetadas, ou mesmo da dissipação da energia da onda sobre os sangradouros.

Outro aspecto que deve ser considerado é que as alternativas podem ser combinadas entre si, ou seja, podem ser combinadas estruturas rígidas com estruturas flexíveis, ou então obras de proteção com métodos de planejamento e zonas de proteção (USACE, 2003).

Um exemplo que está se tornando mais comum de ser utilizado é a combinação de estruturas estabilizadoras da linha de costa (espigões e quebra-mares) com a engorda de praia (ASBPA, 2011), seja utilizando as estruturas para manter o engordamento por

mais tempo no local, seja utilizando o engordamento para reduzir o impacto nas praias à sotamar destas estruturas.

Um exemplo de combinação de estruturas com alternativas adaptativas é o uso de zonas de proteção associadas ao uso de espigões ou muros de proteção. Neste caso, define-se uma zona mínima de recuo, manejando as construções que estão sob risco e, além disso, utiliza-se engordamento de praia ou estruturas rígidas para proteção das casas.

No Brasil temos como exemplo de combinação de estruturas o manejo realizado na praia de Conceição da Barra, no litoral norte do Espírito Santo. Em setembro de 2009 foram iniciadas as obras de recuperação da orla, que duraram um ano e três meses. Na obra de recuperação foram incluídos: um espigão, cinco quebra-mares, além do engordamento da praia ao longo dos 1.700 metros de praia na Foz do Rio Cricaré (Prefeitura Municipal de Conceição da Barra¹¹, Figura 29). Os recursos utilizados nesta obra foram todos do governo estadual do Espírito Santo.



Figura 29 - Praia de Conceição da Barra antes (esquerda) e depois (direita) da obra de recuperação da orla. As fotografias aéreas foram tiradas do norte e do sul respectivamente. (Fonte: <http://conceicao-da-barra.blogspot.com.br>).

¹¹ Prefeitura Municipal de Conceição da Barra [<http://www.conceicaodabarra.es.gov.br/>].

Um problema da combinação de alternativas e métodos é que, quanto mais métodos se utilizam, mais custoso se torna o projeto. No exemplo citado anteriormente, o governo do Espírito Santo investiu em torno de 60 milhões de reais (Eduardo A.M. Gimenes¹², com. pessoal). Entretanto, a longo prazo, este investimento a mais pode representar um melhor custo benefício do que aplicar somente uma alternativa.

Este manejo realizado em Conceição da Barra utilizando uma combinação de metodologias também pode ser utilizado no balneário do Hermenegildo. O problema no local do nosso estudo seria quanto ao investimento e a obtenção de financiamento para este projeto visto o elevado custo do mesmo. Entretanto, a combinação de metodologias é a alternativa de manejo que mais vem sendo aceito ultimamente. Possivelmente, dentre as alternativas que interferem na dinâmica praial, uma combinação de metodologias seria a alternativa mais eficiente para o manejo da erosão no balneário.

4.6 Análise da disponibilidade de recursos minerais

Para se implementar qualquer uma das alternativas que interferem na dinâmica natural da costa, ou seja, as alternativas que envolvem técnicas rígidas (e.g. espigões, muros, quebra-mares) ou técnicas flexíveis, será necessário o uso de recursos naturais com características específicas, o que leva à necessidade de uma análise de disponibilidade na região e nas proximidades.

Os recursos que serão analisados aqui são as rochas duras e a areia para engorda de praia.

No caso das rochas, o critério técnico de seleção está ligado à origem das mesmas, ou seja, preferencialmente rochas ígneas, seguidas de metamórficas e por último, sedimentares.

¹² Diretor Geral do Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Espírito Santo (DER/ES) na ocasião da obra. O DER/ES foi o órgão responsável pela obra de recuperação da orla da praia de Conceição da Barra.

As características físicas das rochas são as mais importantes no caso em questão, uma vez que, características químico-mineralógicas só teriam importância em uma escala de tempo muito grande.

As rochas ígneas plutônicas são ideais por serem mais resistentes em função da textura e estrutura. Esse tipo de rocha apresenta, no geral, uma estrutura maciça, sem veios, fraturas ou amígdalas, granulometria grossa a média. As rochas ígneas vulcânicas também são resistentes, mas podem, eventualmente, apresentar linhas de fraqueza e/ou descontinuidades como veios, amígdalas e fraturas, os quais, aliados a granulometria fina diminuem sua resistência aos fenômenos intempéricos e ao embate constante das ondas em um ambiente com salinidade elevada.

As rochas metamórficas podem apresentar uma resistência muito grande, mas o contrário também é verdadeiro, dependendo do tipo litológico analisado e das condições de metamorfismo às quais foi submetida. Assim, gnaisses, metagranitos, quartzitos (e determinados tipos de mármore) possuem resistência relativamente elevada, enquanto ardósias, filitos e xistos, em geral têm resistência baixa e por isso mesmo os afloramentos, no geral, apresentam sinais de intemperismo forte.

Rochas sedimentares, em geral, são menos resistentes que as anteriores, com exceção das metamórficas de baixo grau. Entretanto, arenitos compactos podem ser muito resistentes.

Além das características discutidas acima, há pelo menos dois fatores cruciais a serem analisados: a disponibilidade associada à proximidade do empreendimento e as restrições ambientais ao seu uso. Ambos (isoladamente e em conjunto) podem inviabilizar o seu uso.

Considerando todos os critérios apontados anteriormente, e a partir dos mapas geológicos e geomorfológicos disponíveis no banco de dados do Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG (Caldasso, et.al. 2000a e 2000b; Tagliani, 2002; Oliveira, 2006; Schreiner, 2012), foi realizada uma análise para determinar jazidas potenciais de recursos minerais na região, com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Figura 31).

As unidades litológicas de rocha dura mais próximas da área de estudo e que apresentam características adequadas ao uso pretendido, foram localizadas na área do Escudo Sul-riograndense, à Oeste do Sistema Lagunar Patos-Mirim e incluem:

- Fácies Jaguarão: derrames vulcânicos de composição intermediária a félsica, com textura vitrofírica, contendo abundantes xenólitos de granitoides, fortemente reabsorvidos.
- Granito Chasqueiro: granito porfirítico grosso, com foliação milonítica nos bordos.
- Granito Capão do Leão: sienogranito médio, tendo granada almandina como varietal.
- Granito Arroio Moinho: sienogranito porfirítico grosso, localmente monzogranito, com foliação milonítica dominante nas bordas.
- Suíte granítica Dom Feliciano:
 - Fácies Serra do Erval: sienogranito constituindo *stocks* grosseiramente alinhados a NE-SW.
 - Fácies Cerro Grande: monzogranito variando entre porfirítico grosso a granular e homogêneo, englobando encraves granodioríticos a tonalíticos.
- Gabro Passo da Fabiana: gabro, hornblenda gabro a troctolito, com níveis estratiformes anortosíticos, de afiliação toleítica (plagioclásio, dois clinopiroxênios, anfibólio e quartzo).
- Granitoide Arroio Grande: leucogranito a duas micas, grosso, com foliação milonítica pronunciada, englobando encraves gnáissicos.
- Complexo Granito-gnáissico Pinheiro Machado:
 - Domínio de Metagranitoides Porfiríticos: gnaisse granítico a granodiorítico, foliação marcante e deformação de alta temperatura, presença frequente de septos de paragneisses.

- Domínio de Gnaisses Granodioríticos: gnaisses variando entre granodiorito a tonalito, localmente migmatizado, com abundantes septos de para e ortognaisses parcialmente englobados pela massa granítica.
- Septos do Embasamento: presença de megaxenólitos com cerca de 15km de extensão, onde incluem-se rochas calcissilicáticas, biotita gnaisses, tonalitos, quartzitos, xistos, mármore e porções migmatíticas.

A distância entre estas fontes de rochas e o balneário do Hermenegildo varia de 150 a quase 300 km, por água e por terra respectivamente. Destas fontes, foram encontrados dois locais com mineração em operação (Jaguarão e Capão do Leão), localizadas no mapa da Figura 31.

Existe uma ação conjunta do governo do Estado do Rio Grande do Sul e do governo Federal para recuperar a matriz hidroviária do Rio Grande do Sul. Também está contemplada no projeto a recuperação dos canais existentes na lagoa Mirim (fonte: Portos e Navios¹³). Sendo assim, em um futuro próximo, podem ser transportadas rochas desde a fonte até o porto hidroviário de Santa Vitória do Palmar e posteriormente seguir por terra até o balneário do Hermenegildo com caminhões por um trecho de menos de 30km. A área mineradora mais próxima do balneário com a presença de um porto hidroviário se encontra no município de Jaguarão a 150km do Hermenegildo.

No caso da areia para uso em engordamento de praia, o sedimento destinado para este fim deve atender a critérios técnicos específicos. O principal deles é que o sedimento importado deve ser de granulometria igual ou mais grosseiro do que o sedimento nativo (NRC, 1990; Pilarczyk, 1990; Linham & Nicholls, 2010; USACE, 2003; Komar, 1998). Se o sedimento for muito fino, este poderá ser levado em suspensão pela ação das ondas e das correntes de deriva para o alto-mar, isto é, para após a profundidade de fechamento e, conseqüentemente, ser perdido do sistema praiial (Komar, 1998). Na prática, a escolha do sedimento é controlada pela disponibilidade e pelo custo da exploração (Komar, op.cit.).

¹³ Revista digital Portos e Navios: <http://www.portosenavios.com.br/site/noticias-do-dia/portos-e-logistica/14173-hidroviarias-gauchas-recebem-r-270-milhoes> acessado em Março de 2012.

Nesta análise de disponibilidade de sedimentos para engorda no balneário do Hermenegildo serão contemplados os sedimentos de origem continental da Planície costeira do Rio Grande do Sul e os sedimentos de origem submersa, oriundos da Plataforma interna da Bacia de Pelotas.

Quanto aos sedimentos de origem continental, tendo em vista uma redução dos custos com transporte, considerou-se como viável apenas a ocorrência dentro do âmbito geográfico dos municípios de Santa Vitória do Palmar e do Chuí, o que inclui uma distância máxima de 130 km do balneário. Estes municípios possuem toda a sua área sobre a planície costeira do Rio Grande do Sul.

As unidades geomorfológicas presentes nesta área fazem parte de um complexo sistema de Laguna-barreira, cuja evolução foi objeto de estudo de diferentes autores, destacando-se Villwock (1984) e Long (1989). Segundo Villwock (op cit) destacam-se na área de estudo 3 barreiras arenosas, denominadas Barreiras II, III e IV, da mais antiga para a mais recente, e sistemas lagunares pleistocênicos e holocênicos associados.

Segundo Long (1989 *apud* Tagliani, 1997), existe na área de estudo, além das três barreiras citadas, a presença da Barreira I (pleistocênica). Adicionalmente o autor apresenta um detalhamento de 5 terraços lagunares associados ao desenvolvimento de cada uma das barreiras (Figura 30), por este detalhamento dos terraços lagunares e banhados na área de estudo, optamos por utilizar este banco de dados.

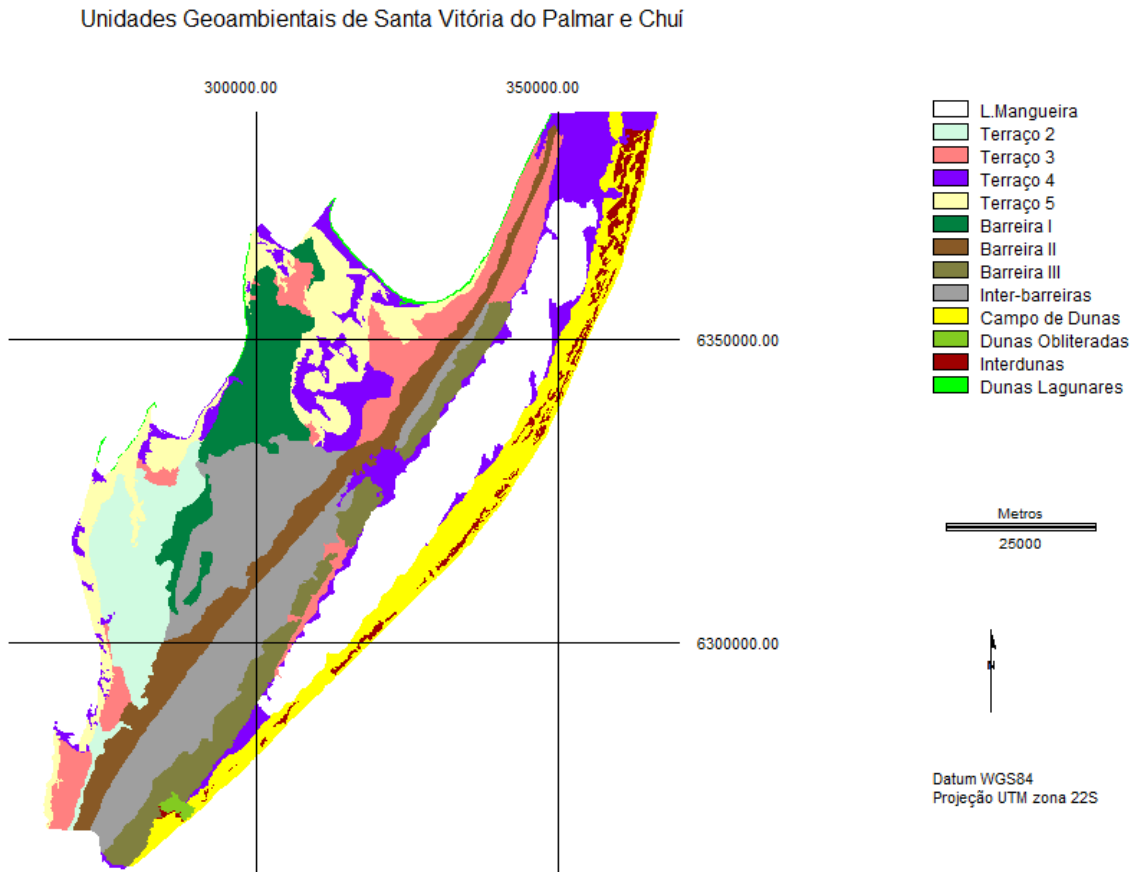


Figura 30 – Unidades Geoambientais da área de estudo segundo unidades geomorfológicas propostas por Long (1989). Modificado de Oliveira (2006).

Villwock (1984) e Long (1988 *apud* Tagliani, 1995) e Long (1989 *apud* Tagliani, 1997) descreveram os ambientes deposicionais holocênicos e pleistocênicos que ocorrem na área de estudo, e estes apresentam as seguintes características:

Barreiras da Planície Alta: Constituem-se das barreiras I, II e III, que não apresentam diferenças significativas quanto à estrutura dos solos. Os solos nessas barreiras são caracterizados pela presença de um horizonte A espesso, de textura arenosa (franca) e muito permeável sobre um horizonte Bt argílico impermeável. O sedimento classifica-se como areia quartzosa fina a média, bem classificadas, com estruturas sedimentares difusas. O teor de argila é um fator de distinção entre as

barreiras, sendo a concentração média de 13 a 32% nas barreiras I e II e 4 a 20% na barreira III.

Campo de Dunas (Barreira Holocênica IV): Compreendem as Dunas Vivas e os Mantos de Aspersão Eólica. As dunas vivas são depósitos de areias quartzosas inconsolidadas (não fixadas por vegetação) que possuem um horizonte A cinzento claro totalmente arenoso (areia quartzosa fina a média) sem consistência sobre uma parte inferior (C) totalmente arenosa. A areia se configura bem arredondada e selecionada, com rara laminação plano-paralela ou estratificação cruzada. Os mantos de aspersão eólica são superfícies que sofreram transporte eólico sobre a barreira III e possuem um horizonte A profundo, com baixo teor de carbono orgânico (0,2%) e sua textura apresenta-se arenosa. A espessura do horizonte A é bastante variável e a camada inferior é franco-argilo-arenosa de cor acinzentada claro.

Dunas obliteradas: O solo apresenta um horizonte A que varia de 60 a 80 cm de profundidade e apresenta-se amarelado a vermelho amarelado e muito arenoso. Compõe-se de areia quartzosa que passou por um período de oxidação intensa, são de granulometria fina, bem selecionadas, com laminação plano-paralela e cruzada.

Terraços lagunares e interbarreiras: São os terraços II e III, formados nas cotas de altitude de 6 e 4 metros respectivamente e a interbarreiras é a depressão que ocorre entre as barreiras II e III, que se encontra na cota de 8m. São sedimentos de fundo de lagos depositados em condições de água salobra. Em geral o solo apresenta um horizonte A cinzento muito escuro, com um máximo de 30 cm de profundidade. Constitui-se franco a franco arenoso, sem estrutura (maciço) e a parte inferior (horizonte Bt) é constituída por uma camada franco argilosa.

Terraços lagunares 4 (Planície baixa): formados na cota altimétrica de 0.5m, são ambientes sujeitos a alagamentos periódicos nos meses de inverno e primavera. Constitui-se de partículas argilosas ou siltosas recentes sobre um manto de areia fina ou silte (de 1m de espessura).

Terraços lagunares 5 (Banhados permanentes): correspondem ao nível atual de deposição e constituem-se por camadas argilosas, sílticas e até orgânicas sobre areias holocênicas.

Sabe-se que as barreiras arenosas são depósitos eólicos e praias formados em ambientes de interface entre a praia e o mar (Tomazelli & Villwock, 2000) e que os banhados e terraços lagunares (Interbarreiras, Terraços 2, 3, 4 e 5 e turfeiras) são, naturalmente, áreas de acúmulo de sedimento lamoso devido à baixa energia no local. Por estas características, observa-se que as unidades com potencial para o uso pretendido na região do estudo são as barreiras arenosas I, II, III e IV, pois se constituem de depósitos de areia quartzosa bem selecionada e de granulometria semelhante com a areia da praia do Hermenegildo.

A Figura 31 apresenta o mapa das áreas com reservas potenciais para seu uso em projetos de manejo à erosão no balneário do Hermenegildo, no qual foram adotados os critérios de atração descritos anteriormente.

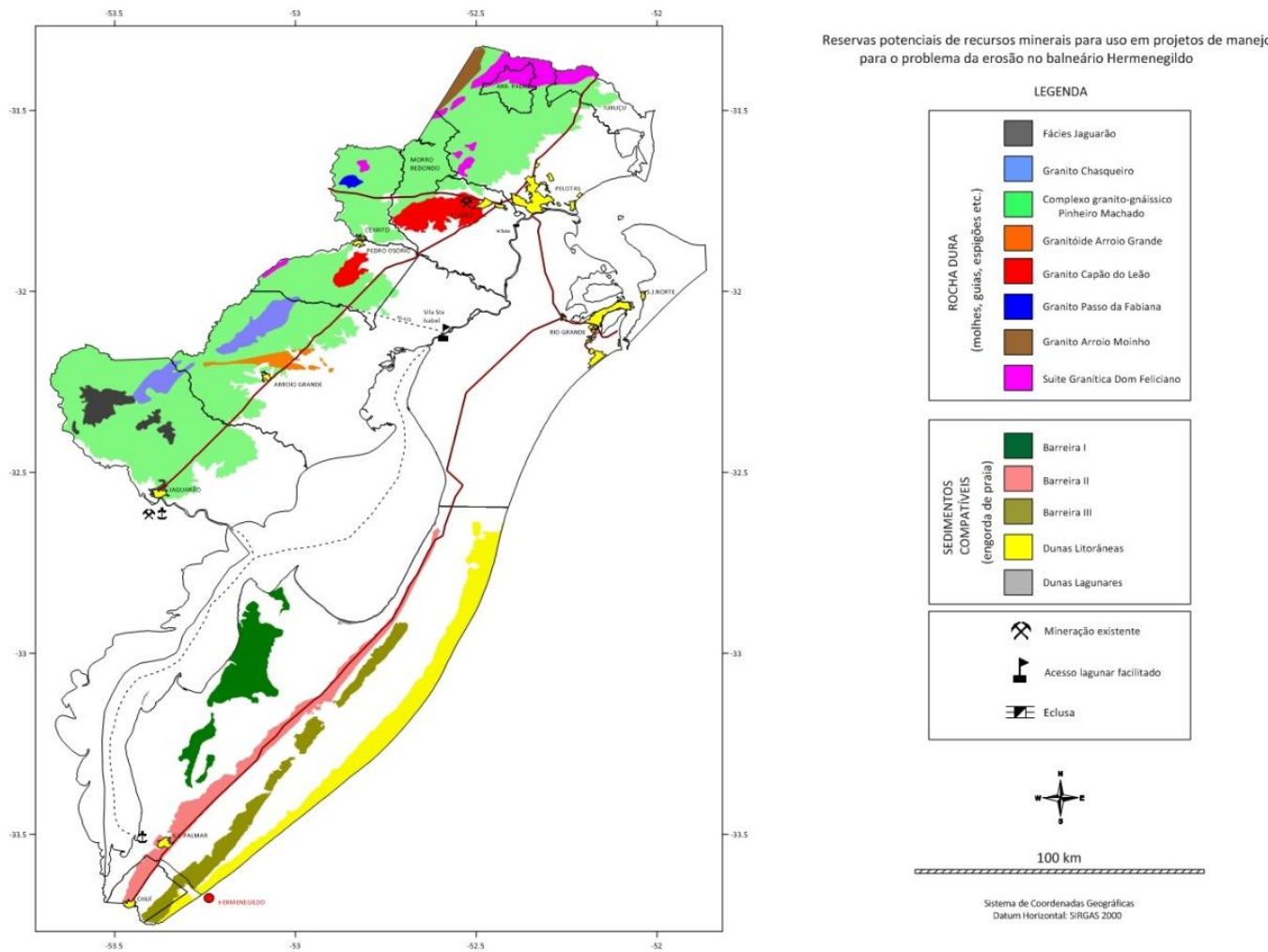


Figura 31 - Mapa das reservas potenciais de recursos minerais para uso em projetos de manejo para o problema da erosão no balneário Hermenegildo.

Em relação às restrições legais para o uso dos recursos mapeados foi realizada uma pesquisa na legislação ambiental pertinente, em âmbito federal, estadual e municipal, com o objetivo de localizar tais áreas e compará-las com a dos recursos minerais potenciais. No âmbito municipal não há legislação específica de proteção ambiental.

Os seguintes instrumentos legais definem as áreas de preservação permanente com influência na área de estudo:

- Matas Nativas: são protegidas no Brasil pelo Código Florestal (Lei Federal nº 4771 de 1965) e no Rio Grande do Sul pelo Código Florestal Estadual (Lei Estadual nº 9519 de 1992) e o Código Estadual do Meio Ambiente (Lei 11.520 de 2000).
- Dunas Costeiras, enquanto protetoras de habitats e de vegetação nativa (Código Florestal Federal) e ainda está estabelecida uma zona de proteção mínima de 300 metros a partir da linha de preamar máxima (Resolução do Conama¹⁴ nº 303 de 2002).
- Margens de Lagoas e Rios: faixa de proteção de 50 metros para lagoas até 10 hectares, e 100 metros para lagoas acima de 10 hectares; para os rios, foram todos considerados de até 100 metros de largura, cuja proteção equivalente é 30 metros nas suas margens (Resolução do Conama nº 303 de 2002).
- Sítios Arqueológicos (Lei Federal nº 3.924 de 1961).
- Áreas de Banhado. Protegidas pelo Código Estadual do Meio Ambiente (Lei 11.520 de 2000) protege as
- Área da Estação Ecológica do Taim é uma área de proteção integral como referido no SNUC¹⁵ (Lei nº 9.985 de 2000) e em seu Plano de Manejo não está estabelecida uma Zona de Amortecimento, sendo atualmente adotada a proposta de 10 quilômetros a partir do limite da unidade de conservação.

Na área do Escudo Cristalino, as áreas de proteção ambiental foram definidas por

¹⁴ Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

¹⁵ SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação.

Tagliani *et al* (inédito) na proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico finalizada recentemente. Tais unidades foram integralmente adotadas nesse trabalho.

Todas as áreas com algum tipo de restrição ambiental foram agrupadas em apenas uma camada de informação e suprimidas do mapa dos recursos minerais potenciais utilizando rotinas de superposição de *layers* disponíveis no SIG (*overlay*). O resultado está apresentado no mapa da Figura 32.

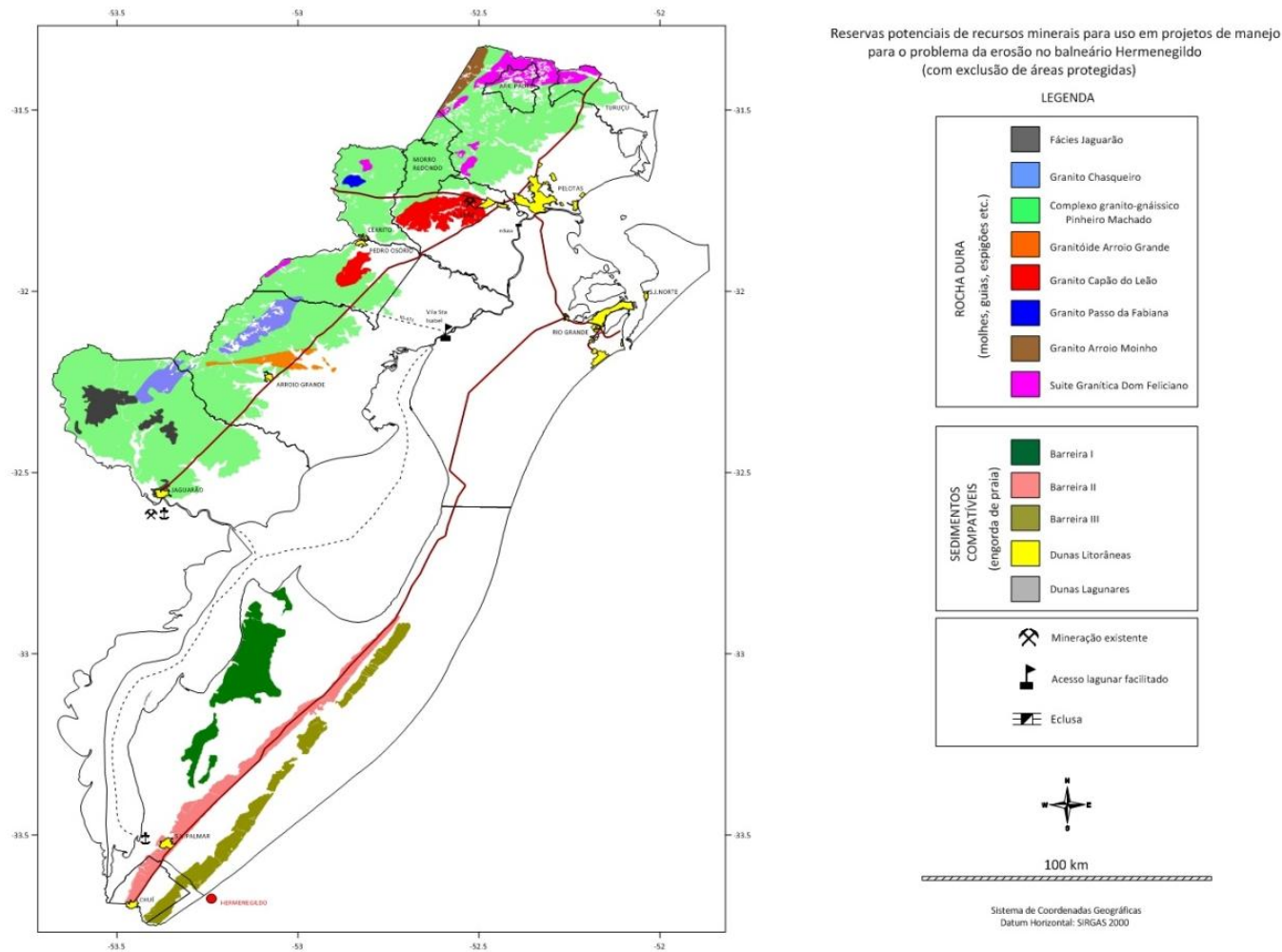


Figura 32 - Mapa das reservas potenciais de recursos minerais para uso em projetos de manejo para o problema da erosão no balneário Hermenegildo com exclusão de áreas protegidas.

Com o propósito de averiguar a semelhança da granulometria das áreas selecionadas no mapeamento com a praia do Hermenegildo, foi realizada uma saída de campo para coletar amostras superficiais do sedimento logo abaixo da camada de solo.

As amostras foram coletadas nas unidades geomorfológicas consideradas aptas para exploração, sendo estes: Barreira 1 (#B1), Barreira 2 (#B2) e dois pontos da Barreira 3 (#B3a e #B3b); Para fins de comparação, foram analisados também uma amostra das dunas (#duna) e outra da praia (#praia) do Hermenegildo. A Barreira 4 não foi amostrada por se localizar inteiramente em Área de Proteção Permanente (segundo os critérios adotados nesta pesquisa).

As amostras apresentaram uma porção lamosa e outra porção arenosa, resultados da primeira separação dos sedimentos, conforme é apresentado na Tabela 3:

Tabela 3 - Porcentagens de lama e areia de cada amostra.

AMOSTRA						
	#PRAIA	#DUNA	#B1	#B2	#B3	#B3b
%LAMA	0.00	0.00	49.71	26.22	10.41	2.22
%AREIA	100.00	100.00	50.29	73.78	89.59	91.65

Em uma segunda análise, foi filtrada a parte arenosa de cada amostra, com uma peneira a cada $\frac{1}{2}$ phi de diâmetro para analisar a granulometria. A parte arenosa das amostras apresentaram semelhanças muito grandes, como pode ser observado no gráfico de frequências acumuladas (Figura 33).

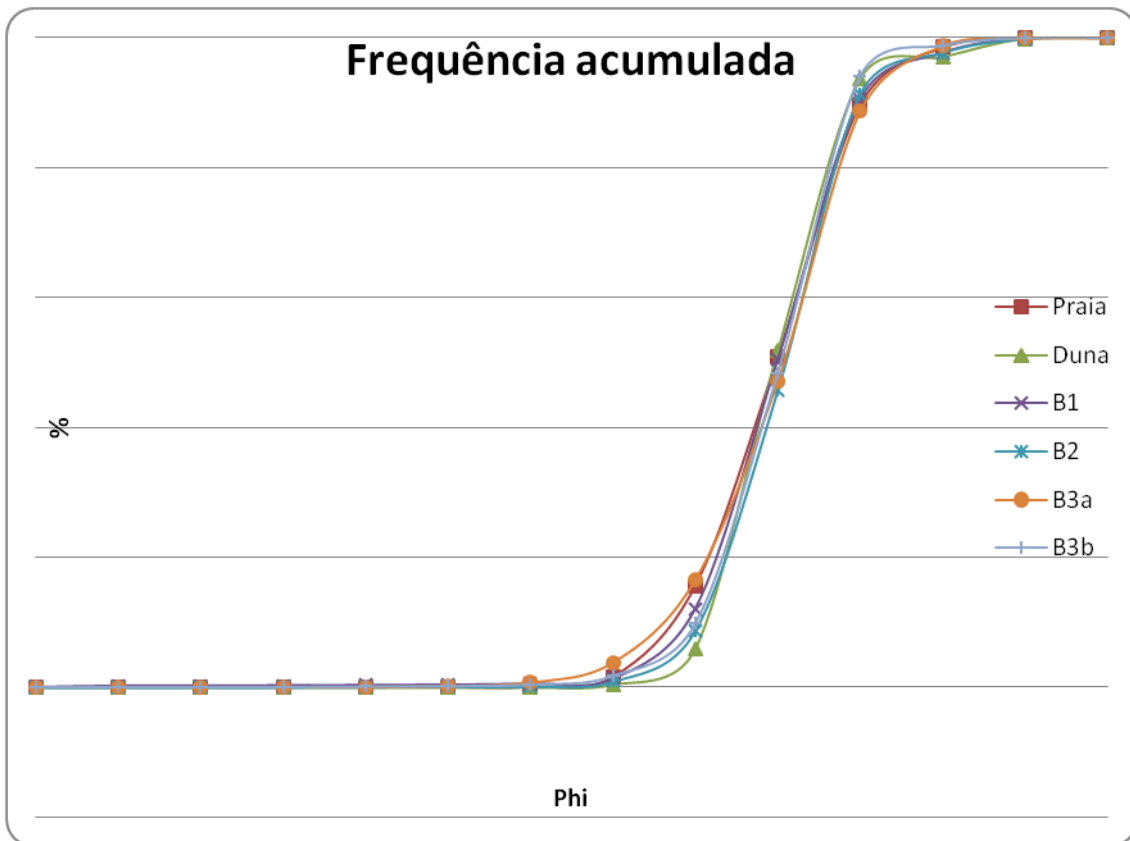


Figura 33 - Frequência acumulada da parte arenosa de cada amostra.

Com estas análises, pode-se observar que existe sedimento ideal para a disposição no balneário do Hermenegildo com o objetivo de engordamento. Entretanto, o projeto que desejar realizar uma busca aprimorada deve realizá-la em uma escala de detalhe ao nível da exploração, encontrando uma grande área disponível, com o mínimo de sedimento lamoso possível e reduzir ao máximo os impactos da exploração.

Ainda que o sedimento lamoso esteja presente na amostra, contanto que predomine os grãos do tamanho semelhante à área de destino, este é possível ser utilizado. O sedimento mais fino é retrabalhado pelas ondas, sendo levados em suspensão para o mar, permanecendo os sedimentos mais grosseiros na praia emersa (Komar, 1998).

Analisando os sedimentos submersos, Martins & Urien (2004), realizaram um mapeamento e quantificação de depósitos arenosos na plataforma interna do Rio Grande do Sul e Uruguai (Albardão a Cabo Polônio) para utilização em engorda de praias em

erosão. Os autores optaram por fazer uma análise piloto nestes locais justamente por haver praias em processo de erosão na planície costeira.

A análise destes autores abrangeu 26 testemunhos (de 1 a 4,5m de comprimento) e 43 amostras superficiais em uma área aproximada 300km ao longo da costa até a isóbata de 40m (aprox. 100km da costa) que limitava as fácies arenosas Atlântica e Costeira da região dos poços de lama. Os autores encontraram um estoque arenoso nesta área que pode ser avaliado em 6,4 bilhões de metros cúbicos. Nesta análise foram encontrados bancos de areia quartzosa de barreiras pleistocênicas afogadas pela subida do nível do mar do Holoceno, bancos paralelos de arenitos (*beach rocks*) e também cascalhos bioclásticos (fragmentos de conchas) e ocorrência de lama (Martins & Urien, 2004).

Em resumo, estes autores indicam que existe sedimento disponível na Plataforma Interna do Rio Grande do Sul que atendem aos critérios para engordamento de praia. Também ressaltaram que para qualquer exploração de sedimento devem ser realizados estudos paralelos de impacto ambiental.

Entretanto, como foi visto no presente estudo, deve ser questionada a viabilidade econômica da realização de engorda de praia com uso de dragagem, visto que este método é bastante dispendioso. Além disso, devem ser destacadas as análises da disponibilidade de bancos arenosos próximos do balneário do Hermenegildo, visto que explorar bancos na plataforma a 100 km de distância do balneário seria bastante oneroso.

Em se tratando de uma análise de sedimentos da plataforma em uma área mais próxima do balneário, recentemente foi realizada uma amostragem de sedimentos no âmbito do Projeto REMPLAC¹⁶. Camargo (2012) realizou uma análise granulométrica dos sedimentos amostrados em frente ao balneário do Hermenegildo e encontrou a presença dominante de silte e argila nas amostras (Figura 34). Segundo Calliari (com. pessoal) esta lama era compacta ao fundo não se apresentando de forma fluída, de modo

¹⁶ REMPLAC - Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira. Foi criado pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, por meio da Resolução nº 004, da CIRM, de 03 de dezembro de 1997. É executado por um comitê executivo coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (fonte: <https://www.mar.mil.br/secirm/remplac.htm>).

que não funciona como agente dissipador da energia de ondas em frente ao local (como ocorre no balneário do Cassino, observado por Pereira, 2010).

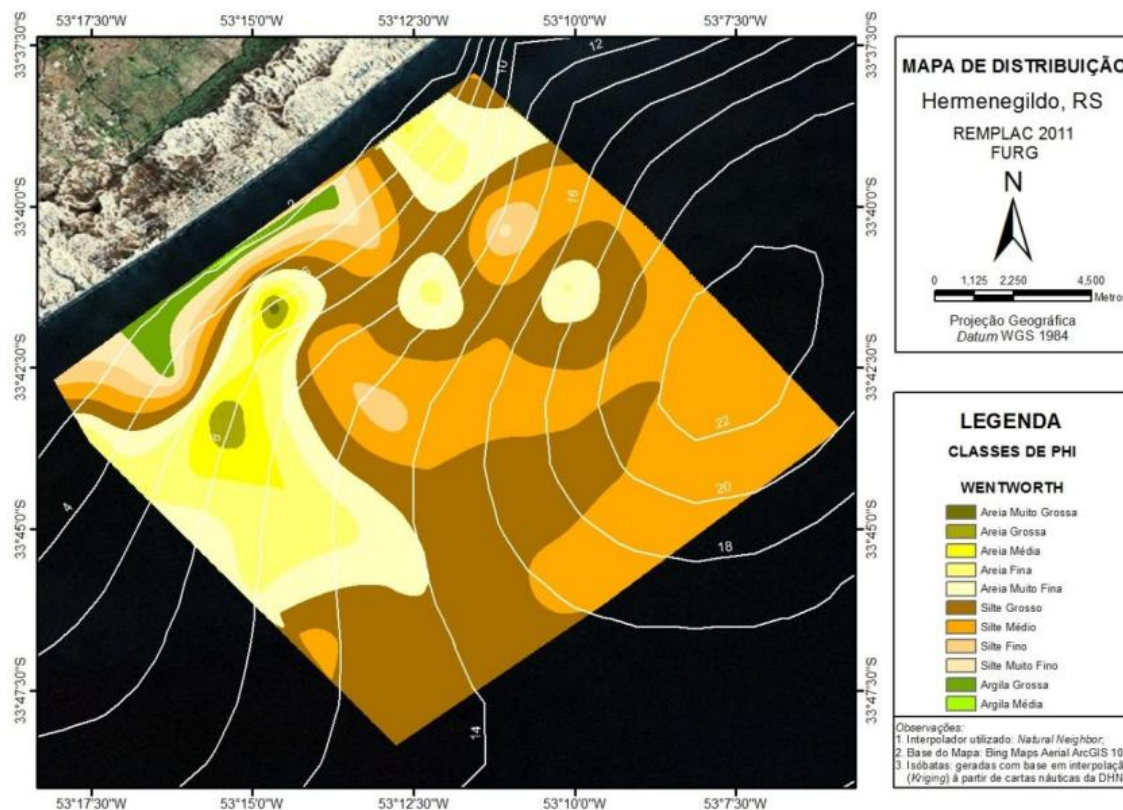


Figura 34 – Mapa de distribuição de sedimentos a partir de interpolação da classificação segundo Wentworth em frente ao balneário do Hermenegildo. Extraído de Camargo (2012).

Dessa forma, percebe-se na Figura 34 que existe sedimento arenoso disponível nas proximidades do balneário do Hermenegildo, porém em quantidades bastante restritas. Além disso, a escavação de um banco arenoso muito próximo do balneário pode gerar impactos incorrigíveis no local. Em outras palavras, ao escavar uma área muito próxima alterando a batimetria local, podem ser gerados novos padrões de refração do raio ondas, aumentando ainda mais a energia das ondas e seus impactos erosivos sobre o balneário.

Para finalizar é importante observar que além destes recursos (rocha e areia), vem sendo utilizado em muitas obras de proteção costeira bolsas de tecidos geotêxteis. Estes

tecidos são bastante resistentes, são permeáveis e podem assumir diferentes formas. Estes tipos de tecidos são bastante interessantes, pois podem ser preenchidos com diversos tipos de sedimento, sem um critério muito específico como é o caso da engorda de praia. Também é apreciável a sua acomodação na forma que for mais conveniente. Por esta flexibilidade de formas, este tecido pode ser usado como grandes tubos que formam espigões, como bolsas em forma de degraus que juntas formam um muro de contenção, ou também como recifes artificiais ou quebra-mares.

Outra vantagem importante é que, dependendo da quantidade e da forma como será utilizado, pode reduzir bastante o custo final do projeto se comparado ao uso de rochas ou areia para engordamento. Informações sobre os geotêxteis e outros materiais podem ser encontrados em Pilarczyk (2000); USACE (2011).

4.7 O processo de manejo da erosão costeira

Um plano de manejo à erosão costeira envolve diversas etapas. Estas etapas se iniciam com a caracterização do problema erosão costeira e do estudo dos fatores morfodinâmicos e antrópicos que causam este problema. Nesta etapa também se deve decidir quais são os interesses da comunidade e dos órgãos públicos na solução do problema, ou seja, se o objetivo é preservar o patrimônio material que está sofrendo danos com a erosão, a segurança pública, amenizar os impactos ambientais causados pela erosão ou se o interesse é manter a praia como uma área recreativa.

Diagnosticado e definido o problema é iniciado o processo de decisão sobre a abordagem que será utilizada para manejá-lo. A abordagem pode ser no sentido de interferir no processo natural, utilizando métodos de proteção e de engenharia costeira ou interferir na atividade humana, ou seja, adaptar-se às mudanças da linha de costa. Outra abordagem possível é não realizar interferência alguma, deixando o mar seguir avançando e cada morador abandonar suas propriedades conforme se tornem inutilizáveis. A opção de não fazer nada pode ser deliberada através de um plano e decidida como a melhor alternativa ou também pode ser realizada sem plano algum. Mas de qualquer forma o monitoramento é importante.

Realizado o projeto de manejo e escolhida a alternativa (ou as alternativas) que será(ão) utilizada(s), inicia-se o processo de adoção formal e do financiamento do programa de manejo. Este financiamento pode ser realizado com recursos federais, estaduais, municipais, com taxas de uma associação de moradores ou até mesmo recursos de empresas privadas. Nesta etapa devem ser realizados os licenciamentos prévios, de instalação e de operação junto ao órgão ambiental competente.

Estudadas as fontes de recursos minerais, de financiamento ou de recursos humanos para planejamento e zoneamento territorial é então implementado o projeto de manejo à erosão. Este projeto deve ser sempre monitorado e passar por uma reavaliação periódica, de modo que o problema seja manejado continuamente mantendo os pontos de sucesso e melhorando os pontos de fracasso.

Uma proposta de um *Mapa das etapas de manejo (Road map)* é apresentada no esquema da Figura 35.

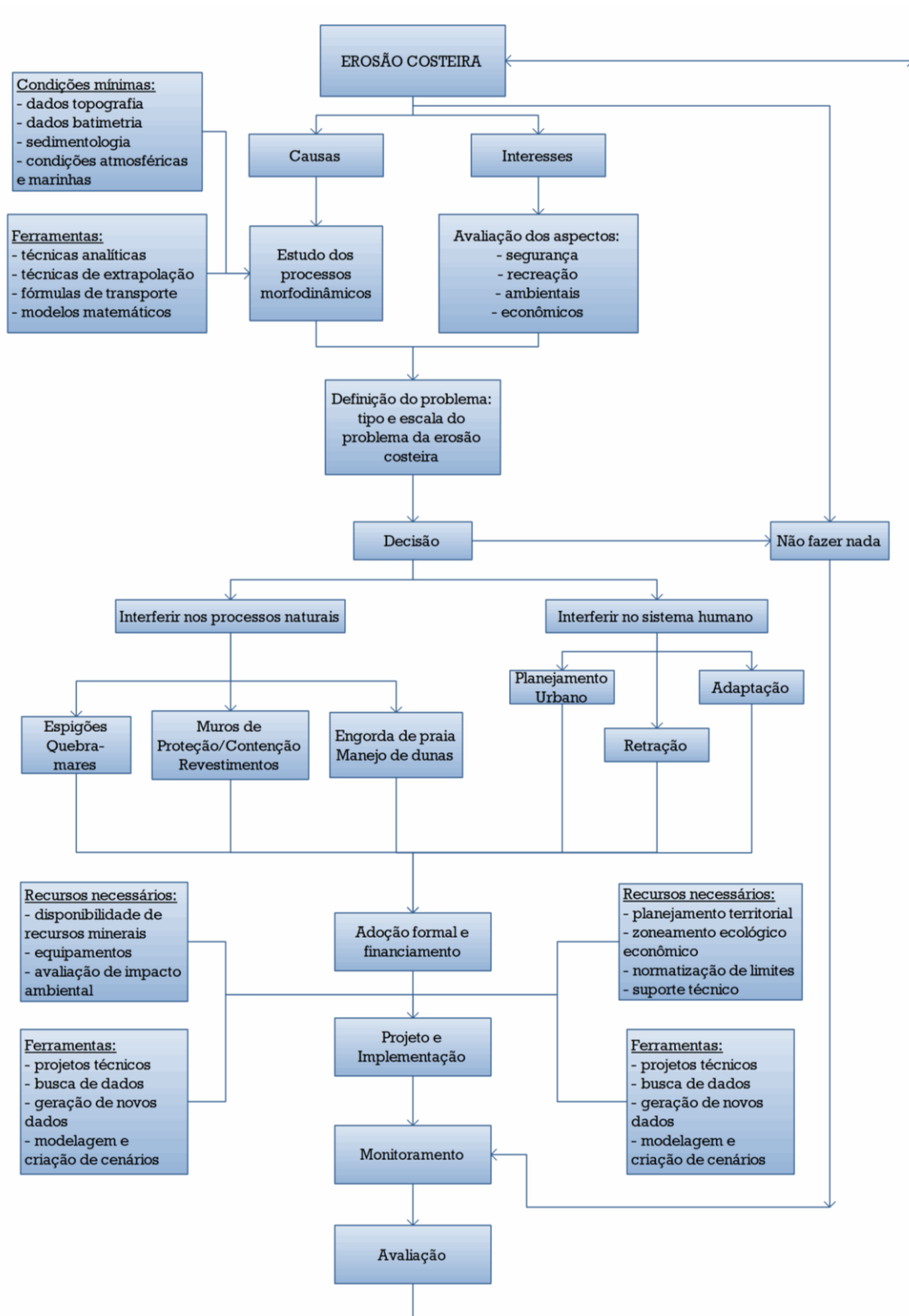


Figura 35 – Mapa das etapas de manejo à erosão costeira. Elaborado pelo autor (inspirado em Pilarczyk, 1990 e Cicin-Sain & Knetch, 1998).

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÕES

Na presente pesquisa foram realizados alguns passos do mapa das etapas de manejo mencionado anteriormente. A elaboração de um plano de manejo é realizada por uma equipe multidisciplinar e por pessoas de todos os setores, desde a comunidade que deve auxiliar na definição dos problemas e dos objetivos que se quer para o plano até as empresas de consultoria e engenharia costeira que implementarão o projeto. Além destes, também estão incluídos os governantes das três esferas, os órgãos ambientais e os pesquisadores das universidades. Dessa forma, não cabe a um gestor ambiental costeiro realizar o Plano de Manejo. O que é possível a uma pessoa é organizar uma possível ideia de um Plano de Manejo e coletar e processar informações científicas. Pode-se gerar novos dados neste processo. E, por fim, o gestor costeiro organiza este conjunto de informações e dá um parecer aos tomadores de decisão. É importante ressaltar que este parecer não é rígido e deve ser trabalhado conforme as decisões vão sendo tomadas.

Seguindo as etapas de manejo apresentadas no esquema da Figura 35, esta pesquisa abrangeu a caracterização e diagnóstico do problema da erosão costeira no balneário do Hermenegildo, identificando as pesquisas já realizadas e algumas lacunas no conhecimento. A partir disso foram analisadas as alternativas de manejo existentes na literatura internacional, discutindo-as como estas poderiam se comportar ao serem implementadas no balneário. Dentro do possível foram inferidos custos econômicos e possíveis reações morfodinâmicas para o local de estudo. A partir desta etapa, cabe aos tomadores de decisão realizar um plano de intervenção ou não para o balneário do Hermenegildo.

Percebe-se que o problema da erosão costeira na praia do Hermenegildo se deve a uma soma de fatores que abrange desde a escala de longo termo até escalas locais e de curto termo. Evidências de elevação do nível do mar estão sendo estudadas e, além disso, existem evidências de que há um balanço sedimentar de longo termo, onde ocorre

perda de sedimentos ao Sul de áreas de projeção da costa do estado (vista em planta) onde a praia do Hermenegildo está inserida, para serem depositadas em áreas onde a linha de costa é côncava. Estas evidências vêm sendo corroboradas por outros estudos como, por exemplo, de que as áreas ao Sul de projeções costeiras são as que possuem maior taxa de transporte litorâneo de sedimentos, ou por evidências estratigráficas de que o balneário do Hermenegildo vem passando por um processo de transgressão há cerca de sete mil anos.

Além disso, existem fatores morfodinâmicos e meteorológicos atuais que ocorrem na praia do Hermenegildo. A plataforma interna em frente às áreas de projeção costeira parece ser mais inclinada e estreita, o que pode ser o motivo pelo qual a praia é classificada como intermediária tendendo a reflexiva, ou seja, um perfil de praia em que as ondas causam bastante turbulência dos sedimentos do fundo, disponibilizando-os à deriva litorânea. Adiciona-se a isso, o fato de que as ondas em frente à área de estudo parecem passar por uma “lente” de convergência de seus raios de onda em função da batimetria no local. Quanto aos fatores meteorológicos, estudos recentes aportaram dados de que nos períodos de outono e inverno é aumentada a ocorrência de ciclones extratropicais no oceano Atlântico. Apesar destes ciclones não terem tido um aumento de sua frequência nos últimos 40 anos, foi descoberto que estes chegam a gerar ondas de 7m em alto-mar quase que uma vez por ano, e não a cada 30 anos como se pensava anteriormente.

Quando se trata de interferências antrópicas, sabe-se que estas ocorrem historicamente no local. Exemplo disso é que areia das dunas foi retirada para a construção das casas do balneário, além de que estas, que antigamente eram móveis, foram fixadas com vegetação, o que possivelmente impede o retorno do sedimento à praia pelos sangradouros. Também existem evidências de que a areia da praia é retirada até hoje para construção das estruturas de proteção costeiras, utilizadas como aterro atrás de muros de madeira ou em grandes sacos dispostos na base da escarpa.

Acredita-se que a turfa existente logo abaixo da superfície da praia do Hermenegildo funciona como uma camada impermeável que impede a absorção da água do espraçamento. Como consequência isto mantém a praia sempre úmida, característica que pode catalisar o processo erosivo. Finalmente, 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 espraiamento 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.

Qualquer que seja a causa do problema erosão no balneário do Hermenegildo, os resultados do questionário mostram que a comunidade interessada quer tomar alguma atitude frente a este problema. Desta maneira, não fazer nada parece ser uma alternativa que não é de interesse da comunidade.

As outras propostas de manejo possíveis são de realizar alguma interferência. Seja na dinâmica da natureza ou na dinâmica do ser humano. Com esta pesquisa pode-se perceber que existe material disponível para a alternativa de se proteger a costa, tanto rochas para seu uso em estruturas rígidas como areia para engordamento de praia. Entretanto, ambas são alternativas de custo elevado. Estratégias podem ser feitas para a redução do custo de obtenção dos recursos minerais, como transportar rochas por via hídrica pela Lagoa Mirim ou então extrair sedimentos de origem continental próxima do Hermenegildo. De qualquer maneira não se pode escapar do custo de manutenção e reposição da obra de proteção, principalmente do engordamento de praia, que necessita uma reposição contínua de sedimentos para ser uma alternativa eficiente.

Ainda se tratando de interferência na dinâmica natural, existe a vantagem de que o balneário do Hermenegildo é um dos poucos balneários em uma grande extensão do litoral, sendo que uma interferência na dinâmica local não acarretaria em danos a balneários próximos dali. Entretanto, devem ser realizados modelos e estudos do possível impacto ambiental que poderia decorrer do aumento da erosão que provavelmente ocorrerá ao norte de estruturas rígidas de proteção.

Quando a interferência é no sistema humano em resposta a uma dinâmica da natureza, esta deve ser realizada com um claro diálogo com a comunidade ali existente. Nesta proposta de manejo, existem algumas abordagens como o planejamento para as próximas construções, a definição de linhas de recuo, adaptação das construções

existentes e, por último, a opção de realocar as construções da beira-mar. Neste ponto, foi identificada uma falta de conhecimento preciso da taxa de recuo existente no balneário do Hermenegildo para poderem ser tomadas decisões. Seguindo o princípio da precaução, seria ideal para o balneário ser adotada uma taxa mais elevada, de 3m/ano de recuo.

Dentro do que é possível e viável ser realizado atualmente pelo governo local, foi identificado o planejamento territorial como uma prioridade, já que neste instrumento não são necessários grandes investimentos ou realocação de casas da orla. Seriam necessários regramentos e controle das novas construções, uma delimitação de taxa de recuo e uma definição de zona de proteção e, para que tudo seja efetivado, uma fiscalização eficiente das novas construções e das antigas que foram destruídas pelo mar, impedindo reformas e reconstruções dentro da zona de proteção.

Havendo disponibilidade de recursos financeiros, qualquer das alternativas se mostrou possível de ser implementada, sendo provavelmente, uma combinação de alternativas a opção mais eficiente, como apresentado no exemplo da praia de Conceição da Barra, no litoral norte do Espírito Santo, onde foram utilizados em conjunto, espigões, quebra-mares e engorda de praia.

De qualquer maneira, necessita-se saber qual o interesse que a comunidade usuária do balneário teria no plano de manejo da erosão da praia do Hermenegildo, já que, dependendo do objetivo, a alternativa ideal pode ser diferente. Por exemplo: Se o objetivo do plano é ter uma praia para recreação, os métodos possíveis para se manter esta praia seriam recuando as estruturas, realizando um engordamento e/ou estabilizando a linha de costa. Se, por outro lado, o objetivo do Plano é proteger as casas da orla, independente de haver uma praia ou não, o ideal seria construir um reforçado muro de contenção em toda a extensão da praia urbanizada.

Sabe-se que o balneário possui aproximadamente 2000 casas e apenas 500 moradores durante todo o ano, ou seja, a maioria das casas permanece vazia durante todo o inverno. Ainda assim, os proprietários das casas à beira-mar não querem mudar suas casas de lugar. Muito provavelmente por terem o prazer de ter uma casa na beira da praia durante verão, valendo pagar pelo risco e danos que passam durante o inverno.

REFERÊNCIAS¹⁷

- Almeida, L. E. S. B., Lima, S. F., & Toldo Jr., E. E. (2006). Estimativa e capacidade de transporte de sedimentos a partir de dados de ondas. In D. Muehe (Ed.), *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: PGGM-Programa de Geologia e Geofísica Marinha. Retrieved from http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008091035.pdf
- Arejano, T. B. (1999). *Análise do regime de ventos e determinação do potencial de deriva de areia no extremo sul do litoral do Rio Grande do Sul - Brasil* (Dissertação de Mestrado) (p. 51). Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
- ASBPA. American Shore & Beach Preservation Association. Science and Technology Comitee. (2011). Reintroducing Structures for Erosion Control on the Open Coasts of America. *Shore & Beach, White Paper*, 10.
- Bandeira, J. V., Salim, L. H., & Acosta, O. E. C. (2008). Long-term morphological impacts on the coastline of Sergipe State, Brazil, caused by the construction of dams in the São Francisco River Basin. B-04 (pp. 1–16). Presented at the International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (COPEDEC), Dubai, UAE.
- Barletta, R. C., & Calliari, L. J. (2002). Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em geociências*, 28(2), 117–124.
- BRASIL. Lei n° 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm] Acessado em março de 2011. Brasília, DF.

¹⁷ As referências estão organizadas de acordo com o método de “*Harvard Educational Review*”.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em [<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>] Acessado em março de 2011. Brasília, DF.

BRASIL. Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7661.htm] Acessado em setembro de 2010. Brasília, DF.

BRASIL. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II. Resolução CIRM nº 005/97. Estabelece normas gerais visando a gestão ambiental da Zona Costeira do País, lançando as bases para a formulação de políticas, planos e programas estaduais e municipais. Cria o Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-Gerco). Disponível em [http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/pngc2.pdf] Acessado em setembro de 2010. Brasília, DF.

BRASIL. Lei nº 3.924, de 26 de julho de 1961. Dispõe sobre os monumentos arqueológicos e pré-históricos. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L3924.htm] Acessado em abril de 2011. Brasília, DF.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm] Acessado em março de 2011. Brasília, DF.

BRASIL. Decreto nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/D5300.htm] Acessado em setembro de 2010. Brasília, DF.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Art. 225. Cap. VI do Meio Ambiente. Disponível em [\[http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm\]](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm) Acessado em março de 2011. Brasília, DF.

Caldasso, A. L. S., Rodrigues, T. L. N., Bachi, F. A., Villwock, J. A., Tomazelli, L. J., & Dehnhardt, B. A. (2000a). Carta Geológica 1:250.000 da Folha de Pelotas, RS (SH.22-Y-D). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Cooperação CPRM/UFRGS/CECO.

Caldasso, A. L. S., Rodrigues, T. L. N., Bachi, F. A., Villwock, J. A., Tomazelli, L. J., & Dehnhardt, B. A. (2000b). Carta Geológica 1:250.000 da Folha de Jaguarão, RS (SI.22-V-A). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Cooperação CPRM/UFRGS/CECO.

Calliari, L. J., Guedes, R. M. ., Pereira, P. S., Lélis, R. J. F., Antikeira, J. A., & Figueiredo, S. A. (2010). Hazards and risks associated to coastal processes along the southern Brazilian coastline: A synthesis. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 14(1), 49–61.

Calliari, Lauro Júlio, & Klein, A. H. F. (1993). Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas Entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas - UFRGS*, 20(1), 48–56.

Calliari, L. J., Pereira, P. S., Oliveira, A. O., & Figueiredo, S. A. (2005). Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Gravel*, 3, 15–30.

Calliari, Lauro Júlio, Muehe, D., Hoefel, F. G., & Toldo Jr., E. (2003). Morfodinâmica praias: uma breve revisão. *Brazilian Journal of Oceanography*, 51(unico), 63–78. doi:10.1590/S1679-87592003000100007

Camargo, R. S. V. (2012). *Distribuição dos sedimentos superficiais e sua possível correlação com paleocanais na plataforma interna do Rio Grande do Sul* (Monografia de conclusão de curso) (p. 69). Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.

- Carmo, J. A. do, Dias, J. A., & Polette, M. (2010). Prefácio: Recifes Artificiais Multifuncionais. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 10(1), 3–5.
- Charlier, R. H., Chaineux, M. C. P., & Morcos, S. (2005). Panorama of the History of Coastal Protection. *Journal of Coastal Research*, 21(1), 79–111.
- Charlier, R. H., & De Meyer, C. P. (1998). *Coastal Erosion Response and Management*. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/978-3-540-60022-0/>
- Christie, P. (2005). Is integrated coastal management sustainable? *Ocean & Coastal Management*, 48, 208–232.
- Cicin-Sain, B., & Knecht, R. W. (1998). *Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts And Practices*. Island Press.
- Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F., & Taveira-Pinto, F. (2009). Potential Effects of Climate Change on Northwest Portuguese Coastal Zones. *ICES Journal of Marine Science*, 66(7), 1497–1507. doi:10.1093/icesjms/fsp132
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil, & MME. Ministério de Minas e Energia. (2006). Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul - Escala 1:750.000.
- Dillenburg, S. R., Roy, P. S., Cowell, P. J., & Tomazelli, L. J. (2000). Influence of Antecedent Topography on Coastal Evolution as Tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research*, 16(1), 71–81.
- Elwany, M. H. S., & Nichols, J. A. (2002). Desert sand: a viable resource for beach nourishment. *Shore & Beach*, 70(3), 21–24.
- EPA. Environment Protection Agency. (2005). *Coastal erosion investigation and management options for South Mission Beach, Cardwell Shire* (p. 31). Queensland Government. Retrieved from <http://www.derm.qld.gov.au/register/p01741ad.pdf>
- ESRI. (2008). *ArcViewGIS 9.3*. USA: Environmental Systems Research Institute. Retrieved from <http://www.esri.com/>

- Esteves, L S, Vranjac, M. P., Barletta, R. C., Pivel, M. A. G., Erthal, S., Vanz, A., Silva, A. R. P., et al. (1999). Impacto de um evento de alta energia nas obras de proteção costeira no balneário do Hermenegildo, RS, Brasil. *VII Congresso da ABEQUA*. Porto Seguro - BA.
- Esteves, L S, Vanz, A., Silva, A. R. P., Pivel, M. A. G., Erthal, S., Barletta, R. C., Vranjac, M. P., et al. (1999). Caracterização das Obras de Proteção Costeira no Balneário do Hermenegildo, RS, Brasil. *VII Congresso da ABEQUA*. Porto Seguro - BA.
- Esteves, Luciana Slomp, Oliveira, U. R. de, Silva, A. R. P. da, Vranjac, M. P., Pivel, M. A. G., Vanz, A., & Barletta, R. do C. (2003). Seasonal Changes in Beach Profile Inducing the Response of Beachfront Owners in Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 557–563.
- Esteves, Luciana Slomp, Pivel, M. A. G., Silva, A. R. P. da, Barletta, R. do C., Vranjac, M. P., Oliveira, U. R. de, & Vanz, A. (2000). Beachfront Owners Perception of Beach Erosion along an Armored Shoreline in Southern Brazil. *Pesquisas em geociências*, 27(2), 97–109.
- Esteves, Luciana Slomp, & Santos, I. R. (2001). Impacto econômico da erosão na praia do Hermenegildo (RS), Brasil. *Pesquisas em geociências*, 28(2), 393–403.
- Esteves, Luciana Slomp, Teixeira, P., & Williams, J. (2008). Managing coastal erosion: from long-term coastal evolution to seasonal shoreline changes. *IAHS-AISH publication*, 325, 516–523.
- Esteves, Luciana Slomp, Toldo Jr., E. E., Dillenburg, S. R., & Tomazelli, L. J. (2002). Long- and Short-Term Coastal Erosion in Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, (ICS 2002 Proceedings) Northern Ireland, SI 36, 273–282.
- FEMA. Federal Emergency Management Agency. (2011). *Coastal Construction Manual: Principles and Practices of Planning, Siting, Designing, Constructing, and Maintaining Residential Buildings in Coastal Areas (Fourth Edition)* (No. P-55) (p. 253). US Department of Homeland Security. Retrieved from <http://www.fema.gov/rebuild/mat/fema55.shtm>

- Figueiredo, S. A., & Calliari, L. J. (2005). Sangradouros: Distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro. *Gravel*, 3, 47–57.
- Fontoura, J. A. S. (2004). *Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da barra do Rio Grande, RS, Brasil (Aplicação às praias do Cassino, Mar Grosso e adjacências dos Molhes Leste e Oeste da embocadura do Estuário da Lagoa dos Patos)* (Tese de Doutorado) (p. 298). Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
- Freire, O. D. da S. (Ed.). (2002). *Projeto orla: fundamentos para gestão integrada*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos/ Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Secretaria do Patrimônio da União. Retrieved from http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/spu/publicacao/081021_PUB_ProjOrla_fundamentos.pdf
- Garrison, T. (2010). *Fundamentos de oceanografia*. São Paulo: Cengage Learning.
- Google. (2011). *Google Earth*. Google Earth Inc. Retrieved from <http://www.google.com/earth/index.html>
- Gruber, N. L. S., Barboza, E. G., & Nicolodi, J. L. (2003). Geografia dos Sistemas Costeiros e Oceanográficos: Subsídios para Gestão Integrada da Zona Costeira. *Gravel*, 1, 81–89.
- Houaiss, A., Villar, M. de S., & Franco, F. M. de M. (2009). *Minidicionário Houaiss da língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva.
- IDRISI Taiga Edition Program Development Team. (2009). *IDRISI Taiga*. Clark Labs, Clark University. Retrieved from <http://www.clarklabs.org/index.cfm>
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2008). *Climate change 2007: synthesis report*. (R. K. Pachauri & A. Reisinger, Eds.). Geneva, Switzerland: IPCC. Retrieved from

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm

- Klein, A. H. da F., Menezes, J. T. de, Diehl, F. L., Abreu, J. G. N. de, Polette, M., Sperb, R. M., & Sperb, R. C. (2006). Santa Catarina: litoral centro norte. In D. Muehe (Ed.), *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: PGGM-Programa de Geologia e Geofísica Marinha. Retrieved from http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008091427.pdf
- Koerner, K. F. (2009). *Variação espaço-temporal em médio e curto termo da orla do balneário do Hermenegildo, RS* (Monografia de conclusão de curso) (p. 63). Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.
- Komar, P. D. (1998). *Beach processes and sedimentation*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Lélis, R. J. F., & Calliari, L. J. (2006). Historical Shoreline Changes Near Lagoonal and River Stabilized Inlets in Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research, SI 39*, 301–305.
- Lima, L. G. (2008). *Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na Praia do Hermenegildo (RS)* (Dissertação de Mestrado) (p. 78). Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
- Lima, S. F., Almeida, L. E. S. B., & Toldo Jr., E. (2001). Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em geociências*, 28(2), 99–107.
- Linham, M. M., & Nicholls, R. J. (2010). *Technologies for Climate Change Adaptation – Coastal Erosion and Flooding*. (X. Zhu, Ed.). UNEP Risoe Centre on Energy, Climate and Sustainable Development. Retrieved from http://tech-action.org/Guidebooks/TNA_Guidebook_AdaptationCoastalErosionFlooding.pdf

- Long, T. (1989). *Le quaternaire litoral du Rio Grande do Sul. Temoin des quatre derniers episodes eustatiques majeurs geologie e evolution*. (Tese de Doutorado) (p. 183). Bordeaux: Université de Bordeaux.
- Machado, A. A., & Calliari, L. J. (2011). Mudanças na zona costeira do Rio Grande do Sul: situação atual e perspectivas. Presented at the II Workshop Brasileiro de Mudanças Climáticas em Zonas Costeiras, Salvador. Retrieved from <http://www.mudancasclimaticas.zonascosteiras.furg.br/workshop/index.php/pt/component/content/article/13-resumos/36-resumos.html>
- Machado, A. A., Calliari, L. J., Melo, E., & Klein, A. H. da F. (2010). Historical assesment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2).
- Maia, Natan Z. 2011. *Avaliação Da Elevação Do Nível Do Mar e Riscos De Inundação Costeira Associados à Passagem De Ciclones No Balneário Hermenegildo, RS*. Dissertação de Mestrado. Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.
- Manso, V. do A. V., Coutinho, P. da N., Guerra, N. C., & Soares Jr, C. F. de A. (2006). Pernambuco. In D. Muehe (Ed.), *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: PGGM-Programa de Geologia e Geofísica Marinha. Retrieved from http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008091035.pdf
- Martins, L. R., & Urien, C. M. (2004). Areias da Plataforma e a Erosão Costeira. *Gravel*, 2(1), 4–24.
- Mendonça, L. F. F. (2010). *Proposta de zoneamento ambiental integrado dos municípios do Chuí brasileiro e Chuy uruguaio* (Monografia de conclusão de curso) (p. 68). Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.
- Muehe, D. (2011). Erosão Costeira - tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 11(3), 315–325.

- Muehe, D. (Ed.). (2006). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, PGGM - Programa de Geologia e Geofísica Marinha. Retrieved from <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=publicacao.publicacoesPorSecretaria&idEstrutura=78>
- NEMA. Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental. (2009). *Plano de Manejo de Dunas Costeiras do Município de Santa Vitória do Palmar - RS*. Santa Vitória do Palmar, RS.
- Neves, C. F., & Muehe, D. (2008). Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias Estratégicas*, 27, 218–295.
- Nordstrom, K. F. (2010). *Recuperação de Praias e Dunas*. Oficina de Textos.
- NRC National Research Council. (1990). *Managing Coastal Erosion*. Washington, D.C.: The National Academies Press. Retrieved from http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=1446
- Oliveira, O. A. (2006). *Banco de dados arqueológicos e paleontológicos no litoral sudeste do Rio Grande do Sul* (Relatório de estágio). Programa PIBIC-FURG (p. 23). Universidade Federal do Rio Grande, FURG.
- Parise, C. K. (2007). *Padrões atmosféricos sinóticos geradores de marés meteorológicas intensas e a resposta morfodinâmica da praia do Cassino*. (Monografia de conclusão de curso) (p. 70). Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.
- Pereira, P. S. (2005). *Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos*. (Dissertação de Mestrado). Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.
- Pereira, P. S. (2010). *Morfodinâmica da praia do Cassino (RS): variabilidade temporal dos bancos arenosos e alterações das ondas pela presença de depósitos lamíticos* (Tese de Doutorado) (p. 131). Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.

- Pilarczyk, K. W. (Ed.). (1990). *Coastal protection: proceedings of the Short Course on Coastal Protection, Delft University of Technology, 30 June-1 July, 1990*. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema.
- Pilarczyk, K. W. (2000). *Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering*. Rotterdam; Brookfield: A.A. Balkema.
- Pilkey, O. H., & Dixon, K. L. (1998). *The Corps and the Shore*. Island Press.
- Plant, N. G., & Griggs, G. B. (1992). Interactions between Nearshore Processes and Beach Morphology Near a Seawall. *Journal of Coastal Research*, 8(1), 183–200.
- Pujadas, R., & Font, J. (1998). *Ordenación y planificación territorial*. Colección Espacios y Sociedades (Vol. 8). Madrid, Espanha: Editorial Síntesis S.A.
- RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 11.520, de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Disponível em [<http://www.al.rs.gov.br/legiscomp/arquivo.asp?Rotulo=Lei%20n%C2%BA%2011520&idNorma=11&tipo=pdf>]. Acessado em março de 2011.
- RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 9.519, de 21 de janeiro de 1992. Institui o Código Florestal do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Disponível em [<http://www.al.rs.gov.br/legiscomp/arquivo.asp?Rotulo=Lei%20n%C2%BA%209519&idNorma=954&tipo=pdf>]. Acessado em março de 2011.
- Schreiner, G. M. (2012). *Avaliação ambiental para definição de zonas de amortecimento de impactos para a Estação Ecológica do Taim, RS* (Dissertação de Mestrado). Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.
- Short, A. D., & Hesp, P. A. (1982). Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. *Marine Geology*, 48(3–4), 259–284. doi:10.1016/0025-3227(82)90100-1
- Silvester, R., & Hsu, J. R. C. (1993). *Coastal stabilization: innovative concepts*. Englewood Cliffs, N.J.: PTR Prentice Hall.

- Simioni, B. I., & Esteves, L. S. (2010). Avaliação Qualitativa do Desempenho dos Recifes Artificiais Multifuncionais (RAM). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 10(1), 127–145.
- Souza, C. R. de G. (2009). A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Conseqüências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In V. L. R. Bononi & N. A. dos Santos Jr. (Eds.), *Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: a síntese de um ano de conhecimento acumulado*. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto de Botânica.
- Souza, C. R. de G., Hiruma, S. T., Sallun, A. E. M., Ribeiro, R. R., & Sobrinho, J. M. A. (2008). “Restinga”: conceitos e empregos do termo no Brasil e implicações na legislação ambiental (1a Edição.). São Paulo: Instituto Geológico. Retrieved from http://www.igeologico.sp.gov.br/ps_down_outros.asp
- Souza, C. R. de G., Souza Filho, P. W. M. e, Esteves, L. S., Vital, H., Dillenburg, S. R., Patchineelam, S. M., & Addad, J. E. (2005). Praias arenosas e erosão costeira. In C. R. de G. Souza, K. Suguio, A. M. dos S. Oliveira, & P. E. de Oliveira (Eds.), *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto, SP: Holos Editora.
- Speranski, N., & Calliari, L. (1998). Padrões de refração para a costa do RS e erosão costeira.
- Speranski, N., & Calliari, L. J. (2006). Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira. In D. Muehe (Ed.), *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: PGGM-Programa de Geologia e Geofísica Marinha. Retrieved from http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008091035.pdf
- Speybroeck, J., Bonte, D., Courtens, W., Gheskiere, T., Grootaert, P., Maelfait, J.-P., Mathys, M., et al. (2006). Beach nourishment: an ecologically sound coastal defence alternative? A review. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16(4), 419–435. doi:10.1002/aqc.733

- Suguio, K. (1973). *Introdução a sedimentologia*. São Paulo: Blucher.
- Tagliani, C. R. A. (1997). *Proposta para o manejo integrado da exploração de areia no município costeiro de Rio Grande - RS, dentro de um enfoque sistêmico* (Dissertação de Mestrado) (p. 158). São Leopoldo, RS: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS.
- Tagliani, C. R. A. (2002). *A mineração na porção média da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Estratégia para a gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado* (Tese de Doutorado) (p. 270). Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
- Tagliani, P. R. A. (1995). *Estratégia de planificação ambiental para o sistema ecológico da restinga da Lagoa dos Patos - Planície costeira do Rio Grande do Sul* (Tese de Doutorado) (p. 229). São Carlos, SP: Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR.
- Teixeira, P. S. (2007). *Subsídios para o Gerenciamento Costeiro por erosão na falésia do Balneário do Hermenegildo, RS, Brasil* (Dissertação de Mestrado). Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.
- Teixeira, P. S. (2012). *Uso do aplicativo Digital Shoreline Analysis System (DSAS) para avaliação da erosão praial no Balneário Hermenegildo, RS, Brasil* (Trabalho de conclusão de curso) (p. 47). Rio Grande, RS: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS.
- Tessler, M. G., & Mahiques, M. M. (2003). Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos. In W. Teixeira, M. C. M. de Toledo, T. R. Fairchild, & F. Taioli (Eds.), *Decifrando a Terra* (2a reimpressão.). São Paulo: Oficina de Textos.
- Toldo Jr., E., Almeida, L. E. S. B., Nicolodi, J. L., & Martins, L. R. (2005). Retração e progradação da zona costeira do estado do Rio Grande do Sul. *Gravel*, 3, 31–38.
- Tomazelli, L. J., & Villwock, J. A. (1992). Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em geociências*, 19(1), 3–12.

- Tomazelli, L. J., & Villwock, J. A. (2000). O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In M. Holtz & L. F. D. Ros (Eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS.
- Tomazelli, L. J., Villwock, J. A., Dillenburg, S. R., Bachi, F. A., & Dehnhardt, B. A. (1998). Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70(2), 221–229.
- Tozzi, H. A. M. (1999). *Influência das Tempestades Extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS* (Dissertação de Mestrado) (p. 115). Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.
- UFPE. Universidade Federal do Pernambuco. (2009). *Projeto MAI. Monitoramento Ambiental Integrado - Avaliação dos processos de erosão costeira nos municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes* (Relatório Final No. 01.05.0935.00). 3 vol. Recife, PE.
- Ugri, A. (2004). *Mudanças em escala histórica das dunas costeiras do extremo sul do Brasil* (Dissertação de Mestrado). Rio Grande, RS: Universidade Federal do Rio Grande, FURG.
- US Army. (1984). *Shore Protection Manual*. Washington, USA: US Army Engineer Waterways Experiment Station.
- USACE. United States Army Corps of Engineers. (2003). *Coastal Engineering Manual* (Engineering Manual No. 1110-2-1100). Mississippi, USA: CERC Coastal Engineering Research Center.
- USACE. United States Army Corps of Engineers. (2004). *Low Cost Shore Protection: A Property Owner's Guide*. The Minerva Group, Inc.
- USACE. United States Army Corps of Engineers. (2011). *Coastal Engineering Manual* (Engineering Manual No. 1110-2-1100 Change 3 - Part VI). Mississippi, USA: CERC Coastal Engineering Research Center.

- Vera-Cruz, D. (1972). Artificial nourishment of Copacabana Beach. *Proceedings 13th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineering, NY* (pp. 1451–1463). Retrieved from <https://journals.tdl.org/ICCE/article/viewFile/2823/2487>
- Vidal, F. D. C. (2008). *Vamos ao Hermenegildo?* Pelotas, RS: Editora e Gráfica Universitária PREC - UFPel.
- Villwock, J. A. (1984). Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. *Pesquisas, 16*, 5–49.
- Villwock, J. A., & Tomazelli, L. J. (1995). Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas, CECO/IG/UFRGS. Porto Alegre, RS, 8*, 1–45.
- Weill, M. de A. M., & Neto, A. G. P. (2007). Erosão e assoreamento. In R. F. dos Santos (Ed.), *Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?* (p. 196). Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental e Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano.
- Wright, L. ., & Short, A. . (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology, 56*(1–4), 93–118. doi:10.1016/0025-3227(84)90008-2
- Wright, L. D., & Short, A. D. (1991). Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In P. D. Komar (Ed.), *CRC Handbook of coastal processes and erosion* (4a Reimpressão.). Boca Raton, Fla.: CRC Press.

ANEXOS

Anexo 1

Avaliação de alguns consensos comuns relativos à proteção costeira. Modificado de Dean (1986 apud Pilarkzyck, 1990).

Consenso		Avaliação
Uma estruturação da costa onde existe um estresse erosivo causa um aumento no estresse erosivo nas praias adjacentes à estruturação	Verdade	Pela prevenção da faixa costeira da erosão, as praias adjacentes à estruturação dividem grande parte do total do mesmo estresse erosivo.
Estruturação costeira em áreas onde existe um estresse erosivo faz com que a praia à sua frente diminua	Verdade	A estruturação costeira é projetada para proteger a faixa costeira, mas não previne a erosão do perfil aquático à sua frente. Dessa forma, uma praia erosiva vai continuar erodindo. Se a estruturação não tivesse sido implementada, a largura da praia permaneceria aproximadamente a mesma mas, com o passar do tempo, migraria progressivamente em direção ao continente.
Estruturação da costa causa uma aceleração da erosão na praia submersa em frente à estrutura	Provavelmente Falso	Não existem dados ou conhecimentos que suportam este assunto.
Uma estruturação costeira isolada pode acelerar a erosão na praia ao fim da estrutura	Verdade	Se uma estrutura isolada é construída em uma praia em erosão, esta estrutura pode se projetar para dentro da praia ativa funcionando de certa forma como um espigão, interrompendo o transporte litorâneo e erodindo a praia a sotamar da estrutura.
A estruturação costeira causa um grande atraso na recuperação da praia após as tempestades	Provavelmente Falso	Não existem dados ou conhecimentos que suportam este assunto.
A estruturação costeira faz com que o perfil da praia se torne drasticamente escarpada	Provavelmente Falso	Não existem dados ou conhecimentos que suportam este assunto.
Uma proteção costeira construída bem atrás de uma praia estável é prejudicial à praia e não tem um propósito útil	Falso	"Com o fim de dispor algum efeito significativo sobre as praias". Além disso, estruturas dispostas bem atrás de uma zona ativa pode prover segurança para as construções em casos severos.

Anexo 2

Lista contendo as 11 regras recomendadas por USACE (2003) quanto à implementação de um espigão ou uma série de espigões:

1. *Se os processos de transporte de sedimento transversais forem os dominantes, considere sistemas de quebra-mares costeiros primeiro.*
2. *Espigões não criam e nem destroem sedimentos, apenas conservam sedimento do transporte.*
3. *Para evitar erosão das praias adjacentes, sempre inclua engordamento de praia do projeto.*
4. *Conseguir uma taxa de praia seca mínima em eventos de tempestade é um indicador de sucesso.*
5. *Começar com $Xg/Yg = 2-3$, onde Xg é o espaçamento entre os espigões e Yg é o comprimento efetivo do espigão no mar, para projetar a linha de costa que será preenchida no tempo da construção.*
6. *Usar um moderno modelo numérico de simulação (e.g. GENESIS) para estimar a diferença das linhas de costa ao utilizar um espigão ou um conjunto de espigões.*
7. *Usar um modelo de transporte sedimentar transversal (cross-shore e.g. SBEACH) para estimar a largura de praia mínima Y_{min} durante os eventos de tempestade.*
8. *Transferir o sedimento (bypass), estruturas permeáveis e o balanço entre as taxas de transporte litorâneo líquida e bruta são os três fatores chave no desenho funcional. Usar um modelo de simulação para iterar um projeto final para cumprir o critério Y_{min} .*
9. *Considerar a extremidade afilada, planforms/plataformas alternadas e transversais para minimizar os impactos nas praias adjacentes.*
10. *Estabelecer um consistente monitoramento para observar se o projeto foi bem sucedido e os impactos de praia adjacentes.*
11. *Criar um mecanismo emergencial de decisões para providenciar modificação (ou remoção) das estruturas se os impactos das praias adjacentes encontrarem-se inaceitáveis.*