

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

**ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO COSTEIRA:
ESTUDO DE CASO ENSEADA DO ITAPOCORÓI - SC**

por

VANESSA BARBOSA MACHADO

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica

Rio Grande, Setembro, 2018

**ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO COSTEIRA:
ESTUDO DE CASO ENSEADA DO ITAPOCORÓI - SC**

por

VANESSA BARBOSA MACHADO

Bacharel em Oceanografia

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO), da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), como parte dos requisitos necessários para à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Área de Concentração: Engenharia Costeira

Orientador: Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein

Aprovada por:

Prof. Dr. Paulo Roberto de Freitas Teixeira – PPGEO/FURG

Prof. Dr. João Thadeu de Menezes – UNVALI

Prof. Dr. José Antônio Scotti Fontoura – FURG

Prof^a. Dr^a. Natália Lemke – FURG

Prof. Dr. Liércio André Isoldi

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

Rio Grande, 27 de setembro de 2018

VANESSA BARBOSA MACHADO

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de:

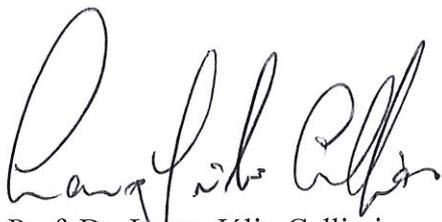
MESTRE EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Tendo sido aprovada em sua forma final pela Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica



Prof. Dr. Liércio André Isoldi
Coordenador do PPGeo - FURG

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari
Orientador – FURG



Prof. Dr. Paulo Roberto de Freitas Teixeira
Membro Interno - PPGeo / FURG



Prof. Dr. João Thadeu de Menezes
Membro Externo via Skype - UNIVALI



Prof. Dr. José Antônio Scotti Fontoura
FURG



Prof.ª Dr.ª Natália Lemke
FURG

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela realização desta fase.

A minha família, especialmente minha mãe, pelo incentivo e apoio.

Aos professores Calliari e Klein, pela confiança ao aceitarem a orientação a distância.

Ao Felipe e família (pelo suporte e carinho), ao Eduardo (pelo apoio na execução do trabalho), ao Simãozinho e Thiago (pelos campos e imagens), a Thelma, Charline e Gaúcho (pelos dados), fundamentais na concretização deste projeto.

Aos meus amigos Rafael, Samuel, Alvaro, Davi, Rebeca, Jaque e Monique pelas longas conversas e momentos de descontração.

Agradeço a todos aqueles que me ajudaram e incentivaram durante este período!

RESUMO

No presente estudo foram avaliados os impactos decorrentes das obras de defesa do litoral implantadas na Enseada do Itapocorói – SC. Para isto, as estruturas costeiras foram classificadas segundo modelo baseado no histórico das diferentes práticas de engenharia costeira, e foram comparados os principais impactos das estruturas no meio ambiente e seu valor na preparação as mudanças climáticas. A análise das diferentes etapas de implantação dos projetos realizados nessa região foi efetuada segundo o Processo de Planejamento e Design, descrito no *Coastal Engineering Manual* (CEM) e legislação brasileira aplicável. Cadastro-diagnóstico, associado à fotointerpretação e análise de imagens de satélite, foi utilizado para verificação dos impactos na dinâmica costeira local causados pelos diferentes tipos de obras implantadas na linha de costa. Na região, inicialmente foram adotadas estruturas rígidas e fixas, como muros de contenção e espigões. Com o passar do tempo, foram adotadas “soluções baseadas na natureza”, representadas pela alimentação artificial realizada ao longo dos anos. No último projeto, observa-se o retorno ao uso de soluções rígidas, através da combinação do aterro hidráulico com dois espigões. Os principais impactos identificados correspondem à alteração do perfil praiial, em decorrência da existência de infraestruturas físicas, especificadamente estruturas rígidas e obras de aterro hidráulico. Nos projetos de recuperação praiial realizados na Enseada do Itapocorói não foram consideradas estimativas de variação do nível médio do mar. As soluções adotadas possuem orientação de curto prazo, associadas a estado de calamidade pública. Com base no conhecimento adquirido durante a execução do projeto foi realizada a avaliação de um Roteiro-Guia para a implantação de medidas de proteção junto às praias arenosas e proposta uma metodologia de orientação para a implantação de medidas de adaptação costeira.

Palavras-chave: *Estruturas Costeiras; Mudanças climáticas; Impactos na costa; Modelo de classificação.*

ABSTRACT

In the present study, the impacts of the coastal engineering structures implanted in the Itapocorói Bay - SC. For this, the coastal structures were classified according to the model based on the history of the different coastal engineering practices, and the main impacts of the structures on the environment and their value in the preparation for climate change were compared. The analysis of the different stages of implementation of the projects in this region was carried out according to the Planning and Design Process described in the Coastal Engineering Manual (CEM) and applicable Brazilian legislation. Cadastre-diagnosis, associated with photo interpretation and satellite image analysis, were used to verify the impacts on the local coastal dynamics caused by the different types of works implanted in the coastline. In the region, initially rigid and fixed structures were adopted, such as seawalls and groins. Over time, "nature-based solutions" have been adopted, represented by nourishment over the years. In the last project, the return to the use of rigid solutions is verified, by the combination of the nourishment with two groins. The main impacts identified correspond to beach profile changes, due to the existence of physical infrastructures, particularly rigid structures and nourishment. In the public coastal projects executed at Itapocorói Bay, estimates of variation of the mean sea level were not considered. The solutions adopted have a short-term orientation, associated to a state of public calamity. Based on the knowledge acquired during the execution of the project, the evaluation of a guide for the implementation of protection measures along the sandy beaches was carried out and a script-guide was proposed for the implementation of coastal adaptation measures.

Keywords: Coastal Structures; Climate changes; Impacts on the coast; Classification model.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
SUMÁRIO.....	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE QUADROS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS	xix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. EMBASAMENTO TEÓRICO.....	4
3.1 – Obras de Engenharia Costeira	4
3.1.2 – Padrão de Distribuição das Obras de Engenharia Costeira no Litoral de Santa Catarina.....	8
3.1.2 – Impactos das Obras sobre a Linha de Costa e Dinâmica Costeira	11
3.2. – Elevação do Nível Médio do Mar e Ocorrência de Eventos Extremos.....	12
3.2.1 – Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira	17
3.2.2 – Estratégias de Adaptação às Mudanças Climáticas.....	20
3.2.3 – Relação entre Aumento do Nível do Mar e Estimativas de Custos das Medidas de Proteção Costeira	22
3.2.4 – Política Nacional sobre Mudança do Clima	24
3.3 – Legislação Ambiental.....	25
3.3.1 – Gerenciamento Costeiro Integrado.....	26

3.3.2 – Gestão da Orla Marítima	27
3.3.3 – Gerenciamento Costeiro e Licenciamento de obras	30
3.3.4 – Processo de Licenciamento de Obras no Brasil.....	33
3.3.5 – Legislação Ambiental incidente no Licenciamento de Obras Costeiras	38
3.4. Manual de Engenharia Costeira (CEM)	40
4. ÁREA DE ESTUDO	41
4.1 – Caracterização da Área de Estudo:	41
4.1.1 – Contexto geológico e geomorfológico	42
4.1.2 – Caracterização geral das praias pertencentes à Enseada do Itapocorói	44
4.2 – Processos costeiros atuantes na área de estudo	45
4.2.1 – Características climáticas	45
4.2.2 – Aspectos Oceanográficos	46
4.2.2.1 – Marés e Cota de Inundação	46
4.2.2.2 – Clima de Ondas Regional e Local	47
4.2.2.3 – Correntes de Deriva Litorânea.....	50
4.3 – Processo evolutivo da ocupação da área de estudo	52
4.4 – Considerações sobre o Plano Diretor e o Zoneamento da área de estudo	53
4.4.1 – Plano Diretor do Município de Balneário Piçarras.....	53
4.4.2 – Plano Diretor do Município de Penha	55
5. METODOLOGIA.....	56
5.1 – Construção das Fases de Pesquisa:	56
5.2 – Classificação das Obras de Engenharia Costeira – Fase 01	58
5.3 – Análise dos Projetos das Obras – Fase 02	58
5.3.1 – Cenários de Elevação do Nível Médio do Mar.....	62
5.3.1.1 – Perfil Praial de Equilíbrio	62
5.3.1.2 – Retração da Linha de Costa	63

5.3.1.3 – Relação entre Aumento do Nível do Mar e Estimativas de Custos de Defesa Costeira.....	64
5.4 – Avaliação e Elaboração de um Roteiro-Guia para a Implantação de Medidas de Adaptação Costeira junto às Praias Arenosas e Canais Estuarinos – Fase 03.....	66
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
6.1 – Estudo de Caso: Enseada do Itapocorói	67
6.1.1 – Evolução da Linha de Costa	71
6.1.2 – Classificação das Obras de Engenharia Costeira.....	75
6.1.3 – Impactos sobre a Dinâmica Sedimentar e demais Impactos Associados	78
6.1.4 – Comparação entre os Projetos de Proteção Costeira	87
6.1.4.1 – Projeto INPH 14/92:	88
6.1.4.2 – Projeto PROSUL/2007:	90
6.1.4.3 – Projeto PMBP/2011:.....	92
6.1.5 – Legislação Ambiental	97
6.1.6 – Cenário de Elevação do Nível Médio do Mar	101
6.1.6.1 – Análise do Perfil Praial.....	101
6.1.6.2 – Cálculo do Volume do Projeto	105
6.1.7 – Comparação de Custos das Medidas de Proteção	107
6.1.8 – Prognóstico sobre métodos de contenção futuros na Praia de Piçarras.....	111
6.2 – Avaliação e Elaboração de um Roteiro-Guia para a Implantação de Medidas de Adaptação Costeira junto às Praias Arenosas e Canais Estuarinos.....	120
6.2.1 – Principais Impedimentos ao Sucesso das Medidas de Adaptação Costeira ..	121
6.2.2 – Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira	122
6.2.3 – Roteiro de Estudos Prévios para Implantação de Medidas de Adaptação Costeira	130
6.2.3.1- Levantamento de Dados para a Implantação do Projeto	131
6.2.3.2 - Levantamento de Dados para o Monitoramento do Projeto.....	133
6.2.3.3 – Processo de Planejamento	135

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	140
7.1 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	142
8. REFERÊNCIAS	143
APÊNDICE A – ANÁLISE DE PROJETOS DE RECUPERAÇÃO PRAIAL – CEM... 155	
APÊNDICE B – ROTEIRO PARA IMPLANTAÇÃO DE OBRAS COSTEIRAS	164
ANEXO I – PRINCIPAIS MODELOS DE CLASSIFICAÇÃO DE OBRAS DE ENGENHARIA COSTEIRA	166
ANEXO II – METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE PROJETOS CEM (2002)	171
ANEXO III – PERFIS PRAIAIS – MONITORAMENTO DE MACROESCALA	175
ANEXO IV – ORÇAMENTO ESTIMATIVO DOS PROJETOS DE PIÇARRAS	176
ANEXO V – LEGISLAÇÃO AMBIENTAL – ÁREAS COSTEIRAS.....	180
ANEXO VI – PARÂMETROS CHAVES – OBRAS COSTEIRAS	187
ANEXO VII – VARIÁVEIS E TÉCNICAS PARA DESIGN E MONITORAMENTO – OBRAS COSTEIRAS	196

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração esquemática das estratégias clássicas de adaptação ao aumento do nível do mar: Proteção, Acomodação e Recuo. A linha pontilhada representa o nível do mar futuro. As casas e vegetações na cor cinza indicam a localização anterior ao reposicionamento ou migração natural. Adaptado de Linham <i>et al.</i> , 2010.	5
Figura 2: Ilustração do diagrama de classificação adaptado de Hill (2015). O eixo vertical é definido pela percentagem da infraestrutura física proposta que utiliza estruturas rígidas versus obras de aterro. O eixo horizontal é definido pela percentagem de componentes do design que são fixos versus móveis.	6
Figura 3: Os quatro tipos básicos de infraestrutura física podem ser relacionados com a região adjacente, incluindo distritos urbanos com diferentes níveis de vulnerabilidade e ecossistemas (ex. zonas úmidas, costas rochosas, praias arenosas e solos contaminados) (Hill, 2015).	8
Figura 4: Aumento global previsto do nível médio do mar para cada cenário. Fonte: IPCC-AR5 (2014).	13
Figura 5: Estimativa do nível médio do mar para Santa Catarina, cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, a partir da diferença entre os períodos 1986-2005 e 2081-2100. Fonte: CEPAL (2015).	15
Figura 6: Vulnerabilidade do setor centro norte da Região Sul. A topografia, a densidade populacional e os fatores socioeconômicos determinam graus de vulnerabilidade médio a alto. Fonte: Nicolodi & Petermann (2010).	19
Figura 7: Efeitos da taxa de aumento do nível do mar na elevação periódica do dique. Esquerda: aumento linear do nível do mar: a elevação periódica permanece constante. Direita: elevação exponencial do nível do mar: a elevação periódica aumenta ao longo do tempo. Fonte: Jonkman <i>et al.</i> , 2013.	23
Figura 8. Localização da área de estudo. Coordenadas Datum SAD-69. Fonte: Araujo, 2008.	42
Figura 9: Perfil transversal esquemático (E-W) característico dos sistemas deposicionais do tipo Laguna Barreira (VILLWOCK <i>et al.</i> , 1986).	43
Figura 10: Sistema Depositional Laguna Barreira III - Enseada do Itapocorói. Nota-se o meandramento do rio para contornar essa formação sedimentar e desaguar no sul da enseada. Fonte: Silva, 2012.	44

Figura 11: Avaliação do sistema de correntes na área de estudo gerada por uma onda associada à condição de uma tempestade, na maré alta, ondas de ESE. Fonte: Almeida (2013).	52
Figura 12: Funções de custo para três medidas de defesa costeira para a Holanda (de Hoozemans, Marchand e Pennekamp, 1993). Fonte: Jonkman <i>et al.</i> (2013).	65
Figura 13: Carta temática das obras de engenharia costeira realizadas na Enseada do Itapocorói. Modificado de Machado (2010).	70
Figura 14: Carta temática representando os perigos integrados para a Enseada do Itapocorói. (L0) linha de costa atual; (L50) linha da costa devido à TEC; (L50c) linha devido a uma aceleração na subida do nível do mar; e mais ao interior, (L50T) são linhas de tempestades e, em hachurado, áreas potenciais de inundações. Fonte: Freitas Neto <i>et al.</i> (2010).	72
Figura 15: Distribuição das seis medidas de proteção adotadas na Enseada do Itapocorói, conforme modelo de classificação proposto por Hill (2015).	75
Figura 16: Muros de contenção implantados na Enseada do Itapocorói.	80
Figura 17: Imagens aéreas do espigão de Piçarras, obtidas através do uso de drone. Fonte: Thiago Martins (2017).	81
Figura 18: Imagens aéreas do espigão Norte de Piçarras, obtidas através do uso de drone. Fonte: Thiago Martins (2017).	82
Figura 19: Imagens aéreas do espigão Sul de Piçarras, obtidas através do uso de drone. Fonte: Thiago Martins (2017).	82
Figura 20: Comparação do comportamento do sistema circulatório ocasionado por ondas associadas a condições de temporal ($H_{s12}=2.4m$; $T_{p12}=13.2s$; Nível do mar= 1.2m) proveniente de ENE, (A) antes da implementação do projeto e (B) após a implementação do projeto. Fonte: Almeida (2013).	84
Figura 21: A. Forma em planta de equilíbrio (linha azul) da futura praia Norte, com a respectiva linha de $h^*=3.1m$ (linha laranja). B. Forma em planta de equilíbrio (linha azul) da futura praia Sul, com a respectiva linha de $h^*=2,5m$ (linha laranja). Linha vermelha pontilhada = tendência de retração da praia contida pelos diques. Fonte: Almeida (2013).	84
Figura 22: Área de Preservação Permanente na região sul de Piçarras. Fonte: Machado (2017).	87
Figura 23: Perfil de equilíbrio nos três setores da Enseada do Itapocorói – ANTERIOR AOS PROJETOS DE ALIMENTAÇÃO – Dados: JICA (1990).	102

Figura 24: Perfil de equilíbrio nos três setores da Enseada do Itapocorói – POSTERIOR AOS PROJETOS DE ALIMENTAÇÃO – Dados: GARDELIN (2010).....	103
Figura 25: Perfil de equilíbrio na ZEA da Praia de Piçarras – ANTERIOR E POSTERIOR AO PROJETO DE ALIMENTAÇÃO DE 2008 – Dados GARDELIN (2010).....	104
Figura 26: Alternativas de recuperação praial. A. Alternativa 1 para obter uma praia em equilíbrio estático e a futura profundidade de fechamento ($h^* = 2,5\text{m}$, linha laranja). B. Alternativa 2 para obter duas praias em equilíbrio estático e a futura profundidade de fechamento ($h^* = 3.1\text{m}$ para o espigão intermediário e $h^* = 2.5\text{m}$ para o molhe da desembocadura, linha laranja). Fonte: Almeida (2013).	113
Figura 27: Alternativas de Recuperação Praial. A. Localização do quebra-mar submerso. B. Localização do quebra-mar no promontório. Fonte: Hendriks <i>et al.</i> (2017).....	117
Figura 28: Processo de Reconstrução Costeira. Fonte: BRASIL (2018).	123
Figura 29: Análise do Projeto de Recuperação Praial – INPH 14/92.....	155
Figura 30: Análise do Projeto de Recuperação Praial – PROSUL (2007).....	158
Figura 31: Análise do Projeto de Recuperação Praial – PMBP (2011).....	161
Figura 32: Roteiro de Estudos Prévios para Implantação de Medidas de Adaptação Costeira.	164
Figura 33: Processo de Planejamento e Desenho de Projetos Costeiros. Fonte: Machado (2010, modificado de CEM, 2002).....	172
Figura 34: Perfis praias (perfil 01 ao perfil 25) obtidos durante o monitoramento de macroescala (agosto de 2007 a agosto 2010). Fonte: Prado (2011).	175

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Setores da Enseada do Itapocorói e respectivas profundidades de fechamento.	101
Tabela 2: Tamanho mediano do grão utilizado e parâmetro de escala de sedimento A teórico.	101
Tabela 3: Tamanho médio do grão utilizado e parâmetro de escala de sedimento A teórico.	104
Tabela 4: Volume de projeto atual e para o período de 50 anos calculado para Praia Alegre e Piçarras.....	106
Tabela 5: Custo unitário das medidas de defesa costeira, convertidos para valores de 2009 e respectivas referências. Fonte: Jonkman <i>et al.</i> (2013).....	108
Tabela 6: Comparação dos custos unitários, conforme determinado pelo IPCC CZMS (1990) e Hoozemans, Marchand e Pennekamp (1993) com estimativas de custo de Jonkman <i>et al.</i> (2013) para a Holanda (em valores de 2009).	110
Tabela 7: Comparação dos custos unitários para Holanda, Nova Orleans e Vietnã do estudo de Jonkman <i>et al.</i> (2013) com estimativas de custos para outros países de Linham <i>et al.</i> (2010) (em valores de 2009).....	111
Tabela 8: Principais tipos de estruturas costeiras e suas características. Modificada de OSPAR (2009).....	166
Tabela 9: Análise comparativa entre as estratégias de Acomodação, Proteção e Recuo (Bello, 2016).....	169
Tabela 10: Ilustra a gama de estratégias de adaptação costeiras e as opções de adaptação disponíveis para os gestores costeiros. (Berry, 2013).	170
Tabela 11: Orçamento estimativo do aterro emergencial. Fonte: Prosul (2007).....	176
Tabela 12: Orçamento estimativo para o projeto de recomposição da orla. Fonte: Prosul (2007).	177
Tabela 13: Orçamento estimado para as obras de engordamento e recuperação da praia de Piçarras, Balneário Piçarras, SC (ACQUAPLAN, 2011).....	177
Tabela 14: Orçamento estimado para a execução de espigões na praia de Piçarras, Balneário Piçarras, SC (ACQUAPLAN, 2011).	178

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplo de intervenções costeiras e seus impactos na dinâmica costeira (Retirado de Farinaccio, 2008).	11
Quadro 2: Elevação do nível médio do mar para cada cenário do RCP (IPCC-AR5, 2014).	12
Quadro 3: Modelo da matriz de impactos das obras de engenharia costeira, adaptada de Farinnacio & Tessler (2010).	61
Quadro 4: Obras costeiras realizadas na Enseada do Itapocorói. Compilado de Hoefel (1998), Araújo (2008) e Machado (2010).	68
Quadro 5: Quadro de evolução e projeção da linha de costa na Enseada do Itapocorói, SC. Estudos de Camargo (2009), Araujo <i>et al.</i> (2010) e Freitas Neto (2010).	73
Quadro 6: Matriz de impactos das obras de engenharia costeira na Enseada do Itapocorói.	79
Quadro 7: Dados e fontes utilizadas no cálculo do volume do projeto de alimentação. ...	105
Quadro 8: Modelo funcional adaptado por Machado (2010), utilizando os modelos desenvolvido por Klein <i>et al.</i> (2005) e Farinaccio (2008).	168
Quadro 9: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Alimentação Praial, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Alfredini (2005), Brower e Dean (2002), Campepbell e Benedet (2004), Dean (1997, 2002) e USACE (2002b).	187
Quadro 10: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Paredão e Revestimento Longitudinal, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Tanimoto (1994), Alfredini (2005), CEM (2002), Goda (2009) e Herbich (1992).	189
Quadro 11: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Quebramar, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Dally e Pope (1986), Papa e Dean (1986), Ahrens (1987), Hattori e Sakai (1994), Juhl e Preguiça (1994).	190
Quadro 12: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Espigões e Campo de Espigões, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Alfredini (2005), CEM (2002), Özölçer <i>et al.</i> (2006), Schoones <i>et al.</i> (2006) e Fitzgerald (2010). ..	192
Quadro 13: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo <i>Bypassing</i> , elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Todd <i>et al.</i> (2005) e Silvester (1985).	194

Quadro 14: Variáveis principais e secundárias para o design de medidas de adaptação. Fonte: ZHU <i>et al.</i> , 2010.....	196
Quadro 15: Potenciais fontes de conhecimento para os parâmetros requeridos no Quadro 14. Fonte: ZHU <i>et al.</i> , 2010.....	198
Quadro 16: Requisitos de avaliação do monitoramento de medidas de adaptação. Fonte: ZHU <i>et al.</i> , 2010.....	200
Quadro 17: Técnicas e ferramentas específicas para o monitoramento das medidas de adaptação. Fonte: ZHU <i>et al.</i> , 2010.....	201

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG – Agências

AJB – Águas Jurisdicionais Brasileiras

APP – Áreas de Preservação Permanente

ATAS – Anticiclone Tropical do Atlântico Sul

APM – Anticiclones Polares Migratórios

CEPAL – Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe

CEM – *Coastal Engineering Manual*

CGI – Comitê Gestor Integrado para o Planejamento Territorial da Região Costeira

CIRM – Comissão Interministerial para os Recursos do Mar

CMIP – Coupled Model Intercomparison Project

COI – Comissão Oceanográfica Intergovernamental

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Capitânicas

DL – Delegacias

GCI – Gerenciamento Costeiro Integrado

EIA – Estudo de Impacto ambiental

GEE – Gases do Efeito Estufa

GERCO – Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro

GI-GERCO – Grupo de Integração para o Gerenciamento Costeiro

GIZC – Gestão Integrada da Zona Costeira

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

km – quilômetro

LI – Licença de Instalação

LO – Licença de Operação

LP – Licença Prévia

m – metro

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NORMAM – Norma da Autoridade Marítima

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PEGC – Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro
PGI – Planos de Gestão Integrada
PGZC – Plano de Gestão da Zona Costeira
PMDU – Plano Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável
PMGC – Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro
PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente
PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNGC – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PNRM – Política Nacional de Recursos do Mar
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
RQA – Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira
s – segundo
SDM – Secretaria do Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente de Santa Catarina
SEMA – Secretaria Especial do Meio Ambiente
SIGERCO – Sistema de Informação de Gerenciamento Costeiro
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMA – Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira
SOL – Secretaria de Estado do Turismo, Cultura e Esporte
SPU – Secretaria do Patrimônio da União
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USACE – Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América
ZEA – Zona de Erosão Acentuada
ZEEC – Diagnóstico Socioambiental, Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro
ZEIP – Zonas Especiais de Interesse Público
ZPA – Zona de Preservação Ambiental
ZPP – Zona de Preservação Permanente
ZTA – Zoneamento Turístico Ambiental

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Parâmetro de velocidade de sedimentação do grão

B – Altura da berma

E – Elevação do nível do mar

h – Profundidade através da costa em uma determinada distância y

h^* – Profundidade de fechamento interna

k – Coeficiente adimensional

L – comprimento

L_{hf} – Distância do perfil até a profundidade de fechamento interna

m – Coeficiente adimensional

y – Distância

Δy – Retração da linha de costa

R – Retração decorrente da elevação do nível do mar

V – Volume de sedimento por metro de praia

VD – volume dragado (m^3)

VS – volume de sedimentos (m^3).

1. INTRODUÇÃO

A geomorfologia e ecologia de sistemas costeiros são modificadas em resposta a construção e manutenção de estruturas costeiras (NORDSTROM, 2014). Ao longo do próximo século, espera-se um aumento nos investimentos em obras costeiras, devido a fatores como maior vulnerabilidade das áreas envolvidas a enchentes e inundações, salinização da água para consumo, perdas dos ecossistemas por erosão e urbanização, e intensificação do comércio marítimo internacional (HILL, 2015).

O balanço de sedimentos, o nível de salinidade, os riscos de enchentes e inundações são modificados em função das intervenções estruturais. Concomitantemente, as estruturas construídas são impactadas pelos sistemas físicos e biológicos do ambiente marinho adjacente (BURCHARTH *et al.*, 2014). Segundo Farinaccio (2008), quando os estudos voltados à implantação de qualquer obra de engenharia costeira não consideram adequadamente a dinâmica marinha natural e principalmente as alterações a serem provocadas pelas próprias obras, a possibilidade de sucesso é remota.

Além dos já conhecidos e discutidos problemas ambientais incidentes na zona costeira, desenha-se, atualmente, uma nova perspectiva frente às questões relativas às mudanças climáticas, principalmente no que tange às suas causas e efeitos. A necessidade de adaptação às mudanças climáticas e de mitigação dos problemas por ela causados devem constituir-se em pauta constante dos órgãos públicos tomadores de decisão. Nesse contexto, torna-se fundamental a compreensão das interações entre oceanos e zonas costeiras com as variáveis relacionadas às mudanças climáticas (NICOLODI & PETERMANN, 2010).

No estudo de Nicolodi & Petermann (2010), o grau de vulnerabilidade da zona costeira brasileira (na escala da União) foi definido com base em uma combinação de critérios ambientais, sociais e tecnológicos. A região sul do país, devido à conjunção de fatores topográficos, populacionais e a importância socioeconômica desses núcleos urbanos, combinada a fatores de instabilidade na linha de costa foi identificada como de vulnerabilidade média a alta. Portanto, torna-se fundamental a construção de uma visão estratégica desta porção do território com vistas às medidas de adaptação a novos cenários de aquecimento global, elevação do nível do mar, e erosão costeira.

O processo de ocupação do litoral centro-norte de Santa Catarina foi intensificado com a implantação e pavimentação da rodovia BR 101. O entendimento dos processos

costeiros não foi considerado nos planos diretores, ocorrendo à ocupação sobre o prisma ativo das praias e margens de sistemas lagunares e estuarinos. Isso somado à tendência de incremento de ocorrência das marés meteorológicas no sudeste brasileiro têm intensificado o processo erosivo, resultando em alterações na linha de costa, inconvenientes para atividade turística e em riscos a população residente (KLEIN *et al.*, 2006).

Como forma de mitigação dos danos, torna-se necessária a implantação de estruturas de proteção costeira. De acordo com Özölçer *et al.* (2006), o balanço de sedimentos é modificado em resposta a construção de estruturas costeiras, sendo em alguns casos, evidenciado o déficit sedimentar no sistema. Um exemplo deste processo pode ser observado na Enseada do Itapocorói, no litoral centro-norte catarinense. O histórico erosivo de Piçarras remete-se a 1974, data da retificação do canal e fixação da barra do Rio Piçarras, através da implantação de dois guia-correntes.

Ao longo das últimas décadas, esta região vem apresentando sucessivos problemas decorrentes da erosão costeira, sobretudo na porção sul da enseada, local onde também se verificam as maiores taxas de desenvolvimento urbano (HOEFEL, 1998; ARAUJO *et al.*, 2010; KLEIN *et al.*, 2009). Diversas estruturas de proteção costeira têm sido implantadas na região para mitigação do processo erosivo, entretanto estas medidas foram consideradas paliativas (MACHADO, 2010).

Este desafio somente poderá ser enfrentado a partir de ações integradas entre os diversos setores da sociedade e fundamentado no conhecimento científico-tecnológico do ambiente costeiro, das estruturas de proteção e das variáveis relacionadas a alterações climáticas. Inserido nesse contexto, o presente estudo visa à compreensão e análise dos principais projetos de obras costeiras executados na Enseada do Itapocorói, fundamentado na legislação brasileira aplicável, normas internacionais (CEM, 2002), e frente à elevação do nível médio do mar.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Compreender e avaliar, por meio de um estudo de caso, os impactos decorrentes da implantação de obras de defesa do litoral.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar os principais projetos de implantação das obras de engenharia costeira e oceânica realizados na Enseada do Itapocorói, segundo:
 - a) Processo de Planejamento e Design de Obras Costeiras, descrito no *Coastal Engineering Manual* (CEM, 2002);
 - b) Critérios técnicos da legislação brasileira;
 - c) Cenário de elevação do nível médio do mar.
- Avaliar o Roteiro-Guia orientativo para a implantação de medidas de proteção junto às praias arenosas.
- Desenvolver uma metodologia para análise da implantação de medidas de adaptação costeira.

3. EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 – Obras de Engenharia Costeira

Obras de engenharia costeira têm sido amplamente utilizadas para a mitigação dos riscos de erosão; restabelecimento de sistemas naturais (falésias, dunas, zonas úmidas e praias); defesa contra possíveis inundações; e proteção das obras civis (edifícios, infraestruturas, rodovias) na orla costeira (CEM, 2002). A Tabela 8 do Anexo I apresenta uma síntese das principais estruturas costeiras e suas características.

Tradicionalmente, as intervenções costeiras têm sido classificadas, segundo o peso e o tamanho do material utilizado (“leve” ou “pesado”), quanto ao seu posicionamento relativo à linha de costa (“aderentes ou destacadas”, “paralelas ou perpendiculares”) e em função de seu funcionamento estrutural (“rígidas ou flexíveis”) (NEVES & MUEHE, 2008).

Segundo Klein *et al.* (2005) é plausível que estas estruturas foram originalmente elaboradas com base em observações empíricas das feições de proteção naturais em que os projetos de engenharia tentam imitar a natureza. Dentre os modelos desenvolvidos baseados em analogias ambientais destacam-se os elaborados por Klein *et al.* (2005) e por Farinaccio (2008), adaptado por Machado (2010) na classificação das obras de engenharia costeira do litoral de Santa Catarina (Quadro 8; Anexo I).

No Processo de Planejamento e Design de Estruturas Costeiras, desenvolvido pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE), descrito no Manual de Engenharia Costeira (CEM, 2002), são consideradas apenas onze alternativas padrão: “*não fazer nada*”, “*métodos não estruturais*” e opções estruturais, especificadamente: “*molhe*”, “*quebra-mar*”, “*espigão*”, “*muros de contenção*”, “*paredão*”, “*revestimento*”, “*dragagem*”, “*alimentação artificial*” e “*dunas*”. Entretanto, este modelo apresenta um maior número de alternativas estruturais do que não estruturais, e não diferencia entre estratégias fixas e móveis. Apenas os métodos estruturais são exemplificados.

Atualmente, mudanças climáticas, mais especificadamente o aumento do nível do mar e da frequência e intensidade de eventos meteorológicos extremos (NICHOLLS, 2001), constituem uma ameaça direta a manutenção de estruturas de proteção existentes e um desafio para o projeto de estruturas marítimas nas próximas décadas (NICHOLLS, 2010; NICHOLLS *et al.*, 2007). Nas regiões costeiras, normalmente são utilizadas três estratégias clássicas de adaptação ao aumento do nível do mar: “Proteção, Acomodação e Recuo” (NICHOLLS *et al.*, 2007; KLEIN *et al.*, 2001, LINHAM *et al.*, 2010). A análise comparativa

entre estas medidas está ilustrada na Figura 1 e representada na Tabela 9 do Anexo I. Entretanto, segundo Berry *et al.* (2013), estas estratégias de adaptação, por si só, formam apenas um subconjunto das medidas disponíveis para os gestores costeiros. Em seu estudo, seis alternativas de adaptação para ecossistemas de praias arenosas são descritas conforme a resiliência ecológica e capacidade de resposta ao aumento do nível do mar, sendo estas: “Conservação do Ecossistema, Recuo Gerenciado, Intervenção Limitada, Fazer nada, Acomodação e Proteção Costeira” (Tabela 10; Anexo I).

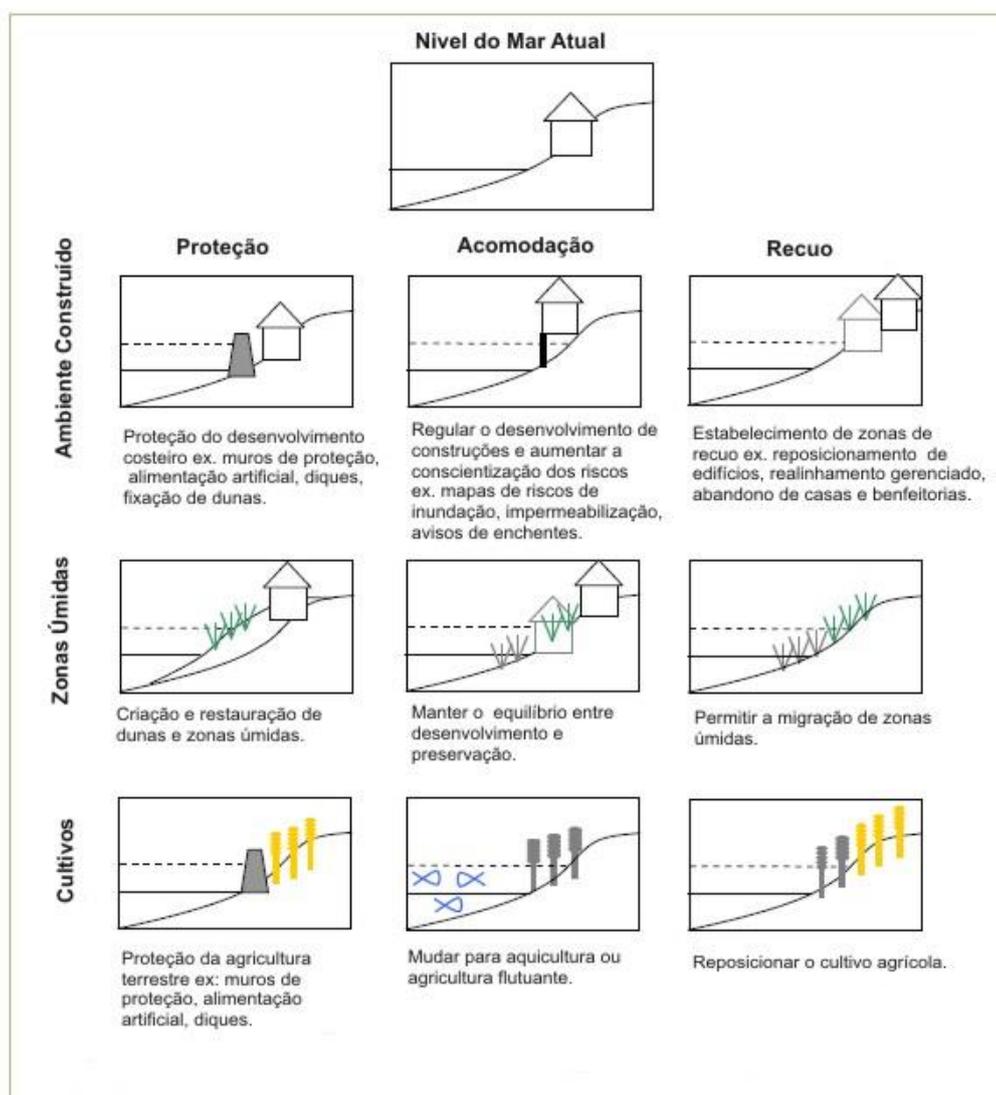


Figura 1: Ilustração esquemática das estratégias clássicas de adaptação ao aumento do nível do mar: Proteção, Acomodação e Recuo. A linha pontilhada representa o nível do mar futuro. As casas e vegetações na cor cinza indicam a localização anterior ao reposicionamento ou migração natural. Adaptado de Linham *et al.*, 2010.

Baseado no registro histórico das práticas de engenharia costeira, Hill (2015) desenvolveu um novo modelo de classificação de estruturas costeiras e comparou os

principais impactos das estruturas no meio ambiente e seu valor na preparação as mudanças climáticas. Hill criou o termo "infraestrutura adaptável" para identificar uma nova abordagem para o projeto e planejamento de infraestrutura, que enfatiza a urgência da adaptação às mudanças climáticas. Diferentemente do manual padrão elaborado pelo USACE, este modelo apresenta igual proporção entre métodos estruturais e não estruturais.

Nesse modelo de classificação, as infraestruturas físicas são distribuídas em quatro quadrantes. O eixo vertical difere-se as estruturas costeiras tem sua origem associadas a ambientes costeiros rochosos - *estruturas rígidas* como paredões e quebra-mares - em oposição às associadas a ambientes pantanosos ou arenosos, onde materiais como silte, areia, e cascalho foram utilizados para construção de *obras de aterro*, como diques e alimentação de praias. O eixo horizontal difere se a estrutura é *fixa* ou *móvel* (Figura 2). A combinação destas classes pode gerar *estratégias híbridas*, as quais combinam elevação do terreno com elementos de concreto e aço.

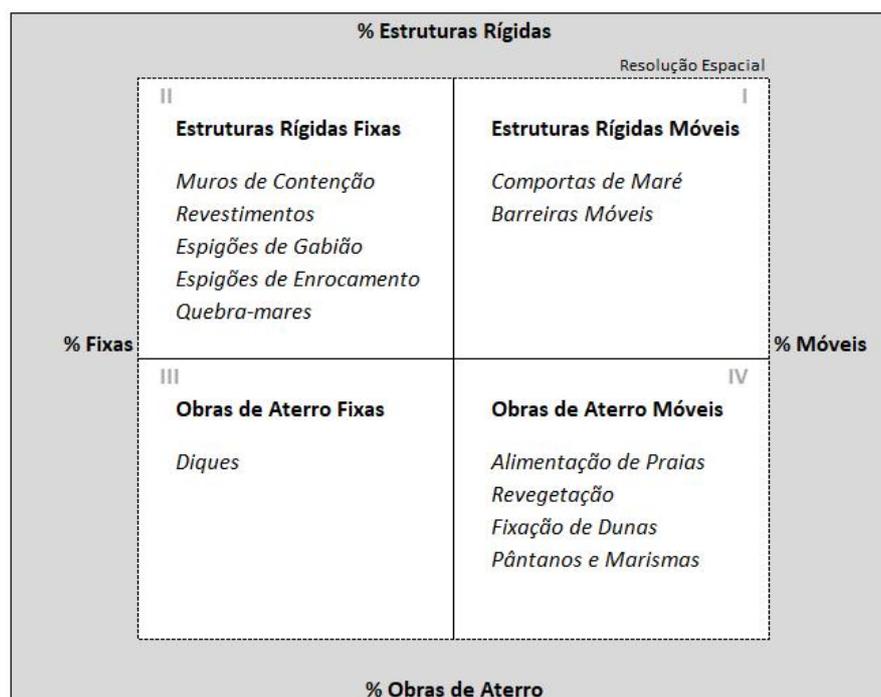


Figura 2: Ilustração do diagrama de classificação adaptado de Hill (2015). O eixo vertical é definido pela porcentagem da infraestrutura física proposta que utiliza estruturas rígidas versus obras de aterro. O eixo horizontal é definido pela porcentagem de componentes do design que são fixos versus móveis.

As definições das categorias e dos tipos de obras incluídas em cada subdivisão estão exemplificadas abaixo:

Estruturas rígidas fixas e móveis: Estruturas desenvolvidas a partir de práticas de *design* em ambientes rochosos com portos fortificados. Tendem a ser à base de paredes e rígidas; normalmente constituídas por rochas, concreto e metal. Na prática contemporânea, estas estruturas normalmente consistem em paredes rígidos de concreto e aço, tais como, muros verticais e represas. Barragens de marés podem ser consideradas estratégias híbridas, pois combinam estruturas fixas de concreto e aço com diques de areia, para geração de energia. Paredões também podem ser projetados para mover-se para determinada posição quando necessário, caso das comportas de maré, que geralmente são fechadas durante as marés mais altas para impedir inundações.

- **Estruturas rígidas fixas** (Quadrante II) incluem muros de contenção verticais ou inclinados, muros de gabiões, revestimentos, quebra-mares, espigões e campo de espigões.
- **Estruturas rígidas móveis** (Quadrante I) incluem comportas de maré e barreiras móveis.

Obras de aterro fixas e móveis: No passado, as estruturas costeiras em áreas arenosas e pantanosas, eram constituídas por materiais que poderiam ser facilmente escavados ou amontoados, mas que exigiam trabalhos frequentes de manutenção, ou que podiam ser deformados e redistribuídos por trabalho humano ou por eventos extremos. Os análogos contemporâneos dessas estruturas são projetados como obras de aterro fixas, que exigem monitoramento e manutenção frequentes, caso dos diques. As obras de aterro móveis são as que podem ser alteradas por eventos previsíveis ao longo do tempo, permitindo a redistribuição de sedimentos, caso dos projetos de alimentação artificial.

- **Obras de aterro fixas** (Quadrante III) incluem diques.
- **Obras de aterro móveis** (Quadrante IV) incluem alimentação artificial, revegetação e fixação de dunas, criação de pântanos e marismas.

Esta metodologia permite a representação gráfica considerando as particularidades das obras implantadas na zona costeira, bem como, as particularidades dos diferentes tipos de ambientes reconhecidos e do entendimento da dinâmica atuante. Apresenta igual proporção entre métodos estruturais, não estruturais, dinâmicos e estáticos. Portanto, sua configuração possibilita uma ampla avaliação das alternativas sem pré-julgamento se um

subconjunto específico de alternativas é mais viável do que outro. Entretanto, a seleção de determinada estrutura depende principalmente da vulnerabilidade do sistema costeiro.

Dessa forma, os quatro tipos básicos de infraestrutura podem ser relacionados com a região adjacente, incluindo distritos urbanos com diferentes níveis de vulnerabilidade, e ecossistemas (zonas úmidas, costas rochosas, praias arenosas e solos contaminados). Esta metodologia possibilita ao usuário gerar vários emparelhamentos alternativos como forma de estudar opções de proteção, ao invés de produzir um par único entre as colunas A e B (Figura 3). Fatores geomorfológicos, ecológicos, e o uso e ocupação do solo, também devem ser considerados ao selecionar infraestruturas estratégicas para proteção de cidades costeiras frente à elevação no NMM. No presente estudo, o modelo de classificação desenvolvido por Hill (2015) será utilizado para a avaliação das medidas adotadas na Enseada do Itapocorói.

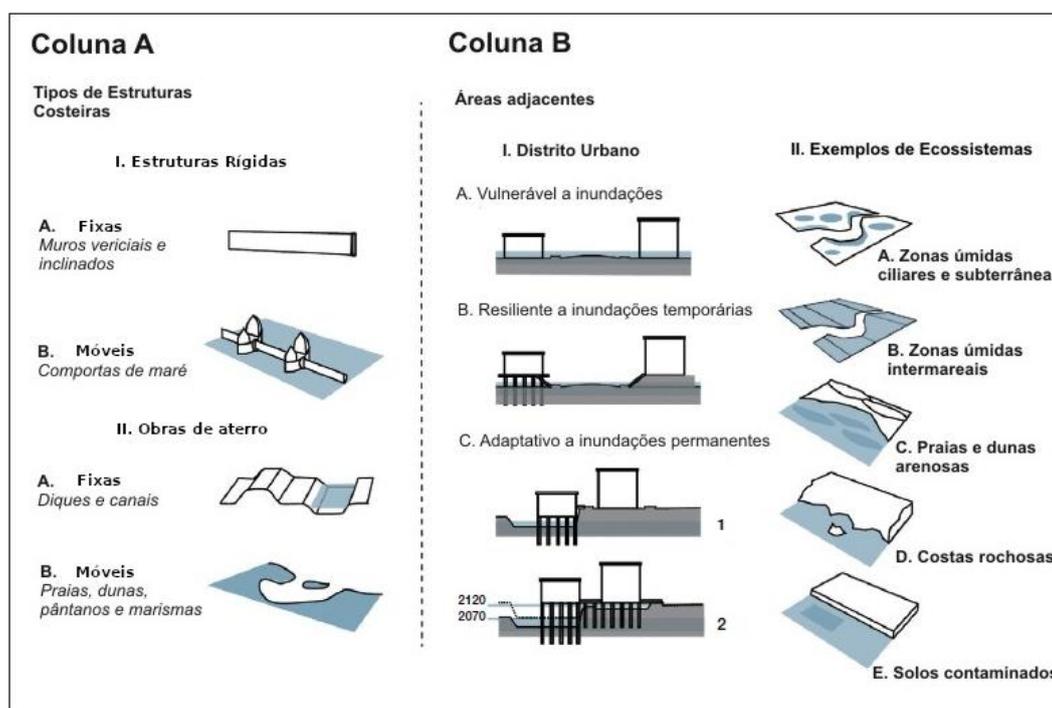


Figura 3: Os quatro tipos básicos de infraestrutura física podem ser relacionados com a região adjacente, incluindo distritos urbanos com diferentes níveis de vulnerabilidade e ecossistemas (ex. zonas úmidas, costas rochosas, praias arenosas e solos contaminados) (Hill, 2015).

3.1.2 – Padrão de Distribuição das Obras de Engenharia Costeira no Litoral de Santa Catarina

Machado (2010) realizou o mapeamento e a classificação das estruturas costeiras do litoral catarinense. Realizou um dos primeiros estudos de análise de projetos das obras

implantadas em Santa Catarina, especificadamente na Enseada do Itapocorói, Barra Velha e Araranguá, segundo o CEM (2002) e legislação brasileira aplicável. Em seu estudo, foram identificadas 2680 obras de engenharia costeira. A autora verificou que os empreendimentos voltados a “*infra-estrutura e lazer*” correspondem de 3% a 95%, respectivamente, das obras implantadas, e os enquadrados em “*proteção costeira*” representam 2%. Esta grande diferença em relação às estruturas voltadas ao lazer é explicada pela vocação e investimentos no setor turístico do Estado.

Analisando o padrão de distribuição das estruturas segundo o setor costeiro, foi identificado que o Litoral Centro abriga a maior quantidade de instalações costeiras correspondendo a 41% das obras instaladas, seguido dos setores Centro-Norte (36%) e Norte (16%). Juntos reúnem 93% das obras costeiras presentes no Estado de Santa Catarina. Essa distribuição está fortemente relacionado à implantação da BR-101, que possibilitou um maior acesso às praias catarinense e conseqüentemente, maior número de construções na orla (KLEIN *et al.*, 2006); combinado a geomorfologia costeira. A presença de costões rochosos e embaiamentos, por suas belezas cênicas são atrativos para a implantação de empreendimentos urbanísticos e de infraestrutura turística. Por essa razão, juntos o Litoral Centro-Sul e Sul, cuja conformação costeira é exposta, apresentam apenas 7% das obras existentes no litoral catarinense. Coincidentemente, são os setores menos urbanizados, com menor PIB, a urbanização se encontra além do sistema de dunas frontais, que representam de fato uma proteção natural.

Dentre às medidas de proteção costeira, as obras para “*reflexão de ondas*” são as mais largamente utilizadas no Estado (45%), seguida por “*retenção de sedimentos*” (36%) e “*adição de sedimentos*” (19%). O tipo mais utilizado consiste em enrocamento (37%), seguido de espigão (29%) e alimentação artificial (16%), correspondendo a 82% das obras utilizadas no Estado. Considerando a análise dos projetos, a autora constatou que a legislação brasileira aplicável está centrada na abordagem de aspectos relacionados aos impactos ambientais da obra sobre o ambiente, em detrimento as condicionantes de construção do projeto. Portanto, a aplicação dos conceitos do CEM (2002) foi essencial para avaliação efetiva dos projetos de engenharia. Entretanto, a maioria das obras estudadas não foi realizada em conformidade com os procedimentos descritos neste manual.

Resultados das análises demonstraram que as medidas adotadas foram paliativas, sendo constatada a continuidade do processo de retração da linha de costa. Foi verificada a carência de normativas especializadas na construção de obras costeiras, considerando fatores

como vulnerabilidade da zona costeira e cenários de variações climáticas. Com base nos fatos apresentados, o objetivo do presente estudo será compreender e avaliar os impactos decorrentes da implantação de obras de defesa dos litorais e sua resposta frente à elevação do nível médio do mar.

3.1.2 – Impactos das Obras sobre a Linha de Costa e Dinâmica Costeira

As intervenções costeiras provocam modificações no balanço de sedimentos e no ecossistema costeiro. Os impactos ambientais estão intimamente relacionados com as diferentes técnicas utilizadas. O Quadro 1 apresenta algumas intervenções costeiras que podem causar alterações na linha de costa e/ou na dinâmica costeira, acarretando impactos pontuais ou em regiões adjacentes.

Quadro 1: Exemplo de intervenções costeiras e seus impactos na dinâmica costeira (Retirado de Farinaccio, 2008).

Obra	Impactos
Espigões	Alteração da dinâmica natural de transporte de sedimentos longitudinalmente à costa, pelo aprisionamento de sedimentos junto à estrutura rígida de orientação, impedindo sua movimentação à sotamar, surgimento de fenômenos erosivos. Escalonamento da linha de costa.
Quebra-mares	Acúmulos de sedimentos indesejados. Alteração no transporte litorâneo original. Instalação de processos erosivos. Formação de saliências e tômbolos.
Muros marinhos	Alteração da dinâmica natural de transporte de sedimentos. Aprisionamento de sedimentos, pela limitação do espraiamento. Acúmulo de sedimentos e alteração do perfil praial. Colapsos de estruturas. Alteração no regime de deposição eólica. Dissipação de energia.
Aterros sobre o pós-praia (loteamentos, avenidas, etc.)	Alteração da dinâmica natural de transporte de sedimentos. Aprisionamento de sedimentos, pela limitação do espraiamento. Instalação de processos erosivos pela estabilização do perfil ativo da praia.
Emissários	Quando expostos como estruturas rígidas, influenciam na movimentação longitudinal dos sedimentos ao longo da praia, promovendo a instalação de processos erosivos.
Alimentação artificial	Pode acarretar em mudanças significativas na linha de costa, ora pelo aumento excessivo da faixa de praia, ora pela formação de células erosivas. Manutenção do balanço de sedimentos.
Dragagens de canais e da face praial	Alteração da dinâmica natural de transporte de sedimentos aprisionamento de sedimentos, longitudinalmente à costa, seja o aprisionamento de material na área dragada, impedindo sua movimentação à sotamar da feição (surgimento de fenômenos erosivos), como também pelo incremento das correntes de maré vazante, nestes canais, gerando um obstáculo hidráulico à dinâmica de transporte litorâneo.
Barragens	Alteração no equilíbrio sedimentar das praias em decorrência do aprisionamento de sedimentos, causando déficit sedimentar e o surgimento de pontos de erosão.
Orientação de desembocaduras fluviais, ou lagunares	Alteração da dinâmica natural de transporte de sedimentos longitudinalmente à costa, pelo aprisionamento de sedimentos junto à estrutura rígida de orientação, impedindo sua movimentação à sotamar, surgimento de fenômenos erosivos.

3.2. – Elevação do Nível Médio do Mar e Ocorrência de Eventos Extremos

As flutuações do nível relativo do mar resultam das variações reais do nível marinho (tecnocustasia, glacio-eustasia e geoidocustasia) e das modificações do nível dos continentes (tectonismo, isostasia e deformações do geóide continental) (SUGUIO *et al.*, 1985). A altura da superfície do mar apresenta um componente oceânico e um geofísico. Os efeitos oceanográficos que podem afetar a altura do mar são essencialmente as marés, as grandes correntes e os turbilhonamentos associados, além das variações de declividade devidas ao vento, pressão e temperatura da água ou salinidade. A soma desses efeitos não é superior a 1-2 m. O componente geofísico corresponde ao geóide e se confunde com o nível médio do mar (SUGUIO *et al.*, 1985).

Desde a década de 1970, a elevação do nível do mar em função do fenômeno de expansão térmica dos oceanos (variação estérica) e do derretimento das geleiras continentais (glacio-eustasia) causado pelo aumento da temperatura global acelerado pelo efeito estufa vem despertando o interesse no público e principalmente da comunidade científica. Em números globais, no período compreendido entre 1901 a 2010, a elevação do nível médio do mar foi de 1,7 [1,5 a 1,9] mm ao ano; e entre 1993 e 2010 foi de 3,2 [2,8 a 3,6] mm ao ano. Esse incremento pode estar relacionado ao aumento da concentração de gases de efeito estufa, que contribuiu para a expansão térmica da água dos oceanos. No período compreendido entre 1901 a 2010, a elevação global do nível do mar foi de 0,19mm [0,17 a 0,21m] (IPCC-AR5, 2014).

O último relatório do IPCC (AR5) define quatro novos cenários de emissão, denominados RCPs (“*Representative Concentration Pathways*”). Os RCPs recebem seus nomes a partir dos níveis das forçantes radiativas. Assim, RCP-X implica em um cenário no qual a forçante radiativa de estabilização ou de pico ou ao final do século XXI corresponde a X watts por metro quadrado (W/m^2). A escala de projeções varia de 2,6 (cenário otimista) a 8,5 (cenário pessimista). A elevação do nível médio do mar em função de cada cenário está demonstrada no Quadro 2 e na Figura 4. A previsão para os próximos 100 anos é de uma elevação no nível do mar entre 26 e 82 cm (IPCC-AR5, 2014).

Quadro 2: Elevação do nível médio do mar para cada cenário do RCP (IPCC-AR5, 2014).

Cenários	FR	Tendência do FR	[CO ₂] em 2100	Elevação NMM (2046-2065)		Elevação NMM (2081 - 2100)	
				Média	Variação Provável	Média	Variação Provável
RCP 2.6	2,6 W/m ²	Decrescente em 2100	421 ppm	0,24m	0,17m – 0,32m	0,40m	0,26m – 0,55m
RCP 4.5	4,5 W/m ²	Estável em 2100	538 ppm	0,26m	0,19m – 0,36m	0,47m	0,32m – 0,63m
RCP 6.0	6,0 W/m ²	Crescente	670 ppm	0,25m	0,18m – 0,32m	0,48m	0,33m – 0,63m
RCP 8.5	8,5 W/m ²	Crescente	936 ppm	0,30m	0,22m – 0,38m	0,63m	0,45m – 0,82m

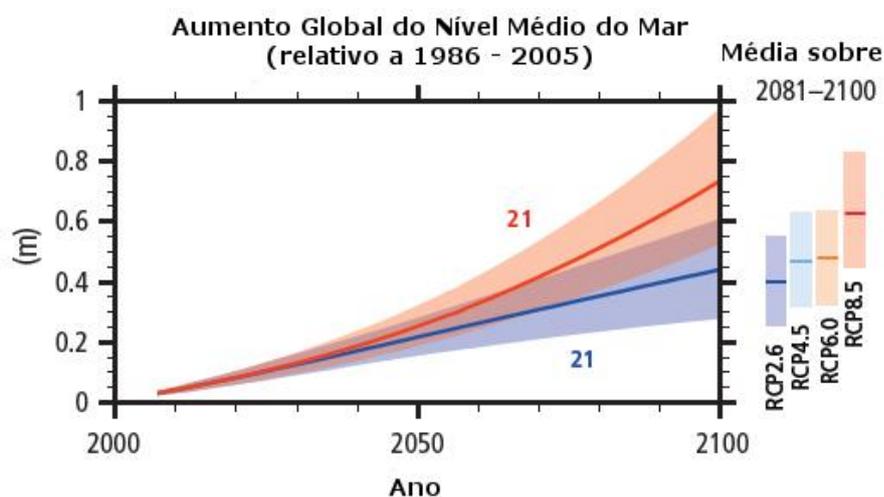


Figura 4: Aumento global previsto do nível médio do mar para cada cenário. Fonte: IPCC-AR5 (2014).

Para a costa atlântica da América Latina e do Caribe, foi constatado entre os anos de 1950 a 2008, um aumento do nível do mar de 2,0 mm ao ano (LOSADA *et al.*, 2013). O relatório sobre efeitos das mudanças climáticas elaborado pela *Comisión Económica para América Latina y el Caribe* (CEPAL) indica que um cenário de subida do nível do mar de 1m afetaria uma ampla parcela da população costeiras no Brasil e em Ilhas do Caribe (CEPAL, 2011). Entretanto, a elevação do nível do mar e sua capacidade de impacto para determinadas regiões da costa brasileira depende de inúmeros fatores, tais como, morfologia, batimetria local e densidade de ocupação. Portanto, a previsão da elevação das águas varia de localidade para localidade ao longo do litoral brasileiro.

No Brasil, trabalhos do Instituto Oceanográfico da USP (IOUSP) confirmam o aumento do nível do mar na costa de Cananéia, entre 1955 e 1990, a uma taxa da ordem de 0,4 cm por ano (MESQUITA *et al.*, 2005). Entre 1944 e 1989, o litoral de Santos sofreu uma elevação média de 0,12 cm por ano (HARARI & CAMARGO, 1995). O porto de Recife registrou entre 1946 a 1988 uma elevação de 0,56 cm/ano (NEVES & MUEHE, 2008) que

corresponde a uma elevação de 23,5 cm em 42 anos. A análise dos dados da estação maregráfica da ilha fiscal, no Rio de Janeiro, no período de 1965 a 1986 indicam uma elevação anual de 1,26 cm/ano (SILVA, 1992). Possivelmente pela localização da estação maregráfica no interior da Baía de Guanabara ocorre uma maximização da sobre-elevação do nível d'água devido a efeitos hidrodinâmicos localizados. Mesquita e Leite (1986) *apud* Tessler (2005) analisando dados maregráficos de 50 anos das cidades de Recife, Rio Grande e Cananéia, verificaram a existência de tendência positiva do nível médio, da ordem de 30 cm na escala secular.

Para o Estado de Santa Catarina, estimativas do nível médio do mar para os próximos 100 anos, encontram-se próximas a 0,5m para o cenário RCP 4.5 e acima de 0,72m para o cenário RCP 8.5 (Figura 5). Resultados obtidos através de simulações de modelos múltiplos, por Slangen (2014), considerando os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, como entrada para modelagem climática e química atmosférica nos experimentos numéricos do CMIP5 (CEPAL, 2015). O cenário RCP 4.5 pressupõe que a forçante radiativa estabiliza pouco depois de 2100, sem ultrapassar o nível de radiação a longo prazo de 4,5 W/m². Essa projeção é consistente com a estabilização da demanda energética mundial, programas de reflorestamento fortes e políticas climáticas rigorosas. O cenário RCP 8.5, considerado o mais pessimista para o século XXI em termos de emissões de GEE, sugere um crescimento contínuo da população associada a um desenvolvimento tecnológico lento, resultando em acentuadas emissões de dióxido de carbono. Este cenário é consistente com nenhuma mudança política para reduzir as emissões e forte dependência de combustíveis fósseis (SILVEIRA *et al.*, 2016).

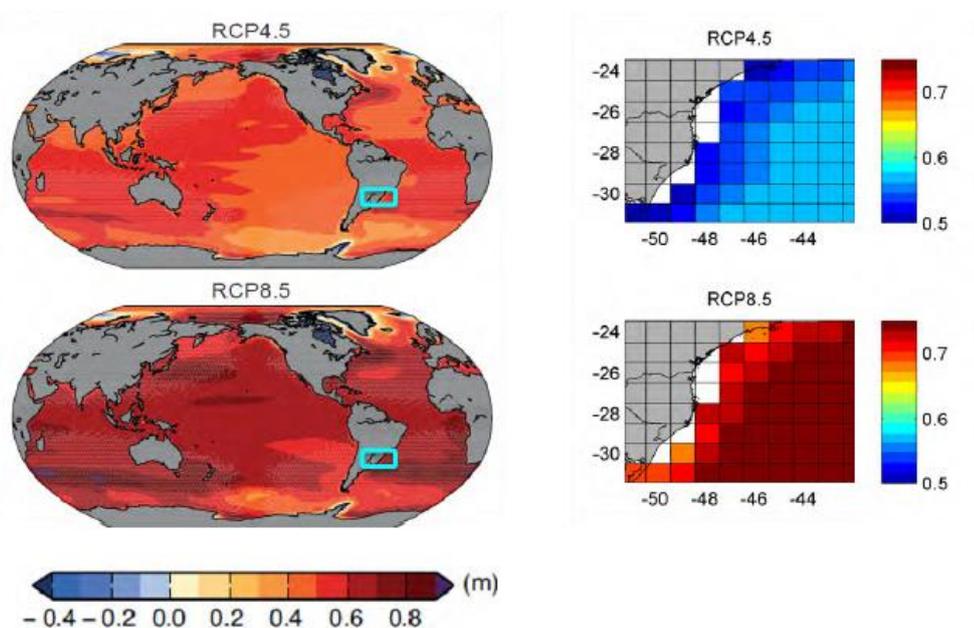


Figura 5: Estimativa do nível médio do mar para Santa Catarina, cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, a partir da diferença entre os períodos 1986-2005 e 2081-2100. Fonte: CEPAL (2015).

Os ventos e as condições meteorológicas também atuam sobre o oceano provocando variações temporárias do nível médio do mar. As oscilações mais curtas do nível do mar, da ordem de 10 a 100 minutos, estão associadas a fenômenos meteorológicos ou ação de ondas em eventos de ressaca. Em escalas de 1.000 minutos, estão às oscilações de nível do mar associadas à maré astronômica. Em escalas de 10.000 minutos, porém, começam a ocorrer fenômenos que são diretamente vinculados a efeitos meteorológicos, denominada “maré meteorológica” (NEVES & MUEHE, 2008). O aumento do nível do mar provocado pela elevação da maré meteorológica e/ou maré astronômica, acompanhado de ondas com amplitude maior que o normal é denominado maré de tempestade, conhecido popularmente por ressaca (CARTER, 1988) e estão relacionadas aos principais perigos naturais que atingem a população costeira como a inundação e erosão na costa (NICHOLLS & SMALL, 2002).

Apesar de ainda não existirem estudos conclusivos sobre a relação direta entre as instabilidades atmosféricas e as mudanças climáticas globais no século XX; Nicholls (2001) afirma que em algumas partes do globo (escala regional) já existem indícios significativos do aumento da intensidade de eventos atmosféricos extremos, especialmente os ciclones extratropicais no Atlântico Sul, como o evento conhecido como Furacão Catarina, que ocorreu em 2004 (PEZZA & SIMMONDS, 2005; VEIGA *et al.*, 2008). Em função da evolução das ameaças climáticas para o século XXI, torna-se importante a identificação dos

principais e mais frequentes eventos climato-oceanográficos que possam ameaçar a estabilidade da estreita faixa costeira urbana.

Estudos realizados por Barletta e Calliari (2001), Bitencourt *et al.* (2002), Simó e Horn Filho (2004), Melo Filho *et al.* (2006), Herrmann *et al.* (2007, 2009), Parise *et al.* (2009), Krueger (2011) e Rudorff *et al.* (2014), demonstram a susceptibilidade das regiões Sul e Sudeste do Brasil à força destes eventos extremos, os quais estão normalmente associados à penetração de frentes frias. Segundo Bittencourt *et al.* (2002), o fenômeno ressaca ocorre com maior frequência nos meses de outono e inverno, no entanto em outras estações do ano, ciclones extratropicais também podem se desenvolver sobre o Oceano Atlântico, provocando ventos fortes e gerando agitação marítima na costa da Região Sul.

A propagação de ciclones extratropicais de Sul para Norte, ao longo da plataforma continental brasileira, produz empilhamentos de água junto à costa ou excitam a formação de ondas de plataforma que se propagam no mesmo sentido. Os efeitos nos Estados da Região Sul são particularmente danosos ao ambiente costeiro, na medida em que elevações do nível médio do mar são muitas vezes concomitantes à ocorrência de ressacas (NEVES & MUEHE, 2008). No estudo de Simó e Horn Filho (2004), foram verificados 18 episódios de marés de tempestade que assolaram os municípios do litoral catarinense no período entre 1991 a 2001.

No trabalho elaborado por Herrmann *et al.* (2009), a partir do Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina, referente ao período de 1980 a 2003, atualizado até o ano de 2007, foi identificada a ocorrência de 3934 desastres naturais, entre inundações bruscas e graduais, escorregamentos, tornados, vendavais, granizos e estiagens. A partir de 1998, também foram registrados 28 episódios de marés de tempestade, destacando no ano de 2004 o inédito episódio do Furacão Catarina. A média anual dos registros de marés de tempestades que causaram danos significativos ao longo do período analisado foi de 3,7. Krueger (2011) identificou uma média de 06 eventos extremos de marés de tempestade por ano no litoral do estado, no período entre Janeiro de 2001 e Dezembro de 2010.

Rudorff *et al.* (2014) apresentaram os resultados de 46 registros do fenômeno no litoral catarinense entre 1997 e 2010, que causaram danos significativos nos municípios da costa catarinense. A média anual dos registros de marés de tempestades ao longo do período analisado foi de 3,28. Entre 2000 e 2010, as marés de tempestade deixaram treze municípios em estado de emergência, um em estado de calamidade pública, 93 desabrigados, 389

desalojados e 17.054 pessoas afetadas. O ano de 2010 foi o que apresentou mais ocorrências, com um total de 13, que representaram um prejuízo de R\$ 27.719.526,00.

A formação de ressacas próximo ao litoral promove um maior ataque de ondas de alta energia com capacidade de galgamento ou avanço sobre o litoral. Em episódios de tempestade podem ser observados processos erosivos intensos, quando a ação conjunta de ondas, correntes longitudinais e de retorno e marés meteorológicas e de sizígia podem erodir grandes volumes de areia das dunas e praias (RUDORFF, 2005; BONETTI *et al.*, 2013).

Eventos de natureza extrema apoiadas sobre a elevação estática do mar são sérias ameaças de colapso das edificações e estruturas costeiras. Tal hipótese fundamenta-se na desconsideração das cargas ambientais oriundas das mudanças climáticas no momento do dimensionamento destas estruturas. Destaca-se que, em virtude do aumento da concentração populacional na zona costeira espera-se também um aumento da vulnerabilidade dessas comunidades às marés de tempestade. Desta forma, o gerenciamento costeiro integrado deve exercer um papel fundamental no ordenamento da ocupação desse espaço costeiro (RUDORFF *et al.*, 2014).

3.2.1 – Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira

O aquecimento global e as mudanças climáticas constituem um dos principais desafios a ser enfrentado pela humanidade no século XXI (GIDDENS, 2009). Os efeitos gerados pelas mudanças climáticas, nomeadamente a elevação do nível do mar e o aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos, resultam em variações nos níveis das marés, alterações no clima de ondas, riscos de inundações, enchentes, alagamentos e deslizamentos (IPCC, 2007; 2012). Os impactos das alterações no clima têm influência direta sobre os ecossistemas, centros urbanos e suas infraestruturas.

O aumento relativo do nível do mar é uma das questões mais importantes na sociedade moderna, visto que grande parte da população mundial vive em áreas costeiras e, portanto, muitos dos ativos construídos estão localizados nessa região. Sessenta por cento das 39 metrópoles do mundo com uma população de mais de 5 milhões estão localizadas a menos de 100 km da costa, incluindo 12 das 16 cidades com população superior a 10 milhões (IPCC 2007; BOATENG, 2012). No Brasil, cerca de 27% da população reside na zona costeira, onde estão localizadas 13 das 27 capitais estaduais e 18 das 28 regiões metropolitanas brasileiras (MMA, 2008; IBGE, 2011). Atualmente, 40% da população

urbana do Estado de Santa Catarina (2,5 milhões de pessoas) encontram-se assentada nestas áreas (IBGE, 2012).

As regiões costeiras apresentam condições propícias ao desenvolvimento de diversas atividades socioeconômicas, além de significativa riqueza ecológica. A combinação entre as características do meio físico e as decorrentes do uso e ocupação da costa, impulsionado pelo crescimento populacional e pela elevação do nível dos oceanos, contribui para o surgimento de uma maior preocupação quanto à vulnerabilidade costeira no campo das políticas públicas, ao qual o conhecimento científico deve estar atrelado para que se tenha um gerenciamento efetivo da zona costeira (SERAFIM, 2014).

A definição e a quantificação da vulnerabilidade costeira permitem identificar riscos e áreas prioritárias para a concentração de estudos e para a realização de ações de manejo (CAPOBIANCO *et al.*, 1999). Trata-se, portanto, de uma importante ferramenta analítica na descrição de estados de susceptibilidade de sistemas físicos a danos, capaz de orientar e gerar ações no sentido de reduzir riscos (ADGER, 2006). Seu conceito, no entanto, não é facilmente quantificado e reduzido a uma medida, visto que envolve a identificação de variáveis, a definição de algoritmos para a sua integração, a classificação e a interpretação dos resultados (MALLMANN, 2010).

Segundo o relatório de vulnerabilidade costeira, realizado para a América Latina, os países mais vulneráveis, considerando o patrimônio costeiro, são: México, Cuba, Bahamas, Argentina e Brasil (CEPAL, 2012). A vulnerabilidade da zona costeira brasileira às mudanças climáticas tem sido objeto de estudos, seja em documentos oficiais como o Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil (Brasil, MMA, 2008) e as Cartas de Sensibilidade ao Óleo (CARTAS SAO), seja em artigos científicos (MUEHE *et al.*, 1991; NEVES & MUEHE, 2008; NICOLODI & PETERMANN, 2010; SERAFIM, 2014). Entretanto, diversos e variados, são os conceitos de vulnerabilidade adotados na zona costeira quando se relaciona mudanças no clima a potenciais impactos nessa região.

No estudo de Nicolodi & Petermann (2010), o grau de vulnerabilidade da zona costeira brasileira (em escala da União) foi definido com base em uma combinação de critérios ambientais, sociais e tecnológicos, definidos quando da publicação do Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha por parte do Ministério do Meio Ambiente em 2008. Tais definições estão em consonância com a Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), órgão vinculado à UNESCO, que define vulnerabilidade costeira como o estado das comunidades costeiras (incluindo sua estrutura social, ativos físicos,

economia e suporte ambiental) que fazem com que as mesmas sejam mais ou menos afetadas por eventos extremos (IOC, 2009). Nesse estudo, a região sul do país foi determinada com graus de vulnerabilidade médio a alto (Figura 6).

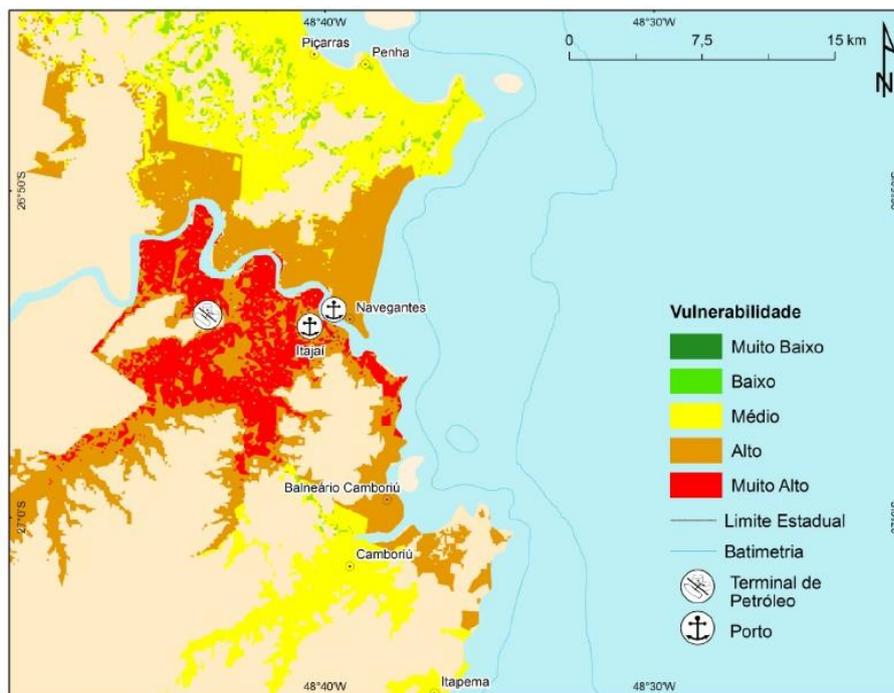


Figura 6: Vulnerabilidade do setor centro norte da Região Sul. A topografia, a densidade populacional e os fatores socioeconômicos determinam graus de vulnerabilidade médio a alto. Fonte: Nicolodi & Petermann (2010).

No estudo de Serafim (2014), o índice de vulnerabilidade costeira da orla catarinense foi determinado a partir da somatória de dois outros índices: o índice de suscetibilidade costeira e o índice de capacidade adaptativa. O primeiro é composto apenas por variáveis do meio físico, enquanto o segundo compõe-se de variáveis socioeconômicas. O termo vulnerabilidade foi entendido, segundo a definição de CEPAL (2012), como a capacidade de uma área se antecipar, enfrentar, resistir e se recuperar do impacto causado por um determinado agente, em função de seus múltiplos aspectos físicos e socioeconômicos. Os maiores valores de vulnerabilidade foram encontrados para trechos centrais dos setores norte e centro-norte do Estado e para segmentos no norte do setor centro. A Enseada do Itapocorói encontra-se inserida na região centro-norte do Estado de Santa Catarina.

De acordo com a IOC (2009), cinco etapas são necessárias para a elaboração de planos nacionais e regionais de adaptação a mudanças climáticas, sendo estas: Identificação e quantificação de riscos, Mensuração da vulnerabilidade, Avaliação de riscos,

Sensibilização da sociedade e Mitigação. Portanto, um dos aspectos fundamentais para o Gerenciamento da Zona Costeira, em especial da orla, é o conhecimento de sua vulnerabilidade. Trata-se de uma variável determinante a ser considerada na tomada de decisões pelo poder público, quanto à implementação de uma abordagem preventiva, para que sejam criados subsídios técnicos aplicados ao gerenciamento e ordenamento territorial efetivo da zona costeira.

3.2.2 – Estratégias de Adaptação às Mudanças Climáticas

O desenvolvimento de estratégias de adaptação às mudanças do clima em regiões costeiras urbanizadas é um grande desafio, devido ao grau de incerteza quanto à definição quantitativa das mudanças climáticas e a complexidade e forte interconectividade dos sistemas sociais e ecológicos nessas áreas (BERKES *et al.*, 2003; FOLKE *et al.*, 2005). Estes sistemas são complexos, auto-organizados, aleatórios e não lineares em sua resposta à intervenção; o que dificulta a previsão e a avaliação da exposição futura às alterações climáticas; criando assim, um cenário de indefinições quanto à tomada de decisão pelo poder público (SCHEFFER & CARPENTER, 2003).

Apesar das incertezas científicas mencionadas anteriormente, a adoção de medidas efetivas de adaptação a essa nova realidade e de mitigação dos problemas por ela causados devem constituir-se em pauta constante dos órgãos públicos (MARTINS & FERREIRA, 2010). A adaptação precoce (proativa) das políticas atuais considerando os efeitos futuros de elevação do nível do mar é imperativa para minimizar os riscos potenciais, os danos e os custos residuais das mudanças climáticas (OSPAR, 2009). Tornar os sistemas mais adaptáveis e resilientes aos impactos das mudanças climáticas é uma importante estratégia global de adaptação, que precisa ser reduzida para o nível regional (SHEPPARD *et al.*, 2011; TOM VAN DER VOORN, 2015). Em cada escala, há uma variedade de atores e partes interessadas envolvidos, incluindo comunidades locais, proprietários privados, donos e operadores de infraestrutura, e agências municipais, estaduais e federais.

A UNESCO, por meio da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), vem concentrando esforços na definição de metodologias que possam auxiliar seus Estados Membros na complexa tarefa de identificação dos riscos inerentes às mudanças do clima em zonas costeiras e planejamento das ações de adaptação e mitigação de seus efeitos indesejáveis. No Brasil, embora existam iniciativas promissoras no âmbito acadêmico, os

esforços para a construção de um arcabouço técnico e institucional que possa fazer frente ao desafio das mudanças climáticas ainda é incipiente (NICOLODI & PETERMANN, 2010).

A carência de informações relacionadas aos efeitos de mudanças climáticas sobre os ecossistemas costeiros no Brasil, bem como a respeito de sua vulnerabilidade a tais alterações aliada a falta de séries históricas de dados na maioria dos campos da ciência é o maior impeditivo para uma análise efetiva da temática em tela, o que deixa uma lacuna em termos de planejamento. Iniciativas comandadas pelo MMA, em função de suas prerrogativas no Plano Nacional de Mudanças Climáticas, buscam fixar critérios para a definição de estratégias de adaptação das zonas costeiras aos efeitos de mudanças no clima. Um exemplo disso foi o 1º Simpósio Nacional sobre Vulnerabilidade Costeira, realizado em maio de 2013 (PBMC, 2014).

O aquecimento global e consequente elevação do nível do mar constituem-se num desafio para a manutenção das instalações existentes e para o projeto das estruturas marítimas nas próximas décadas. A elevação do nível do mar requer que as medidas de defesa costeira sejam adaptadas a maiores níveis de água. Os efeitos das mudanças climáticas podem levar a intensas condições de contorno hidráulico, como marés e ondas de tempestade (JONKMAN *et al.*, 2013); além de causar danos à propriedade e às estruturas de proteção existentes, aumentando substancialmente o risco de falha dos diferentes tipos de sistemas de proteção. Isto faz com que seja necessário o aprimoramento das estruturas, de modo a cumprir com os critérios de desempenho do design original, potencialmente gerando maiores impactos ambientais. Esta adaptação pode ser feita modificando o perfil da estrutura e / ou adicionando elementos a estrutura (BURCHART *et al.*, 2014). Sob o ponto de vista de engenharia, o conhecimento da variação local do nível do mar é importante devido aos impactos sobre a região costeira e ao longo do ciclo de vida útil das obras costeiras e portuárias.

De acordo com as recomendações do IPCC (2007), a abordagem as alterações climáticas tem duas vertentes, uma de mitigação, destinada a assegurar que as atividades humanas não aumentem as emissões globais de gases do efeito estufa (GEE), e uma de adaptação destinada a proteger as atividades e o território dos impactos das mudanças do clima. A abordagem brasileira da mudança climática inicialmente focou na área de mitigação (OBERMAIER & ROSA, 2013). No entanto, devido à intensificação destes riscos e aos crescentes impactos das alterações climáticas sobre a zona costeira torna-se fundamental a adoção de medidas que visem à adaptação dos ecossistemas às novas condições, o que só

pode ser alcançado por meio da gestão do território costeiro de forma integrada e plurissetorial (PBMC, 2014).

Dentre as ações que devem compor o referido planejamento estratégico integrado destacam-se a efetivação de monitoramento ambiental sistemático e de longo prazo; o ordenamento territorial efetivo, principalmente em nível municipal; a efetivação das políticas estaduais de gerenciamento costeiro; e o planejamento prévio e a priorização de estudos para as formas clássicas de respostas aos efeitos esperados de mudanças climáticas como recuo, acomodação e proteção (PBMC, 2014). Essas medidas de adaptação buscam aumentar a resiliência das cidades e sua população em relação aos impactos e aos riscos inerentes ocasionados por eventos climáticos (DAWSON, 2007). A combinação dessas três estratégias de adaptação permitirá uma maior sustentabilidade das opções em termos sociais, econômicos e ambientais.

3.2.3 – Relação entre Aumento do Nível do Mar e Estimativas de Custos das Medidas de Proteção Costeira

A estimativa dos custos das medidas de proteção em função da elevação do nível do mar devido a variações climáticas é uma das questões chaves a ser abordada no cenário atual. Segundo Jonkman *et al.* (2013), os custos são influenciados por duas relações: o aumento atual pelo aumento esperado das cargas hidráulicas ao longo do tempo (amplamente determinado pela taxa de aumento do nível do mar) e os custos para adaptar as defesas costeiras a essas cargas.

O efeito do primeiro fator é ilustrado na Figura 7, a qual demonstra esquematicamente as etapas periódicas que seriam necessárias para o aumento e eventual reforço das estruturas costeiras em relação à elevação do nível do mar. É possível observar que mesmo quando os custos unitários para a adaptação das defesas são constantes, uma aceleração na taxa de elevação do nível do mar acarretaria em um aumento não linear de custos. Ressalta-se que as adaptações na Figura 7 seguem o aumento observado do nível do mar, estratégias mais proativas antecipariam essa elevação.

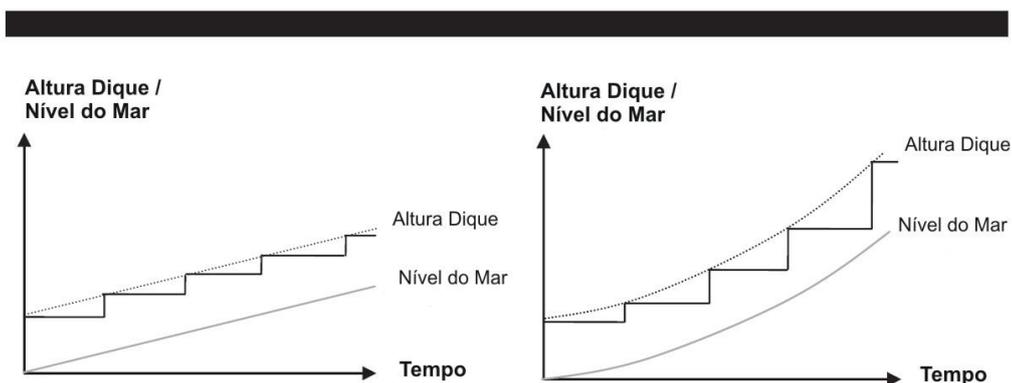


Figura 7: Efeitos da taxa de aumento do nível do mar na elevação periódica do dique. Esquerda: aumento linear do nível do mar: a elevação periódica permanece constante. Direita: elevação exponencial do nível do mar: a elevação periódica aumenta ao longo do tempo. Fonte: Jonkman *et al.*, 2013.

Os custos de adaptação das defesas costeiras em função do aumento do nível do mar são principalmente determinados pelas modificações físicas a serem realizadas nas estruturas costeiras. Portanto, os principais parâmetros de design (altura, largura e área de seção transversal) e suas variações ao aumento do nível do mar devem ser considerados (JONKMAN *et al.*, 2013).

Vários estudos (TITUS *et al.*, 1991; YOHE *et al.*, 1996) fornecem uma visão geral sobre a elevação do nível do mar e os custos de seus impactos. No entanto, estimativas do custo unitário para o aprimoramento das defesas costeiras são essenciais para uma real avaliação dos custos de adaptação e de sua viabilidade em larga escala. Os custos unitários de diques e de outras medidas de proteção, geralmente utilizadas em áreas deltaicas baixas, foram estimados em escala global pelo IPCC CZMS (1990), por Hoozemans, Marchand & Pennekamp (1993); e mais recentemente por Linham *et al.* (2010) e Jonkman *et al.* (2013).

As estimativas de custos unitários do IPCC (1990) e de Hoozemans, Marchand & Pennekamp (1993), apesar de produzidas há mais de 15 anos, continuam sendo a principal fonte de dados de custo unitário na avaliação da vulnerabilidade global, assim como a Avaliação de Vulnerabilidade Interativa Dinâmica (DIVA; HINKEL, 2005; SUGIYAMA *et al.*, 2008). Portanto, faz-se necessária a atualização da base empírica dos estudos globais com dados mais recentes sobre os custos de adaptação das defesas costeiras em diferentes regiões. Inserido nesse contexto, o estudo de Jonkman *et al.* (2013), discutido na metodologia do presente trabalho, teve como objetivo fornecer novas informações empíricas sobre os custos de adaptação das defesas costeiras ao aumento do nível do mar.

3.2.4 – Política Nacional sobre Mudança do Clima

A estratégia brasileira sobre mudança climática está focada em dois documentos: o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2008) e a Lei Nacional (BRASIL, 2009) que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. O Decreto 6263, de 21 de novembro de 2007, institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) e orienta a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e dá outras providências. A Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009 institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e estabelece seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos.

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima constitui-se em um marco relevante para a integração e harmonização de políticas públicas, seguindo as diretrizes gerais da Política Nacional. O objetivo do Plano Nacional é identificar, planejar e coordenar as ações e medidas para mitigação das emissões de gases de efeito estufa geradas no Brasil, bem como àquelas necessárias à adaptação da sociedade aos impactos que ocorram devido à mudança do clima. O Plano estrutura-se em quatro eixos: 1) mitigação; 2) impactos, vulnerabilidades e adaptação; 3) pesquisa e desenvolvimento; e 4) capacitação e divulgação.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) define ações e medidas que visam à mitigação, bem como a adaptação à mudança do clima. O Plano Nacional de Mudança do Clima é um dos instrumentos da Política Nacional, regulamentado pelo Decreto 7.390/2010. Dentre as diretrizes da PNMC, ressaltam-se as medidas de adaptação para reduzir os efeitos adversos da mudança do clima e a vulnerabilidade dos sistemas ambiental, social e econômico. Além da promoção e o desenvolvimento de pesquisas científico-tecnológicas para mitigação da mudança do clima por meio da redução de emissões antrópicas por fontes e do fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa; redução das incertezas nas projeções nacionais e regionais futuras da mudança do clima; e identificação das vulnerabilidades para que sejam adotadas medidas de adaptação adequadas.

Para alcançar os objetivos da PNMC, o País adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020. Para os fins previstos nessa lei, mudança do clima é definida no seu *stricto sensu* como “direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela

provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis”.

Enquanto, dentro da mesma lei vulnerabilidade é definida como o “grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade, capacidade de adaptação, e do caráter, magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto, de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos”. O termo adaptação é definido como “iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima”.

Visando concretizar a implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima e contribuir para o alcance dos compromissos assumidos no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima foi instituído o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA). O PNA estabelecido pela Portaria nº 150 do MMA em 10 de maio de 2016, consiste em um instrumento elaborado pelo governo federal em colaboração com a sociedade civil, setor privado e governos estaduais para promover a gestão e a redução do risco associado à mudança do clima no país.

O Plano propõe identificar a exposição da zona costeira brasileira à mudança do clima, os impactos e vulnerabilidades relacionadas, e a indicação de ações necessárias ao desenvolvimento de sua resiliência climática. Prevê, ainda, a utilização de ferramentas de modelagem dos riscos climáticos e geração de respostas qualificadas na zona costeira; estratégia para compatibilizar a altimetria continental com a batimetria marinha (AltBat); e a revisão do Macrodiagnóstico da Zona Costeira, considerando a vulnerabilidade relacionada à mudança do clima.

Em escala estadual, Santa Catarina instituiu, através do Decreto Estadual 3.273/2010, o Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas Globais e de Biodiversidade, visando conscientizar e mobilizar a sociedade catarinense para discussão e tomada de posição sobre o fenômeno das mudanças climáticas globais. Em, 2007, foi aprovada a lei estadual 14.134, que dispõe sobre a obrigatoriedade da compensação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelos promotores de eventos realizados em praças e parques públicos através do plantio de árvores.

3.3 – Legislação Ambiental

Conforme reconhecido em avaliações anteriores do IPCC (BIJLSMA *et al.*, 1996; McLEAN *et al.*, 2001), medidas reativas isoladas para mitigação dos riscos relacionados a mudanças climáticas são menos efetivas do que respostas proativas que fazem parte da Gestão Integrada da Zona Costeira (GIZC), incluindo as políticas de planejamento nacional e regional a longo prazo (NICHOLLS *et al.*, 2007).

No entanto, segundo Souza (2009), no Brasil, as iniciativas para a recuperação das praias são principalmente locais (nível municipal) e movidas por situações de crise (reativas), predominando a construção de obras costeiras rígidas, em geral efetuadas sem estudos prévios e análises de impactos ambientais, não havendo o monitoramento da obra após sua conclusão.

As políticas de planejamento e ordenamento territorial, em especial aquelas na esfera da GIZC, pouco têm incorporado os conhecimentos adquiridos sobre os temas erosão e vulnerabilidade costeira, mudanças climáticas e elevação do nível do mar, resultando, muitas vezes, no desperdício de recursos financeiros públicos com a implantação de obras de engenharia costeira que acabam acelerando o processo erosivo. Além disso, são embrionárias as diretrizes e ações do poder público para lidar com o problema e suas causas (SOUZA, 2009). Inserido neste contexto, as seções subsequentes descrevem os conceitos de gestão do ambiente e de avaliação ambiental.

3.3.1 – Gerenciamento Costeiro Integrado

As zonas costeiras representam um dos maiores desafios para a gestão ambiental do País, especialmente quando abordadas em conjunto e na perspectiva da escala da União. Além da grande extensão do litoral e das formações físico-bióticas extremamente diversificadas, convergem também para esse espaço os principais vetores de pressão e fluxos de toda ordem, compondo um amplo e complexo mosaico de tipologias e padrões de ocupação humana, de uso do solo e dos recursos naturais, e de exploração econômica (MMA, 2018). O Gerenciamento Costeiro Integrado (GCI) surgiu da necessidade de se administrar os recursos naturais da zona costeira de forma sustentável (ASMUS *et al.*, 2004).

O GCI pode ser definido como um processo dinâmico e contínuo, pelo qual são tomadas decisões e ações para o uso sustentável, desenvolvimento e proteção de áreas costeiras e recursos marinhos (CICIN-SAIN & KNECHT, 1998); sendo necessária uma abordagem integrada, descentralizada e participativa para ser realizado com sucesso. Para o

fortalecimento da base legal destes processos decisórios, é preciso que os níveis governamental e social se integrem, visando à elaboração de um plano de ação politicamente aceitável. Uma das ferramentas, no contexto do GCI, é a Avaliação das Políticas Públicas.

A principal meta do GCI é melhorar a qualidade de vida das comunidades humanas que dependem dos recursos costeiros, conservando a diversidade biológica e a produtividade dos ecossistemas costeiros (GESAMP, 1996). Para cumprir este objetivo, três grandes metas devem ser observadas: 1) promover o desenvolvimento racional e sustentável das áreas costeiras e dos recursos naturais; 2) reduzir a vulnerabilidade das áreas costeiras e dos seus habitantes a desastres naturais; e 3) preservar e proteger a produtividade e a biodiversidade dos ecossistemas costeiros (CICIN-SAIN & KNETCH, 1998; ASMUS *et al.*, 2004).

No entanto, isto não deve ser encarado de forma tão simplista, pois alcançar tal meta consiste num amplo processo de articulação política, inclusive a política partidária existente, o que demanda cada vez mais um processo de integração e de envolvimento institucional nos mais diversos níveis de articulação política por meio do envolvimento dos mais diferentes interesses governamentais e não governamentais. O processo de GCI, segundo GESAMP (1996), deve ser desenvolvido buscando um balanço das atividades potenciais de forma a planejar os espaços costeiros e oceânicos, proporcionando condições para uma visão a curto, médio e em longo prazo, promovendo assim usos apropriados da zona costeira (POLETTE & SILVA, 2003).

O gerenciamento costeiro é, portanto uma ferramenta a ser utilizada pelas instituições sejam elas governamentais ou não, e todos os atores sociais nele interessados, para enfrentar de forma integrada os problemas visando reduzir a vulnerabilidade, garantir o uso sustentável e promover a conservação dos recursos costeiros (POLETTE *et al.*, 2008; CICIN-SAIN & KNETCH, 1998). A GIZC também é considerada uma ferramenta importante para abordar as muitas questões e desafios relativos às adaptações dos sistemas costeiros frente a mudanças climáticas, o aumento do nível do mar e outros desafios costeiros atuais e de longo prazo; tendo em vista que oferece vantagens sobre as abordagens puramente setoriais. Aumentar a capacidade de adaptação é uma parte importante da GIZC. A GIZC centra-se na integração e equilíbrio de múltiplos objetivos no processo de planejamento (NICHOLLS *et al.*, 2007).

3.3.2 – Gestão da Orla Marítima

O Decreto 5300 de 07 de dezembro de 2004 definiu normas gerais para a gestão ambiental da zona costeira, estabelecendo bases para a formulação de políticas, planos e programas federais, estaduais e municipais. Este documento possui alguns pontos relevantes como o enquadramento da orla marítima segundo aspectos físicos e processos de uso e ocupação predominantes (ALFREDINI, 2008). Para isso, define no seu art. 22, o conceito de orla marítima como sendo 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.

Já o Artigo 23 do mesmo Decreto define os critérios para delimitação da orla marítima, sendo estes: I – limite 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 – limite 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, lagunas, estuários, canais ou braços de mar, quando existentes, onde estão situados os terrenos de marinha e seus acrescidos. No Artigo 24, a gestão da orla marítima tem 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.

A proposta de delimitação adotada combina os critérios de fragilidade e/ou vulnerabilidade natural com as situações e ritmos de ocupação ocorrentes no litoral brasileiro. Estabelece, portanto, uma faixa de proteção da costa na perspectiva de manter as características paisagísticas e prevenir quanto à elevação do nível do mar, contemplando o "princípio da precaução" (FREIRE, 2002). Tais definições são derivadas de alguns anos de experiência do MMA na execução do Projeto Orla (OLIVEIRA & NICOLODI, 2012).

De acordo com o Decreto 5.300/2004, a gestão da orla marítima tem 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. A norma prevê que será elaborado o Plano de Intervenção da Orla Marítima, de modo participativo com o colegiado municipal, órgãos, instituições e organizações da sociedade. Dispõe ainda que o uso e ocupação da orla marítima devem ser compatibilizados com o Zoneamento Ecológico

Econômico Costeiro (ZEEC) ou outros instrumentos similares de ordenamento do uso do território.

O Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima - Projeto ORLA, implementado em 2001, é um instrumento do PNGC, legalmente estabelecido pelo Decreto 5300/2004. Este projeto consiste em uma ação integrada entre o MMA e a Secretaria do Patrimônio da União (SPU/MPOG), no âmbito do Grupo de Integração para o Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO). Foi desenhado tendo como base a necessidade de ordenamento dos espaços litorâneos sob domínio da União na Orla Marítima (pertencentes à Marinha), aproximando as políticas ambiental, urbana e patrimonial.

Trata-se, portanto, de uma política estratégica que contribui para qualificar a tomada de decisão com vista a cumprir a função socioambiental da orla marítima. Suas linhas de ação estão embasadas em métodos que exploram fundamentos de avaliação paisagística, a dinâmica geomorfológica e de uso e ocupação do litoral, para pensar cenários com rebatimentos na aplicação dos instrumentos de ordenamento do uso do solo para gestão da orla. A sua área de abrangência envolve 17 estados costeiros e cerca de 300 municípios defrontantes (MMA, 2006).

Os procedimentos técnicos para a gestão da orla marítima foram apresentados em dois documentos: o primeiro Fundamentos para Gestão Integrada (2002) apresenta a estrutura conceitual e os arranjos políticos-institucionais, como base para orientar e avançar na descentralização da gestão da orla para a esfera municipal. Focaliza a importância do Projeto como estratégia de resgate da atratividade desse espaço democrático de lazer, além dos aspectos intrínsecos de gestão patrimonial que interagem na sustentabilidade das ações de intervenção propostas pelos municípios envolvidos, por meio do incremento de receitas.

O segundo, Manual de Gestão (2002) orienta, por meio de linguagem técnica simplificada, o diagnóstico, a classificação e a caracterização da situação atual, a composição de cenários de usos desejados e respectivas ações de intervenção para alcançá-los. Esse elenco de ações consolida-se em um Plano de Intervenção, que adquire legitimidade quando busca formas efetivas de articulação e parcerias entre o governo e a sociedade, por meio de um Comitê Gestor.

Um terceiro documento de consolidação, Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão (2004), que discorre sobre o processo de construção do Projeto e incorpora o resultado de análises comparativas acerca das experiências internacionais sobre a matéria, com levantamento da melhor bibliografia disponível (ALFREDINI, 2008).

3.3.3 – Gerenciamento Costeiro e Licenciamento de obras

A Lei 7661/98, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, dispõe sobre as regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima. O Art. 6º da referida lei estabelece que:

“O licenciamento para parcelamento e remembramento do solo, construção, instalação, funcionamento e ampliação de atividades, com alterações das características naturais da Zona Costeira, deverá observar, além do disposto nesta Lei, as demais normas específicas federais, estaduais e municipais, respeitando as diretrizes dos Planos de Gerenciamento Costeiro”.

§ 1º - A falta ou o descumprimento, mesmo parcial, das condições do licenciamento previsto neste artigo serão sancionados com interdição, embargo ou demolição, sem prejuízo da cominação de outras penalidades previstas em lei.

§ 2º - Para o licenciamento, o órgão competente solicitará ao responsável pela atividade a elaboração do estudo de impacto ambiental e a apresentação do respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, devidamente aprovado, na forma da lei.

Não obstante, cuidou a mesma lei, em seu art. 5º, de conferir ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) a disciplina da tutela dos critérios e padrões de controle necessários para a garantia do sucesso do PNGC.

“Art. 5º - O PNGC será elaborado e executado observando normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, estabelecidos pelo CONAMA, que contemplem, entre outros, os seguintes aspectos: urbanização; ocupação e uso do solo, do subsolo e das águas; parcelamento e remembramento do solo; sistema viário e de transporte; sistema de produção, transmissão e distribuição de energia; habitação e saneamento básico; turismo, recreação e lazer; patrimônio natural, histórico, étnico, cultural e paisagístico.”

Trata-se, assim, de uma forma de interação entre planos, políticas e programas ambientalmente avaliados, licenciamento ambiental e a avaliação de impacto ambiental (AIA) de projetos (VIEIRA, 2012). Ressalte-se que a legislação ambiental relativa ao EIA/RIMA, nomeadamente a Resolução CONAMA 01/86, não se furta em determinar a interação entre AIA a possíveis planos e programas na área de influência do projeto. Segundo o Art. 5º da referida resolução o estudo de impacto ambiental, além de atender à legislação,

em especial os princípios e objetivos expressos na Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, deverá considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.

O Decreto Federal nº 5.300/04 que regulamenta a Lei 7661/88, institui as bases para a formulação de políticas, planos e programas federais, estaduais e municipais de gestão ambiental da zona costeira do País. Dentre os objetivos da gestão costeira, destacam-se a promoção do ordenamento do uso dos recursos naturais e da ocupação dos espaços costeiros e o controle sobre os agentes causadores de poluição ou degradação ambiental que ameacem a qualidade de vida na zona costeira.

O Capítulo III do referido Decreto estabelece as regras de uso e ocupação do solo. De acordo com o Art. 15: “A aprovação de financiamentos com recursos da União, de fontes externas por ela avalizadas ou de entidades de crédito oficiais, bem como a concessão de benefícios fiscais e de outras formas de incentivos públicos para projetos novos ou ampliação de empreendimentos na zona costeira, que envolvam a instalação, ampliação e realocação de obras, atividades e empreendimentos, ficará condicionada à sua compatibilidade com as normas e diretrizes de planejamento territorial e ambiental do Estado e do Município, principalmente aquelas constantes dos PEGC, PMGC e do ZEEC”. Entretanto, os municípios de Piçarras e Penha ainda não possuem o PMGC.

Quanto à instalação de equipamentos e o uso de veículos automotores, em dunas móveis, ficarão sujeitos ao prévio licenciamento ambiental, que deverá considerar os efeitos dessas obras ou atividades sobre a dinâmica do sistema dunar, bem como à autorização da Secretaria do Patrimônio da União do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão quanto à utilização da área de bem de uso comum do povo (Art. 18). A implantação de recifes artificiais na zona costeira observará a legislação ambiental e será objeto de norma específica (Art. 19).

O Capítulo V estabelece as regras de uso e ocupação da Orla Marítima. Segundo o 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. O Art. 34 postula que em áreas não contempladas por Plano de Intervenção, o órgão ambiental requisitará estudos que permitam a caracterização e classificação da orla marítima para o licenciamento ambiental de empreendimentos ou atividades. O Art. 12 do referido decreto estabelece que o IBAMA é o órgão responsável pela concessão do licenciamento ambiental dos empreendimentos ou

atividades de impacto ambiental de âmbito regional ou nacional incidentes na zona costeira, em observância as normas vigentes.

No Estado de Santa Catarina, a Lei Estadual 13.553/05, que institui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro do Estado de Santa Catarina, em consonância ao previsto no PNGC, define que “O licenciamento para parcelamento e remembramento do solo, e para construções e instalações na Zona Costeira Estadual, deverá observar, além do disposto nesta Lei, o previsto nas demais normas federais, estaduais e municipais afins” (Art 6º). A inobservância, mesmo que parcial, das condições de licenciamento dispostas neste artigo será penalizada com interdição, embargo e demolição, sem prejuízo da cominação de outras sanções previstas em lei.

Para o licenciamento o órgão competente solicitará ao interessado na obra ou atividade a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental – EIA, e a apresentação do respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, devidamente aprovados na forma da lei. A degradação dos ecossistemas, do patrimônio e dos recursos naturais da Zona Costeira Estadual implicará ao agente a obrigação de reparar o dano causado e a sua sujeição à penalidade de multa, na forma da normatização estadual afim (Art 7º).

Dentre os instrumentos presentes no PEGC, o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro - ZEEC é uma das ferramentas mais comuns de planejamento e gestão (ANDRADE, 2013). Em Santa Catarina, de acordo com o Decreto Estadual 5010/06, o Zoneamento Ecológico-Econômico tem por objetivo, o desenvolvimento harmonioso da Zona Costeira pela otimização das infraestruturas, do uso do espaço e do aproveitamento racional dos seus recursos. O Zoneamento definirá diretrizes e metas ambientais e socioeconômicas a serem alcançadas por meio de planos de gestão da zona costeira, a serem elaborados. Este Decreto definiu as zonas (terrestre e marinha) e estipulou os usos possíveis para as diversas áreas. Trata-se, portanto, de um “mecanismo de apoio às ações de monitoramento, licenciamento, fiscalização e gestão” (Decreto Federal nº 5.300/2004).

Os embasamentos legais do Zoneamento Ecológico Econômico encontram-se na Lei Federal nº 6398/81, denominada Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentado pelo Decreto Federal nº 4.297/2002. Este decreto estabelece os critérios mínimos que devem ser respeitados no que se refere aos zoneamentos ecológico-econômicos (Art. 1º). Segundo o referido decreto o ZEE é um instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de obras e atividades públicas e privadas, a fim de que se estabeleçam “medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a

qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população” (Art. 2º). O ZEE deve observar os princípios da função social da propriedade, da prevenção, da precaução, do poluidor pagador, da participação informada, do acesso equitativo e da integração (Art. 5º).

3.3.4 – Processo de Licenciamento de Obras no Brasil

Com a promulgação da *Lei da Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA* (Lei Federal 6.938/81) institui-se no país marco histórico no avanço dos mecanismos de tutela preventiva do meio ambiente, estabelecendo-se princípios e objetivos a serem seguidos. A PNMA propôs a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), composto por órgãos e entidades da União, Estados, Distrito Federal, dos Territórios, dos Municípios e Fundações, que seriam responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental. O SISNAMA tem como órgão superior o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Este responsável pelo estabelecimento das normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, a ser concedido pelos Estados e supervisionado pelo IBAMA (Art. 8º, I).

No Art. 9º da referida lei foram eleitos instrumentos específicos à garantia do cumprimento desta nova *política*, destacando-se, dentre eles: o *zoneamento ambiental* (inciso II), a *avaliação de impactos ambientais* (inciso III) e o *licenciamento ambiental* (inciso IV) para a instalação de obras ou atividades potencialmente poluidoras. Conforme previsto no Art. 10: “A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento ambiental”.

No que diz respeito às normas e aos critérios para o licenciamento ambiental, a Lei nº 6.938/1981 estabeleceu, em seu art. 8º, que:

Art. 8º. Compete ao CONAMA:

I - estabelecer, mediante proposta do IBAMA, normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, a ser concedido pelos Estados e supervisionado pelo IBAMA;

Uma das primeiras normativas deliberadas pelo CONAMA foi a Resolução Federal 001/86, que estabelecia procedimentos, critérios e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da PNMA. O termo Avaliação de Impacto Ambiental, nesta Resolução, limitou-se ao Estudo de Impacto Ambiental e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA). O Art. 2º desta Resolução assinala que dependerá de EIA/RIMA o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como projetos urbanísticos com área superior a 100 hectares ou para aqueles de relevante interesse ambiental, ficando, neste caso, a cargo do órgão ambiental competente a sua indicação.

Para a elaboração do EIA, as seguintes diretrizes e técnicas são fundamentais:

- Caracterizar o empreendimento;
- Contemplar alternativas tecnológicas e de localização de projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto;
- Identificar e avaliar os impactos ambientais nas fases de implantação e operação da atividade;
- Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto;
- Considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.
- Realizar o EIA através de equipe multidisciplinar habilitada e independente do empreendedor responsável pelo projeto;
- Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando aspectos do meio físico, biológico e socioeconômico.
- Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.
- Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos;
- Monitoramento constante dos impactos positivos e negativos;
- Avaliação das alternativas e estratégias – minimizar os efeitos negativos;
- Se for o caso, atestando a inviabilidade do mesmo;

O RIMA deve ser apresentado de forma objetiva, demonstrando de forma clara as vantagens e desvantagens do projeto, bem como todas as consequências ambientais de sua implementação. Deve ser apresentada a síntese dos resultados dos estudos de diagnósticos ambiental, com descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação do projeto; caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência e descrição das medidas mitigadoras para os impactos negativos; com acompanhamento e monitoramento dos impactos; e recomendação quanto à alternativa mais favorável.

Posteriormente, a Constituição da República, recepcionando os dispositivos retro expostos, incumbiu ao Poder Público a exigência do Estudo Prévio de Impacto Ambiental, conforme disposto no Art. 225 § 1º, IV, do Capítulo VI do Meio Ambiente. A saber:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem como de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º. Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

[...]

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

O Art. 225 estabelece ainda que a Zona Costeira é considerada patrimônio nacional, onde a sua utilização será feita na forma da lei, tendo em vista a preservação do meio ambiente. A consagração do Estudo de Impacto Ambiental como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente no texto constitucional dá a medida de sua importância e traduz a efetivação no direito positivo dos Princípios da Prevenção e da Precaução (SIQUEIRA, 2012). O texto constitucional corrigiu o equívoco técnico cometido pela legislação infra-constitucional (Art. 6º da Lei 7.661/81 e Art. 2º da Resolução CONAMA 01/86), consolidando o papel do EIA como modalidade de avaliação de obras ou atividades capazes de provocar ‘significativo’ impacto, e não de obras ou atividades simplesmente ‘modificadoras’ do meio ambiente (DEBONI, 2011).

A Resolução CONAMA 237/97, dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental. Efetiva a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental para controlar a construção, instalação e ampliação de empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou

potencialmente causadoras de ‘significativa’ degradação do meio, corroborando com o entendimento constitucional. Segundo o Art. 3º da referida Resolução:

“Art. 3º - A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual dar-se-á publicidade, garantida a realização de audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente, verificando que a atividade ou empreendimento não é potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente, definirá os estudos ambientais pertinentes ao respectivo processo de licenciamento.”

Significa que a modalidade de avaliação de impacto ambiental a ser executada dependerá da significância do impacto potencial do empreendimento. A definição de estudos ambientais está prevista no artigo 1º, inciso III, da mesma Resolução:

Art. 1º. Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

[...]

III – Estudos Ambientais: são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

O licenciamento ambiental previsto pela Lei 6938/81 é definido pela Resolução CONAMA 237/97, em seu Art. 1º, I como sendo o “procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso”.

De acordo com a referida resolução, em seu Art. 8º, são três as licenças que podem ser expedidas pelos órgãos ambientais. Estas licenças foram instituídas no Decreto 88351/83 que regulamente a PNMA.

- Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento. Aprova sua localização, concepção, viabilidade ambiental e estabelece os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos. Máximo de cinco anos de validade.
- Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento de acordo com as especificações constantes dos projetos aprovados, e sugere medidas de controle ambiental. Máximo de seis anos de validade.
- Licença de Operação (LO) - autoriza a operação empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento das medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação. Máximo de dez anos de validade.

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), por sua vez, é um instrumento da política ambiental formado por um conjunto de procedimentos realizados no âmbito do licenciamento ambiental capaz de assegurar, desde o início do processo, uma análise sistemática dos impactos ambientais de uma obra ou atividade proposta, bem como de suas alternativas. Pressupõe que os resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão, e que os mesmo sejam por ele devidamente considerados (FARINACCIO & TESSLER, 2010).

A AIA consiste em um subsídio a tomada de decisão. Através da AIA são apresentadas, aos responsáveis pela tomada de decisões, as recomendações necessárias para evitar ou diminuir os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente. Esse processo implica na identificação, previsão e avaliação das mudanças ambientais. A fim de identificar os impactos, descrevem-se os recursos existentes, as condições naturais e sociais, e também os limites e potencialidades existentes. A previsão dos impactos implica na estimativa das mudanças nos recursos naturais, e dos ecossistemas afetados pela atividade, a curto e longo prazo (FARINACCIO, 2008).

No que tange aos órgãos de licenciamento ambiental, o Estado de Santa Catarina conta com a Fundação de Meio Ambiente – FATMA. De acordo com a Lei 14675/09, compete a FATMA licenciar e fiscalizar as atividades públicas ou privadas consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental. No âmbito estadual a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA 003/2008, aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental pela FATMA e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento. Complementarmente, muitos municípios do Estado de Santa Catarina

possuem órgãos ambientais e de ordenamento do uso do solo e de atividades ligadas à pesca e/ou à maricultura (ANDRADE & SCHERER, 2014).

3.3.5 – Legislação Ambiental incidente no Licenciamento de Obras Costeiras

A Lei 9.636/98 prevê a necessidade de autorização do Ministério da Fazenda para a instalação de equipamentos e a realização de obras localizadas no mar, rios e quaisquer correntes de água, inclusive em áreas de praias, mangues e vazantes, ou em outros bens de uso comum, de domínio da União. Conforme disposto no Art. 6º, Capítulo III das Disposições Finais:

Art. 6º - A realização de aterro, construção ou obra e, bem assim, a instalação de equipamentos no mar, lagos, rios e quaisquer correntes de água, inclusive em áreas de praias, mangues e vazantes, ou em outros bens de uso comum, de domínio da União, sem a prévia autorização do Ministério da Fazenda, importará:

I - na remoção do aterro, da construção, obra e dos equipamentos instalados, inclusive na demolição das benfeitorias, à conta de quem as houver efetuado; e

II - a automática aplicação de multa mensal em valor equivalente a R\$ 30,00 (trinta reais), atualizados anualmente em 1º de janeiro de cada ano, mediante portaria do Ministério da Fazenda, para cada metro quadrado das áreas aterradas ou construídas, ou em que forem realizadas obras ou instalados equipamentos, que será cobrada em dobro após trinta dias da notificação, pessoal, pelo correio ou por edital, se o infrator não tiver removido o aterro e demolido as benfeitorias efetuadas.

As regras de utilização do solo presentes nos Planos Diretores municipais e as regras estaduais, como planos estaduais de gerenciamento costeiro, também devem ser observadas. O art. 4º da Lei Nº 9.537/97 estabelece que é competência do Ministério da Marinha regular a realização de obras às margens das águas sob jurisdição brasileira:

Art. 4º São atribuições da autoridade marítima:

I - elaborar normas para:

[...] h) execução de obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das águas sob jurisdição nacional, no que concerne ao ordenamento do espaço

aquaviário e à segurança da navegação, sem prejuízo das obrigações frente aos demais órgãos competentes;

A Norma da Autoridade Marítima (NORMAM-11/DPC) estabelece procedimentos para padronizar a emissão de parecer atinente à realização de obras sob, sobre e às margens das águas jurisdicionais brasileiras (AJB), no que concerne ao ordenamento do espaço aquaviário e à segurança da navegação. A referida norma corrobora com o art. 4º da Lei Nº 9.537/9, ao estabelecer que ao Diretor de Portos e Costas (DPC), como Representante da Autoridade Marítima para a Segurança do Tráfego Aquaviário, compete “determinar a elaboração das normas da Autoridade Marítima relativas à execução de obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das águas sob jurisdição nacional, no que concerne ao ordenamento do espaço aquaviário e à segurança da navegação”.

Portanto, dependerá de consulta prévia às Capitânicas (CP), Delegacias (DL) e Agências (AG) o início da execução das obras públicas ou particulares localizadas sob, sobre e às margens das AJB. O procedimento para solicitação de parecer prévio à construção e instalação de tais obras está regulado nos itens 0107 - Obras em Geral e 0108 - Portos ou Instalações Portuárias, Cais, Piers, Molhes, Trapiches, Marinas ou Similares, do Capítulo 1, da NORMAM 11.

As normas e procedimentos para padronizar a autorização para as atividades de dragagem e de emissão de parecer atinente a aterros, em águas jurisdicionais brasileiras (AJB), no que concerne ao ordenamento do espaço aquaviário e à segurança da navegação, foram estabelecidas nos itens 0201 a 0208, do Capítulo 2, da referida NORMAM.

Em relação às atividades de dragagem, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) aprovou a Resolução 344/2004, estabelecendo diretrizes gerais e procedimentos mínimos para a avaliação de material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras. O objetivo é subsidiar e harmonizar a atuação dos órgãos ambientais no licenciamento ambiental das atividades de dragagem, definindo os locais para disposição final a partir dos níveis de contaminação dos sedimentos.

A Resolução CONAMA 420/09 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Define, em seu art. 6º, V, contaminação como a presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou

pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico.

O Art.53 da Lei 12815/13, Capítulo XIII, institui o Programa Nacional de Dragagem Portuária e Hidroviária II, a ser implantado pela Secretaria de Portos da Presidência da República e pelo Ministério dos Transportes, nas respectivas áreas de atuação. Para fins do Programa, considera-se: dragagem a obra ou o serviço de engenharia que consiste na limpeza, desobstrução, remoção, derrocamento ou escavação de material do fundo de rios, lagos, mares, baías e canais.

3.4. Manual de Engenharia Costeira (CEM)

No Brasil não existem critérios bem estabelecidos para implantação de obras de engenharia costeira. Nos EUA, o planejamento, design, construção e operação das obras de defesa costeira e portuárias devem ser realizados em conformidade com os procedimentos estabelecidos no “*Coastal Engineering Manual*” (CEM, 2002). O CEM (2002) consiste em um documento técnico de engenharia costeira, elaborado pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (USACE).

O manual descreve os processos hidrodinâmicos, sedimentares e geomorfológicos da zona costeira; técnicas de modelagem numérica; e os procedimentos de planejamento e design de obras costeiras; incorporando as informações necessárias para a elaboração de uma ampla variedade de projetos na região costeira. Dentre os projetos descritos, citam-se os de estabelecimento ou aprimoramento da navegação em portos comerciais, terminais pesqueiros e marinas. Além de projetos para mitigação de processos erosivos, de proteção contra eventos extremos (furacões ou tempestades costeiras) e de restauração ambiental.

Como documento de substituição do *Shore Protection Manual* (1984) e de vários outros manuais desenvolvidos pelo USACE, o CEM (2002) está fundamentado em técnicas mais desenvolvidas e foi projetado para frequentes atualizações. Por apresentar instruções e padrões de fácil entendimento a seus usuários, este manual pode ser utilizado por engenheiros costeiros e pesquisadores do mundo inteiro. A descrição detalhada do processo de planejamento será apresentada na metodologia deste trabalho.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 – Caracterização da Área de Estudo:

A Enseada do Itapocorói, localizada no litoral Centro-Norte do Estado de Santa Catarina, é delimitada ao norte pelo Promontório de Itajuba e ao sul pela Ponta da Penha (Figura 8). O arco praial desta enseada apresenta uma extensão de 9,8 km. O segmento setentrional, junto ao Promontório de Itajuba, é aproximadamente retilíneo, com orientação NNW – SSE. Interrompido apenas por uma leve saliência em função da Laje do Jaques, um afloramento rochoso submerso que gera um diferencial de 6 a 1,5 metros na batimetria de ante-praia. O segmento meridional apresenta conformação recurvada, devido ao processo de difração da ondulação proveniente dos quadrantes sul, sudeste e leste no promontório da Penha. A praia Alegre juntamente a praia de Piçarras, ao norte, compreende a Enseada do Itapocorói, considerada um importante centro turístico regional, especialmente durante os meses de verão (HOEFEL, 1998; ARAUJO, 2008).

A praia Alegre, localizada no município de Penha, apresenta aproximadamente 1 km de extensão. Está delimitada entre as desembocaduras do rio Piçarras, a oeste, e do rio Iriri, a leste, junto ao promontório da Ponta da Penha. Apresenta uma baixa dinâmica e assume características de ambiente dissipativo (KLEIN & MENEZES, 2001), sendo classificada como terraço de baixa-mar por Short & Klein (2016). A praia de Piçarras, localizada no município de mesmo nome, apresenta aproximadamente 8,5 km de extensão de arco praial, delimitada, ao norte, pelo promontório de Itajuba, e ao sul, pela foz do Rio Piçarras. Adjacente à praia, estão localizadas as ilhas Feia e Itacolomi, ao sul e ao norte, respectivamente, que influenciam de forma direta as ondas incidentes na costa (ARAUJO, 2010).



Figura 8. Localização da área de estudo. Coordenadas Datum SAD-69. Fonte: Araujo, 2008.

4.1.1 – Contexto geológico e geomorfológico

A Planície Costeira Centro-Norte de Santa Catarina está constituída por dois grandes sistemas deposicionais: o Sistema Depositional de Encosta e o Sistema Depositional Laguna Barreira. O Sistema Depositional de Encosta inclui os depósitos e fácies continentais de origem terrígena associados aos flancos das elevações abrangendo colúvios, leques aluviais e porções dos aluviões mais continentalizados, geralmente datados do Quaternário indiferenciado (de 2MA AP até o presente). O Sistema Depositional Laguna Barreira, associado às variações relativas do nível do mar ocorridas durante o Quaternário, compreende depósitos pleistocênicos e holocênicos; (120ka-18ka e 5.1k AP), onde praias e depósitos eólicos aparecem com frequência segmentados por penínsulas, pontais, enseadas, baías e lagunas (DIEHL & HORN FILHO, 1996; HORN FILHO, 2003).

De acordo com o modelo de evolução da Planície Costeira apresentado por Villwock *et al.* (1986), o retrabalhamento dos depósitos de leques aluvionais durante os vários ciclos transgressivos-regressivos glacio-eustáticos do Quaternário, levou à geração de pelo menos quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, denominados, do mais antigo ao mais

moderno, de sistemas I, II, III e IV. Segundo os autores os sistemas I, II e III são de idade pleistocênica, sendo o sistema I o mais antigo, enquanto o sistema IV é de idade holocênica tardia (Figura 9). A área de estudo está inserida no Sistema Depositional Laguna Barreira III.

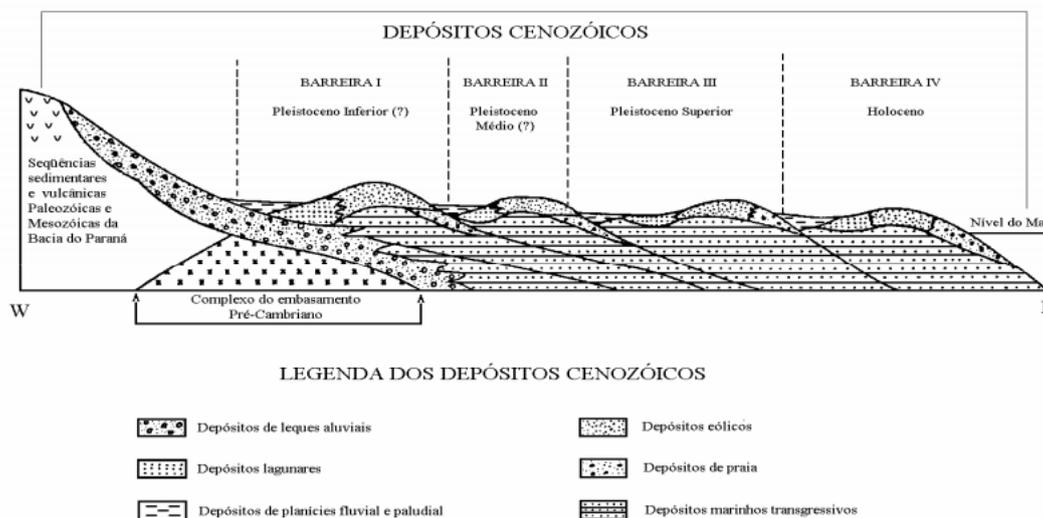


Figura 9: Perfil transversal esquemático (E-W) característico dos sistemas deposicionais do tipo Laguna Barreira (VILLWOCK *et al.*, 1986).

De acordo com Caruso Jr. (1995) antes da construção dos depósitos sedimentares da Barreira III (Pleistocênica), presente na porção Central e Norte da enseada, o rio Piçarras desaguava na altura de sua nascente, na porção central da enseada. Com a construção da barreira, o curso do rio foi desviado para o sul, desaguando próximo ao promontório da Ponta da Penha, onde as cotas topográficas são mais baixas (até 5m). Nessa região é verificado um significativo adensamento populacional. Na porção Central e Norte, em função das áreas pleistocênicas, as cotas são mais elevadas em relação às encontradas na porção Sul. Além disso, a vegetação de restinga é mais preservada e as residências encontram-se mais afastadas do perfil ativo da praia. Os terraços holocênicos, com exceção de algumas ocorrências no sul da enseada, foram completamente erodidos (Figura 10).



Figura 10: Sistema Depositional Laguna Barreira III - Enseada do Itapocorói. Nota-se o meandramento do rio para contornar essa formação sedimentar e desaguar no sul da enseada. Fonte: Silva, 2012.

4.1.2 – Caracterização geral das praias pertencentes à Enseada do Itapocorói

A descrição morfodinâmica das praias pertencentes à Enseada do Itapocorói foi definida por Klein e Menezes (2001), Klein (2004), Araujo (2008), Klein *et al.* (2009) e Gardelin (2010). Segundo os autores, os estágios morfodinâmicos são distintos entre si, variando de um ambiente dissipativo de baixa dinâmica (Praia Alegre), cuja praia apresenta uma maior largura e menor mobilidade do perfil praial; passando por um ambiente reflectivo semi-exposto (Piçarras Sul), até um ambiente reflectivo exposto (Piçarras Norte e Itajuba), cuja morfologia da praia apresenta uma alta variabilidade devido à maior exposição ao regime energético incidente.

A enseada de Itapocorói apresenta variações significativas de largura e volume de sedimento na porção subaérea. A partir da desembocadura do rio Piçarras em direção ao norte, a morfologia de praia apresenta uma alta variabilidade devido a maior exposição ao regime energético incidente, enquanto que na região sul da enseada (Praia Alegre) a praia possui maior largura e menor mobilidade do perfil praial (KLEIN & MENEZES, 2001; ARAUJO *et al.*, 2010).

Estudos realizados por ARAUJO *et al.* 2010, apontam que a Enseada de Itapocorói possui uma Zona de Erosão Acentuada (ZEA) ao norte do rio Piçarras, em uma região que corresponde a cerca de 500 metros de extensão. Nesta porção da enseada, os perfis transversais apresentaram alta variabilidade de volume e largura (entre 20 a 30%), diminuindo de sul para norte, na medida em que a largura e volume dos perfis aumentam.

Com relação à batimetria, o litoral Centro-Norte catarinense apresenta uma variação de Norte para Sul (ABREU, 1998). Segundo o autor as isóbatas na porção sul apresentam-se mais próximas entre si se comparadas com a porção central e norte do estado, o que sugere uma diminuição na declividade da plataforma interna adjacente na direção de sul para norte. A ausência aparente de bancos nesta região, e a granulometria relativamente grossa do sedimento proporcionam a quebra das ondas muito próximas da costa, com tipo de arrebentação classificada como mergulhante (HOEFEL, 1998; ARAUJO, 1998).

4.2 – Processos costeiros atuantes na área de estudo

4.2.1 – Características climáticas

O clima da região é subtropical úmido e mesotérmico, controlado pela interação de dois sistemas atmosféricos, o anticiclone tropical do Atlântico Sul e os anticiclones polares migratórios (Tessler e Goya, 2005). O sistema formado pelo anticiclone do Atlântico Sul é periodicamente perturbado pela passagem de frentes frias, originadas de Anticiclones Polares; resultando no predomínio de ventos anti-horário do quadrante Nordeste, periodicamente substituídos por ventos ciclônicos de sudoeste. Os sistemas polares são mais intensos e frequentes durante os meses de inverno e primavera, entretanto mesmo durante este período os ventos de nordeste são predominantes (TRUCCOLO *et al.*, 2000).

A temperatura média anual na região é de 20°C, apresentando elevados níveis de precipitação, com média anual de 1.500 mm (HOEFEL, 1998). A temperatura máxima

registrada é de 40°C e a mínima de 0°C. O município de Balneário Piçarras apresenta períodos de precipitação de maior intensidade, entre setembro e março, e períodos menos intensos, de abril a agosto, sendo a média de 146 mm. O mês mais chuvoso é janeiro com média de 283 mm, e o menos chuvoso é agosto, com média de 96 mm. Estes dados foram analisados a partir de registros de 25 anos (1980 a 2005), da Estação Meteorológica da EPAGRI/CIRAM, por Caruso Jr. (2009).

4.2.2 – Aspectos Oceanográficos

4.2.2.1 – Marés e Cota de Inundação

De acordo com a classificação de Davies (1964), a área de estudo apresenta regime de micro-maré mista, com predominância semidiurna. SCHETTINI *et al.* (1999) ressaltam que há desigualdade de altura para preamares e baixamares consecutivas. A maré astronômica local apresenta uma altura média de 0,8m, com máximas de 1,2m durante os períodos de sizígia, e mínimas de 0,3m durante os períodos de quadratura. A maré meteorológica possui grande influência na dinâmica costeira da região. Devido à passagem de frentes frias, pode ocorrer elevação de 1m em relação ao nível da maré astronômica (TRUCCOLO, 1998).

No estudo de Silva (2012), através da análise da série de dados de marés disponível entre 1948 e 2008, foi constatado para a Enseada do Itapocorói o valor mínimo de maré meteorológica de - 0,88m e o máximo de 1,31m, totalizando uma amplitude de 2,19m. O valor mínimo de maré astronômica foi de - 0,77m e o máximo de 0,66m, totalizando 1,43 m (SILVA, 2012). A cota de inundação para os setores expostos e protegidos da Enseada do Itapocorói também foi calculada por Silva (2012) para cada hora da série de 60 anos, somando-se o *wave runup*, maré astronômica e meteorológica. Foi calculada a cota atingida durante 50% do tempo e por eventos extremos com tempo de recorrência de 50, 100 e 200 anos, considerando a previsão de elevação do nível do mar para o mesmo período. Dados de elevação do nível do mar baseados na projeção do IPCC (2007), que estão entre 0,18m e 0,59m acima do nível atual até 2100. Foi considerada a previsão mais pessimista, sendo a elevação de aproximadamente 0,63cm/ano. Em 50 anos obteve-se o valor de 0,325m, para 100 anos o valor de 0,63m e para 200 anos o valor de 1,26m.

O autor verificou que durante 50% do tempo a cota atingida na Enseada do Itapocorói foi de 1,35m no setor exposto, enquanto nos setores semiexposto, semiprotégido e protegido foi de 1m, 0,9m e 0,7m respectivamente. O setor exposto foi o que apresentou maiores cotas atingidas, sendo 3,45m, 3,85m e 4,45m com período de recorrência de 50, 100 e 200 anos, respectivamente. No setor semiexposto, os valores calculados foram de 2,85m, 3,25m e 3,9m. No setor semiprotégido, as cotas foram de 2,65m, 3,05m e 3,75m. Já o setor protegido apresentou as menores cotas entre os setores, 2,4m, 2,85m e 3,5m, respectivamente, para 50, 100 e 200 anos de tempo de recorrência. Considerando a extensão da área costeira que possui um levantamento de topografia do terreno, 2,4 % da área é inundada durante 50% do tempo, subindo para 26%, 29% e 33% nos casos de recorrência com 50, 100 e 200 anos (SILVA, 2012).

4.2.2.2 – Clima de Ondas Regional e Local

Medições não direcionais do clima de ondas realizadas na Enseada do Itapocorói na década de oitenta, com um sensor de pressão fundeado a 10m de profundidade ao largo da Ponta da Penha, indicaram alturas de onda junto à costa entre 1m a 1,5m, com períodos de 7s a 8s, respectivamente (JICA, 1990). Observações visuais também mostraram um aumento progressivo da altura de onda em direção ao norte da enseada devido à maior exposição da linha de costa ao ataque das ondas provenientes dos quadrantes sul e sudeste (JICA, 1990; KLEIN e MENEZES, 2001; ARAUJO, 2008).

Alves & Melo (2001) realizaram um estudo de medições do espectro direcional de ondas geradas pelo vento para a determinação do clima de ondas no litoral Norte de Santa Catarina. Foram utilizados dados coletados em 1996, a partir de um ondógrafo direcional fundeado a 18m de profundidade, ao largo da Ilha de São Francisco do Sul - SC. Quatro estados de mar predominantes foram identificados: vagas de Leste-Nordeste, vagas de Sul-Sudeste, Lestada e ondulações de Sudeste. O processamento das séries temporais apontou a predominância de ondas incidentes de Leste (50%), com altura significativa entre 0,5m e 1,5m e período de pico entre 6s e 11s. Ondulações de Sudeste corresponderam a 25% das observações, com alturas significativas de 0,5m e 2,0m, e período de pico entre 7s e 16s.

Araújo *et al.* (2003), através da análise de dados do ondógrafo da UFSC, localizado na isóbata de 80 m de profundidade ao largo da Ilha de Santa Catarina, entre janeiro de 2002 a janeiro de 2003, constataram que o espectro de ondas é predominantemente bimodal.

Foram identificados *marulhos de Sul* com altura significativa entre 1,25m (verão) a 2m (inverno) e período de 12s; e *vagas de leste* bem definidas com altura média de 1,25m e período de 8s. Segundo os autores, a ocorrência de *marulhos* é predominante nos períodos de inverno e de outono, na primavera predomina a ocorrência de *vagas*, já nos meses de verão ocorre equilíbrio entre os dois estados de mar. Alturas de onda maiores que 4 metros podem ocorrer em todas as estações do ano, porém com baixa frequência e associadas a eventos extremos (ARAÚJO *et al.*, 2010).

Franco e Melo Filho (2008), no período de janeiro de 2002 a agosto de 2005, monitoraram as condições de agitação marítima ao largo da Ilha de Santa Catarina, com o ondógrafo da UFSC. Os autores constataram situações dominadas por um único sistema de ondas em 65% dos registros espectrais, em 32% dos casos a presença de 2 sistemas, e nos 3% restantes a ocorrência de três diversos sistemas. Verificaram que a agitação marítima apresenta padrões mais complexos durante o Verão e o Outono, com maior presença de um único e dominante sistema de ondas no Inverno e Primavera. No período analisado, a altura significativa variou entre 1,3 m e 2,0 m. Anualmente, mais de metade dos espectros amostrais (55%) apresentaram altura significativa na faixa entre 1.00 m e 1.75 m.

Gomes *et al.* (2008), observaram a superestimação da altura de onda pelos modelos numéricos, especialmente para ondas de maiores períodos e provenientes de sudeste. Analisando o período de medições realizado pelo ondógrafo da UFSC, entre 2002 e 2005, os autores identificaram uma evidente concentração de picos de energia de ondas nas direções Sul (21%) com altura até 3m; e nas direções Sul-Sudeste (16%) e Leste-Nordeste (15%), com altura até 2,5m. Em relação ao período de pico, destacaram-se períodos entre 10s e 11s (18%) e entre 11s e 12,5s (14%).

Signorin (2010), utilizando modelagem numérica a partir de dados de vento, observou uma sazonalidade bastante pronunciada na região da Enseada do Itapocorói. Durante os meses de primavera e verão há grande contribuição das ondas de Leste e Sudeste (50% e 40%, respectivamente). Nos meses de outono e inverno cresce a importância das ondulações de Sudeste (~ 60%). Estes meses também se apresentaram como os mais energéticos, conforme os cálculos do fluxo de energia. A porção Sul da enseada é a mais protegida de todas as direções de ondulação em função da presença do Promontório da Penha e das ilhas Itacolomi e Feia.

No estudo de Silva (2012), através da análise da série de dados disponível entre 1948 e 2008, foi constatado para a Enseada do Itapocorói, em águas profundas, que as ondas de

maior ocorrência possuem altura entre 1,5m e 2,0m. Raramente ocorrem ondas maiores que 4m, sendo a maior altura encontrada de 8m. Segundo o autor, esse fato pode estar relacionado à propagação na direção Sul-Sudeste, a qual sofre processos de refração e difração ao se propagar para a zona de estudo, reduzindo a altura de onda observada na costa. Próximo à costa, foi verificada uma diminuição da altura significativa de ondas, sendo as ondulações mais frequentes com altura significativa por volta de 1m, a maior altura encontrada de 5,2m. Verificada a predominância de ondas de Sudeste. A presença da Ilha de Santa Catarina e do promontório de Penha geram uma zona de sombra na enseada, protegendo-a das ondulações de Sul. Ondas de Leste e Nordeste presentes em menor frequência.

Almeida (2013) ao avaliar a dinâmica marinha da praia de Piçarras, verificou que as ondas em frente à praia (ondas externas) são predominantemente compostas por quatro direções (ENE, E, ESE e SE), que em conjunto representam 93%, e têm valores característicos da altura das ondas de tempestades anuais (H_{s12}) e período de pico (T_{p12}) em torno de 2,5 m e 15 s. Os valores médios são em torno de 1.1m para a altura da onda ($H_{s50\%}$) e 7.2s para o período de pico ($T_{p50\%}$). Após a disseminação dos casos, na área de estudo verificou-se que a região norte da Praia de Piçarras sempre possui H_s maior que a região sul, devido a efeitos de refração (principalmente para ondas de ENE), difração e empinamento (principalmente para ondas de ESE e SE).

Ribeiro (2014) quantificou os processos de transformação de ondas com múltiplos pontos de difração através da análise de dados coletados *in situ* na Enseada do Itapocorói, entre agosto e setembro de 2011. As medições foram realizadas com ADCPs em três estações amostrais. Na estação mais externa os valores máximos de altura significativa atingiram 3m, com as direções distribuídas entre 80° e 140° , refletindo a proteção proporcionada pela Ponta da Vigia frente à ondulações de Sul e Sul-Sudeste e a ausência de ondulações provenientes de Nordeste no período. Os períodos de pico oscilaram entre dois valores principais: 12s, que reflete as ondas mais longas provenientes de SE; 8s, que reflete ondas geradas mais próximas à costa, associadas à direção de Leste. Ao se propagar para águas rasas, as ondas reduzem drasticamente sua altura, que diminui quase 80% quando são medidas na região mais abrigada da enseada.

Em CEPAL (2015) foi apresentada uma reconstrução histórica regional da dinâmica de ondas ao largo do estado de Santa Catarina. Esta base contém informações históricas entre fevereiro de 1979 e dezembro de 2010, com resolução temporal horária e resolução espacial de, ao menos, 1km. Os resultados apresentados demonstram que a altura de onda média varia

na ordem dos 2,0m em águas profundas a 1,5m nas proximidades da costa, com valores similares ao longo desta (CEPAL, 2015). Na parte norte do estado de SC, onde encontra-se a Enseada do Itapocorói, as ondas incidem com uma direção média de leste. Em relação à altura de onda máxima, foram reportados valores na ordem de 6,0m até profundidades próximas à costa, reduzindo-se até os 4,0m para profundidades inferiores aos 40,0m. O período médio anual observado da ordem de 5s, com valores de período de pico da ordem de 8s no norte. Uma sazonalidade do clima de ondas é verificada, sendo o verão (dezembro, janeiro, fevereiro) a estação menos energética, com valores de altura de onda na ordem de 1,4 a 1,8m. Os meses de setembro, outubro e novembro são os mais energéticos, com valores médios de altura de onda na ordem de 2,2m em águas profundas e valores da ordem de 1,8m em profundidades próximas à costa (CEPAL, 2015).

4.2.2.3 – Correntes de Deriva Litorânea

De acordo com FitzGerald *et al.* (2007), o sentido da deriva litorânea líquida é predominantemente Norte, entretanto as direções e intensidades são altamente variáveis e dependentes de modelos de refração de ondas locais. Abreu de Castilhos *et al.* (2004) através da modelagem de propagação de ondas no litoral Norte de Santa Catarina verificaram o desenvolvimento de zonas de convergência de energia, associadas a ondas provenientes de SE e E, as quais podem estar relacionada aos intensos processos erosivos ocorrentes nessa região. Por outro lado, constataram que a incidência de ondas do quadrante Sul, mais energéticas, é responsável pelo transporte de sedimentos líquido em direção ao Norte, intensificando o processo erosivo. A predominância da ocorrência de ondas de S e ESE (60%), seguida de SE (27%) foi verificada por Alves (1996). Neste contexto, devido à baixa incidência de ondas do quadrante Norte, o vetor resultante das correntes longitudinais indica deriva litorânea líquida em direção Norte.

Abreu (2011) buscou aprofundar a compreensão da interação entre processos longitudinais e ortogonais na definição do comportamento morfodinâmico do perfil praiar. A pesquisa foi desenvolvida a partir do exemplo de sistemas praias de diferente configuração planimétrica do litoral norte de Santa Catarina, submetidos à incidência oblíqua de ondas de S/SE e ENE. A modelagem do regime de ondas evidenciou a ocorrência de fluxo hidrodinâmico longitudinal dominante para norte, com intensidade modulada pelo grau de exposição das praias. O balanço sedimentar confirmou a ocorrência de deriva

litorânea resultante para norte, associada à incidência de ondas de quadrante sul. As taxas de transporte oscilaram entre 200.000 a 550.000m³/ano nas praias expostas e entre 20.000 a 200.000m³/ano nas praias mais protegidas. Os resultados da pesquisa indicaram maior influência dos processos longitudinais no comportamento morfodinâmico do perfil praiial nos setores praiiais menos expostos. Nos setores praiiais mais expostos, o comportamento do perfil praiial sugere maior interação entre processos ortogonais e longitudinais.

Para avaliação da dinâmica do litoral de Piçarras, Almeida (2013), identificou três setores de análise: setor 1 (zona norte / central da praia de Piçarras), setor 2 (área sul da praia de Piçarras), e setor 3 (praia Alegre e promontório sul). Segundo a referida autora, o sistema circulatório gerado pelas ondas externas, predominantemente das direções ENE, E, ESE e SE, é caracterizado por correntes paralelas à zona central / norte da praia de Piçarras, que variam de direção conforme a obliquidade da onda incidente.

Entretanto, o transporte de sedimentos originário do setor 1 não se comunica com o setor 2, devido à presença da Laje de Piçarras (círculo amarelo, Figura 11). Esta funciona como um ponto de controle para esta região da praia, atuando como um dique, que bloqueia as correntes resultantes dos trens de ondas de ENE e E, ocasionando acúmulo de sedimentos, e é o “ponto de início” das correntes geradas pelas ondas de ESE, em direção ao Norte, que causam erosão de sedimento (círculo verde, Figura 11). Como as ondas de ESE representam mais de 50% dos estados de mar na região da praia de Piçarras, assume-se que, no setor 1, o transporte líquido é em direção ao Norte. No setor 2, após a retificação do rio Piçarras, a corrente gerada é sempre em direção ao Sul, de baixa magnitude, mas constante. Este setor não se encontra em equilíbrio, verificado processo erosivo devido à ação constante da corrente, visto que o mesmo não recebe aporte sedimentar do setor 1, nem do setor 3. Na praia Alegre, setor 3, uma corrente se forma em direção ao norte, adjacente ao promontório. Observado estabilidade do sistema, devido a convergência das correntes geradas neste setor com a do setor 2, nas proximidades da foz do rio Piçarras, as quais seguem perpendiculares à costa e retornam ao promontório, formando uma célula fechada. Na Figura 11 é possível observar o sistema de correntes gerado por ondas de ESE (ALMEIDA, 2013).

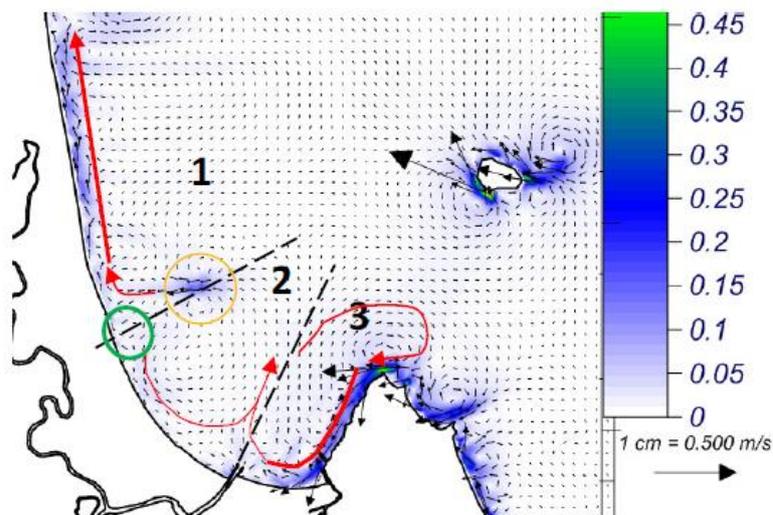


Figura 11: Avaliação do sistema de correntes na área de estudo gerada por uma onda associada à condição de uma tempestade, na maré alta, ondas de ESE. Fonte: Almeida (2013).

4.3 – Processo evolutivo da ocupação da área de estudo

Balneário Piçarras surgiu da vocação natural dos portugueses pela pesca. Sua origem étnica remete aos colonizadores paulistas e a povoação da Ilha de Nossa Senhora da Graça, em São Francisco do Sul. Na segunda metade do século XVIII, pescadores portugueses oriundos de São Francisco do Sul desceram à costa a procura de novos locais para caça e beneficiamento de baleias. Alguns desses estabeleceram-se na Ponta do Itapocorói. A fartura de baleias e as condições marítimas foram decisivas para a fundação do povoado nessa região. Em 1977, foi fundada a Armação do Itapocorói, núcleo inicial dos municípios de Penha e Piçarras (EAS, 2010).

Neste período, houve a intensificação do comércio de derivados de baleia. Essa intensificação econômica atraiu muitas famílias, durante o final do século XVIII e o início do século XIX, constituindo o povoado de Piçarras. Com a extinção progressiva da baleia, ocorreram modificações no panorama econômico e político da região. O município de Balneário Piçarras, cujo processo de povoamento remete a 1758, pertencendo a São Francisco do Sul, Itajaí e Penha, teve sua emancipação política em 14 de dezembro de 1963. O município de Penha foi elevado à categoria de município em 21 de junho de 1958, cinco anos antes de Balneário Piçarras (ACQUAPLAN, 2010).

O desenvolvimento turístico de Piçarras teve início em 1941, com a construção de uma estrada ligando Itajaí a Joinville, que possibilitou um maior acesso às praias da região,

e foi intensificado após a implantação da BR 101. Na década de 1970, foi realizada a retificação e fixação da barra do rio Piçarras, o aterro das lagoas ao lado do rio para construção de edificações, e a construção da avenida beira mar. Estas medidas intensificaram o processo ocupacional da praia de Piçarras, com o crescimento acelerado do número de habitantes, de edifícios e infraestruturas próximas à orla (WILLIAMS & MICALLEF, 2009).

Ao longo dos anos, Piçarras tornou-se um importante centro recreativo (WILLIAMS & MICALLEF, 2009). No entanto, a rápida urbanização na zona costeira, ocorreu sem um planejamento adequado, desencadeando processos erosivos, principalmente após eventos de tempestade ou períodos chuvosos (INPH, 1986). O município de Penha possui uma infraestrutura voltada ao turismo de verão e ao desenvolvimento da atividade de maricultura.

4.4 – Considerações sobre o Plano Diretor e o Zoneamento da área de estudo

4.4.1 – Plano Diretor do Município de Balneário Piçarras

O Plano Diretor Municipal é um dos instrumentos básicos da política de desenvolvimento e de expansão urbana, na abordagem local ou municipal. Nele são estabelecidas “diretrizes para a ocupação do município, com base em características físicas, atividades predominantes, vocações, problemas e potencialidades” (MMA, 2008). Este instrumento é estabelecido pela Lei Federal 10.257/2001, denominada Estatuto da Cidade, lei essa que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988 referentes à Política Urbana. Ressalta-se que, segundo o Decreto Estadual 5.010/2006, na implantação de planos diretores municipais, obras e atividades públicas e privadas deverão ser obrigatoriamente seguidos os instrumentos do Gerenciamento Costeiro pertinentes.

No município de Balneário Piçarras, a Lei Complementar 003/2009, institui o Plano Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável - PMDU, em conformidade com as diretrizes e instrumentos estabelecidos pelo Estatuto da Cidade. O PMDU visa propiciar melhores condições para o desenvolvimento e o bem-estar da população e é o instrumento básico, global e estratégico da política de desenvolvimento urbano do Município, determinante para todos os agentes públicos e privados que atuam na cidade (Art. 2).

O objetivo geral do PMDU de Balneário Piçarras é ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, assegurando o direito dos cidadãos e o bem-estar da população através de diretrizes que garantam o desenvolvimento do

Município, que preservem o equilíbrio entre o crescimento demográfico, econômico e social e priorizem a boa qualidade de vida urbana e rural (Art. 6). O PMDU visa o desenvolvimento integrado da comunidade (Art. 7).

Estabelece, em seu Art 24, diretrizes gerais para proteção, conservação e recuperação das características ambientais e dos ecossistemas do Município. Dentre estas se destacam: o estabelecimento da Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo, o zoneamento ambiental do Município (inciso II); e a viabilização da manutenção do aterro hidráulico da faixa de areia da praia e a implantação de estruturas de contenção desta areia objetivando combater a erosão da orla marítima como forma de proteger, conservar e recuperar as características ambientais e dos ecossistemas do Município (inciso V).

A Lei Complementar 005/2009, dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo urbano e rural no município de Balneário Piçarras. O zoneamento é definido em seu Art. 8º como a divisão do Município de forma a dar a cada região a utilização mais adequada em função das diretrizes estabelecidas no PMDU - Balneário Piçarras, do sistema viário, da topografia, da geografia, demais aspectos geomorfológicos das áreas, e da infra-estrutura existente, através da criação de zonas de uso e adensamento diferenciados.

A área do Município fica dividida nas seguintes zonas conforme o uso a que se destina em: I - Zonas de Interesse Ambiental; II - Zonas Especiais; III - Zona Residencial; IV - Zona Comercial; V - Zona de Desenvolvimento Industrial; VI - Zona Rural; VII - Núcleos Rurais; e VIII - Zona de Desenvolvimento Misto (Art. 9). As Zonas de Interesse Ambiental visam assegurar a qualidade de vida urbana do ponto de vista ambiental e do lazer, distribuindo-se em: I - Zona de Preservação Permanente - ZPP; e II - Zona de Proteção Ambiental - ZPA (Art. 11).

De acordo com o Art. 12 da referida lei, a faixa de terra de largura de 50 metros marginal ao rio Piçarras constitui ZPP. É importante ressaltar que nas ZPP é proibido o parcelamento do solo, edificação e construção (Art. 13). Serão admitidos apenas os usos de preservação, conservação, pesquisa científica, educação ambiental, recreação e lazer, desde que com licenciamento do Órgão Ambiental competente (Art. 14). Nas ZPA, conforme análise e parecer do Órgão Municipal de Planejamento Urbano, do Órgão Municipal de Meio Ambiente e da Comissão Técnica de Urbanismo, poderão ser permitidos a manutenção e conservação da faixa de areia da praia (Art. 18, VI).

As Zonas Especiais de Interesse Público – ZEIP objetivam assegurar a qualidade de vida urbana e rural do ponto de vista social, ambiental, turístico e do lazer, e a elaboração de

um plano de urbanização e zoneamento próprios, que assegure a satisfação das diversas necessidades da cidade, em constante processo de mutação (Art. 28). No art. 29 são consideradas ZEIP: áreas da faixa beira-mar, com necessidade de controle da ocupação para preservação da paisagem, locação de equipamentos públicos, preservação de remanescentes de vegetação de dunas e/ou restinga (inciso II); e a faixa de terra da orla marítima em toda a extensão do Município e numa largura de 24 metros a contar da linha média entre o final da faixa de areia e o início da vegetação de dunas e/ou restinga (inciso IV).

Em relação ao município de Piçarras, é importante ressaltar a criação do Fundo de Manutenção da Praia de Piçarras – FUMPPRA, através da Lei Complementar 36/2001, sancionada em 27 de junho de 2001. De acordo com o Art. 1º da referida lei: *“Fica criado o Fundo de Manutenção da Praia de Piçarras - FUMPPRA com a exclusiva finalidade da reposição sucessiva da areia da praia levada pelas ressacas ou sob efeito de eventuais acidentes naturais”*.

4.4.2 – Plano Diretor do Município de Penha

A Lei Complementar 002/2007, institui o Código Urbanístico, que define seus princípios, políticas, estratégias e instrumentos para o desenvolvimento municipal e para o cumprimento da função social da cidade e da propriedade do município de Penha, também denominado Plano Diretor. Este código também estabelece as normas de parcelamento, uso e ocupação do solo, o sistema viário, o perímetro urbano e providências similares. O Código Urbanístico do município de Penha é o instrumento orientador básico e estratégico da política de desenvolvimento e expansão do município, determinante para os agentes públicos e privados que atuam no território municipal e tem como objetivo principal ordenar o desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade rural e urbana (Art. 3).

O macrozoneamento estabelece o ordenamento do território conforme as características sócio-espaciais do município e com a finalidade de definir diretrizes para a ação do poder público no território municipal, de forma a atender os princípios, objetivos gerais, políticas e estratégias deste código urbanístico, bem como servir de suporte às normas de uso, ocupação e parcelamento do solo (Art. 18). O Macrozoneamento do Município de Penha divide-se em: I - Macrozona Rural; II - Macrozona Urbana de Proteção Ambiental; III - Macrozona Urbana de Ocupação Orientada; IV - Macrozona Urbana de Consolidação; V - Macrozona Urbana de Qualificação; VI - Macrozona Urbana de Uso Específico; VII -

Zonas Especiais de Interesse Social; VIII - Zona Especial de Desenvolvimento Turístico; IX - Zona Especial de Conservação Ambiental; X - Zona Especial de Ocupação Tradicional; XI - Zona Especial do Morro da Penha; XII - Setor Especial da Orla; XIII - Setor Especial de Mineração; XIV - Eixo Regional; XV - Eixo Turístico; e XVI - Eixo da Orla (Art. 19).

A Zona Especial de Desenvolvimento Turístico compreende à área situada na Praia Alegre e entorno, com potencial para desenvolvimento de turismo náutico integrado ao turismo de sol e praia (Art. 39, I). A Zona Especial de Desenvolvimento Turístico tem como objetivos mínimos: I - Estabelecer normas e parâmetros especiais, adequados às necessidades específicas apresentadas por empreendimentos turísticos e pelo consequente adensamento da área; II - Utilizar o instrumento de Operação Urbana Consorciada para viabilizar a infraestrutura necessária ao adensamento populacional, bem como a criação de áreas de lazer e conservação ambiental no entorno; e III - Produzir um plano de urbanização e zoneamento próprio, com fins a atender à complexidade do local (Art. 40).

O Setor Especial da Orla se sobrepõe às macrozonas e reúne as áreas da faixa beira-mar, com necessidade de controle da ocupação para preservação da paisagem (Art. 47). O Setor Especial da Orla tem como objetivos, além de atender às diretrizes constantes das macrozonas a que se sobrepõe, orientar as políticas públicas no sentido de: I - Minimizar os impactos ambientais provocados pela ocupação urbana na faixa beira-mar; II - Preservar a paisagem de sol e praia, garantindo o acesso às praias e a circulação ao longo da orla; e III - Estabelecer um padrão de escalonamento do gabarito das construções ao longo da faixa beira-mar (Art. 48).

5. METODOLOGIA

5.1 – Construção das Fases de Pesquisa:

A proposta da pesquisa parte da premissa de que grande parte do processo de ocupação e ordenamento urbano, e de implantação de medidas de proteção no Brasil, especificamente no litoral de Santa Catarina, foram realizadas sem estudos prévios ambientais e sem o seguimento de um Processo de Planejamento e Design adequado.

A Enseada do Itapocorói, área de estudo escolhida para o levantamento e análise das obras costeiras, apresenta um alto índice de ocupação, concentrado principalmente na orla marítima, histórico erosivo, com diferentes tipos e dimensões de obras de proteção. A

maioria das estruturas foi conhecidamente implantada através da realização de estudos prévios incipientes, e sem a proposição de medidas mitigadoras compensatórias.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram consideradas três fases principais de trabalho, sendo a primeira fase de identificação e classificação das obras costeiras; a segunda correspondente à análise dos projetos de engenharia segundo normas internacionais (CEM, 2002), legislação brasileira e frente a cenários atuais e de elevação do nível médio do mar; e a terceira correspondente a avaliação e desenvolvimento de um Roteiro-Guia para implantação de medidas de adaptação costeira. A seguir são apresentadas as metodologias aplicadas durante a pesquisa em cada uma das fases de trabalho.

5.2 – Classificação das Obras de Engenharia Costeira – Fase 01

Para a primeira fase, através de pesquisa documental dos projetos de implantação de obras costeiras em acervos de instituições governamentais, não governamentais e bibliotecas, foram adquiridos materiais para caracterização física da área de estudo e do histórico do processo de ocupação urbana. Concomitantemente, foi realizado o levantamento das medidas de proteção instaladas na Enseada do Itapocorói.

As obras de engenharia costeira foram classificadas de acordo com o modelo proposto por Hill (2015). Através do histórico de diferentes práticas de engenharia, as estruturas costeiras foram divididas em quatro categorias: *estruturas rígidas fixas*, *estruturas rígidas móveis*, *obras de aterro fixas* e *obras de aterro móveis*. Essa metodologia foi aplicada na região da Baía de São Francisco, Califórnia, para auxiliar os tomadores de decisão na seleção das medidas de adaptação ao nível do mar mais adequadas. No Brasil, ainda não existem experiências deste tipo de aplicação.

5.3 – Análise dos Projetos das Obras – Fase 02

A segunda fase consiste na análise dos projetos de implantação de obras costeiras realizados na Enseada do Itapocorói. A análise foi efetuada segundo o Processo de Planejamento e de Design, descrito no *Coastal Engineering Manual* (Anexo II). Para isto, foram utilizadas listas de verificação ou controle, confeccionadas com base na metodologia adotada, contendo todas as etapas a serem desenvolvidas, além de aspectos geomorfológicos, meteorológicos, hidrodinâmicos da área de estudo e de dados econômicos, ambientais e de engenharia da obra estudada.

Posteriormente foi realizada a compilação dos dados adquiridos e sua integração em ambiente SIG, com o uso do *software* ARCGis, para a padronização dos dados. Através do levantamento da legislação aplicável a áreas litorâneas foi verificado se as obras costeiras foram desenvolvidas de acordo com esta. Saídas de campo foram realizadas para verificação da situação atual das estruturas e avaliação do impacto das mesmas sobre o meio ambiente. Fotografias aéreas foram obtidas em campo, através do uso de um *drone* modelo “*DJI Mavic Pro*”. O cadastro-diagnóstico proposto por Farinaccio e Tessler (2010), associado à fotointerpretação e análise de imagens de satélite, foi utilizado para verificação dos impactos na dinâmica costeira local causados pelos diferentes tipos de obras costeiras.

O método de avaliação de impacto ambiental, elaborado por Farinaccio e Tessler (2010), consiste em uma matriz composta por linhas e colunas. Nas linhas são apresentados os grupos de obras segundo a classificação adotada. Estas linhas correlacionam-se com as colunas à direita, nas quais estão representados o padrão de interferência sobre a dinâmica das praias arenosas e os impactos ambientais potenciais identificados na área de estudo.

Para o presente estudo, a primeira coluna da matriz contém os tipos de obras conforme a classificação proposta por Hill (2015). Esta coluna encontra-se subdividida em duas partes. A primeira contém as quatro categorias de obras: estruturas rígidas fixas e móveis, e obras de aterro fixas e móveis. A segunda parte da coluna, à direita, relaciona os tipos de obras dentro de cada uma das categorias. A segunda coluna refere-se ao padrão de interferência na dinâmica das praias arenosas, conforme proposto pelos autores:

- Padrão A: Obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (*longshore currents*), e que apresentam expressão mais nítida em planta;
- Padrão B: Obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa afora (*onshore-offshore*), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praiial;
- Padrão C: Obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos;
- Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos.

A terceira coluna indica os impactos ambientais potenciais identificados na área de estudo. A Coluna G1 apresenta os impactos que ocorrem sobre as faixas de praias arenosas, decorrentes da alteração da dinâmica costeira pela presença das obras. A Coluna G2 apresenta os impactos associados decorrentes da ocupação destes ambientes, bem como da ocupação urbana. Estes impactos referem-se às alterações da paisagem, danos sobre estruturas existentes e poluição por resíduos sólidos e efluentes. A relação de impactos em cada um dos Grupos é apresentada a seguir:

G1 – Impactos sobre a faixa de areia – Praias

- a) Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a praia);

- b) Praias mais extensas causadas pelo assoreamento / deposição;
- c) Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela à linha de costa);
- d) Alteração da topografia da praia (perfil praial);
- e) Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas);
- f) Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar;

G2 – Impactos Associados

- g) Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc)
- h) Deposição de areia em avenidas e ciclovias
- i) Colapso de muros de proteção
- j) Solapamento/recalques de aterros
- k) Assoreamentos
- l) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa
- m) Redução de áreas úteis à ocupação
- n) Alteração da paisagem
- o) Contaminação da água superficial - por efluentes
- p) Contaminação da água por resíduos sólidos
- q) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea

O modelo da matriz de impactos das obras de engenharia costeira, adaptado de Farinnacio & Tessler (2010), está apresentada no Quadro 3.

Quadro 3: Modelo da matriz de impactos das obras de engenharia costeira, adaptada de Farinnacio & Tessler (2010).

MATRIZ		PADRÃO DE INTERFERÊNCIA				IMPACTOS																	
						G1						G2											
TIPOS DE OBRAS QUE OCORREM NO SETOR		A	B	C	D	a	b	c	d	E	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	
ESTRUTURAS RÍGIDAS FIXAS	Muros de Contenção																						
	Revestimentos																						
	Espigões de Gabião																						
	Espigões de Enrocamento																						
ESTRUTURAS RÍGIDAS MÓVEIS	Quebra-mares																						
	Comportas de Maré																						
OBRAS DE ATERRO FIXAS	Barreiras Móveis																						
	Diques																						
OBRAS DE ATERRO MÓVEIS	Alimentação de Praias																						
	Revegetação																						
	Fixação de Dunas																						
	Pântanos e Marismas																						
VARIÁVEIS																							
PADRÃO DE INTERFERÊNCIA					G1 - IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS						G2 - IMPACTOS ASSOCIADOS						g. Deposição de areia em equipamentos públicos h. Deposição de areia em avenidas e ciclovias i. Colapso de muros de proteção j. Solapamento/recalques de aterros k. Assoreamentos l. Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa m. Redução de áreas úteis a ocupação n. Alteração da paisagem o. Contaminação da água superficial - por efluentes p. Contaminação da água por resíduos sólidos q. Alteração do regime de fluxo da água subterrânea						
A. Interferência predominante em fluxo longitudinal (deriva litorânea) B. Interferência predominante em fluxo transversal (movimentos <i>onshore-offshore</i>) C. Associação dos Grupos A e B D. Interferência nos fluxos de canais estuarinos																							
a. Redução da faixa de praia b. Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/deposição c. Praias mais estreitas pela erosão d. Alteração da topografia da praia (perfil praial) e. Instalação de processos erosivos na praia f. Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar																							

5.3.1 – Cenários de Elevação do Nível Médio do Mar

5.3.1.1 – Perfil Praial de Equilíbrio

O perfil praial de equilíbrio é definido como a resultante do balanço entre forças construtivas e destrutivas que ocorrem em condições de ondas estacionárias para uma determinada granulometria de sedimento (DEAN, 1991). O primeiro modelo de perfil praial de equilíbrio foi idealizado por Bruun (1954) e posteriormente documentado por Dean (1977). O modelo estabelece uma relação estreita entre a granulometria do sedimento e a morfologia do perfil de praia.

O modelo de Bruun (1954), ou modelo de dissipação, parte do pressuposto que a energia das ondas se dissipa uniformemente, pelo que o perfil de equilíbrio pode ser expresso de acordo com a seguinte equação:

$$h = A \cdot y^m \quad (\text{Equação 1})$$

Onde h é a profundidade através da costa em uma determinada distância y ; A e m são coeficientes empíricos baseados em perfis representativos.

Bruun (1954) idealizou esta expressão para o perfil que inicia a partir da linha de arrebenção e estende-se por toda antepraia, enquanto Dean (1977) incluiu toda a zona de surfe a este conceito e propôs para m valor igual a $2/3$ como média correspondente aos extremos de 0,2 e 1,2 medidos em 504 perfis ao longo da costa leste norte americana (MANSO, 1991). O parâmetro escalar A , tem sido empiricamente relacionado ao diâmetro mediano do grão, e a sua velocidade mediana de assentamento (DEAN, 1997).

O conceito de perfil de equilíbrio evidenciado a partir da Regra de Bruun (1954) é inicialmente aplicado a processos de escala geológica para ajuste gradual do perfil transversal às diferentes situações do nível do mar. Atualmente, esse conceito é aplicado nos processos de menor escala, e sua utilização é uma maneira fácil de fazer a estimativa do valor do recuo da linha de costa por ação de ataque frontal das ondas, sendo, portanto, considerado um conceito altamente dinâmico (DEAN, 1977).

De acordo com Dean (1991), as características básicas de um perfil de equilíbrio são: perfil côncavo para cima; menor tamanho de grão resultando em uma declividade mais suave, e vice-versa; possui face praial plana; e ondas com alta esbeltez resultam em um perfil

com baixa declividade. O perfil de equilíbrio representa uma aproximação da forma real da antepraia (DEAN 1977, 1991).

Dessa forma, o método de perfil de equilíbrio é uma ferramenta amplamente utilizada em obras costeiras, principalmente em processos de alimentação de praias erodidas. Uma alimentação representa uma perturbação do equilíbrio de um sistema costeiro. Pode-se argumentar que intervenções são normalmente realizadas porque o sistema está sujeito à erosão, estando, fora de equilíbrio, ou porque este é altamente vulnerável a eventos extremos (CAPOBIANCO *et al.*, 2002).

5.3.1.2 – Retração da Linha de Costa

A Regra de Bruun (Bruun, 1954, 1962) fornece uma relação entre o aumento do nível do mar e o recuo da linha de costa, e tem sido amplamente aplicada pelas comunidades científica e de engenharia para interpretar as mudanças na linha de costa e planejar quanto a possíveis aumentos nas taxas de elevação do nível do mar (GOMES, 2014). Bruun (1962) pressupõe que em situações de elevação do nível do mar em longo prazo a praia sofre um ajuste no perfil transversal: o sedimento da porção aérea da praia é transportado e depositado na parte submersa gerando uma retração da linha de costa.

A inundação causada pela elevação do nível do mar e a resposta morfodinâmica do perfil variam em costas com características morfológicas diferentes, mesmo em situações de mesma amplitude de maré (PARISE *et al.*, 2009). Praias com declividades menores permitem maiores deslocamentos horizontais devido à inundação. Já as praias com maior declividade, não permitem tamanha excursão horizontal do nível da água, mas sofrem retração maior devido ao ajuste da linha de costa. Esse recuo/avanço na horizontal foi estimado em cerca de 100 vezes maior na horizontal, do que a alteração sofrida na vertical (GOMES, 2014).

Com base nisso, Bruun (1962) propôs uma fórmula de cálculo da retração da linha de costa em resposta ao ajuste do perfil. A Regra de Bruun fundamenta-se no balanço sedimentar entre o volume erodido da face praial e o volume depositado na porção submersa adjacente, até a profundidade de fechamento. Desta forma tem-se:

$$R = \frac{E \times L_{hf}}{(B + h^*)} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: R é a retração decorrente da elevação do nível do mar (E), L_{hf} é a distância do perfil até a profundidade de fechamento interna (h^*) e B é a altura da berma.

Dean (2002) utilizou o método de perfil de equilíbrio para definir padrões de alimentação, relacionando granulometria de sedimentos nativos da praia e sedimentos da jazida. Este autor definiu que se o sedimento da jazida e o da praia forem compatíveis nos termos de suas distribuições de tamanho de grão, então, há um caso de equilíbrio, e assim cada elemento do perfil alimentado se deslocará em direção do mar à mesma distância horizontal (ACQUAPLAN, 2011). Utilizando sedimento compatível no projeto do engordamento / alimentação, o volume de alimentação da praia é dado por:

$$V = \Delta y \times (B + h^*) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: V é o volume de sedimento por metro de praia (m^3/m); Δy é a retração da linha de costa (m); B é a altura da berma em relação ao nível zero (m); e h^* é a profundidade de fechamento interna (m).

5.3.1.3 – Relação entre Aumento do Nível do Mar e Estimativas de Custos de Defesa Costeira

De acordo com o IPCC (2014), a previsão para os próximos 100 anos é de uma elevação no nível do mar entre 26 e 82 cm. Os custos unitários de uma série de medidas típicas de defesa costeira foram estimados e quantificados pelo IPCC CZMS (1990) e por Hoozemans, Marchand & Pennekamp (1993), com base em medidas implantadas na Holanda, assumindo dimensões padrão. Considerando os custos de material e de construção, os custos "*all-in*" foram determinados para adaptar várias medidas de defesa costeira para um cenário uniforme de 1 metro de elevação do nível do mar. Estes custos integrais incluem design, construção, impostos e taxas. Os royalties e os custos de financiamento não foram levados em consideração.

No estudo de Hoozemans, Marchand & Pennekamp (1993), o aumento do *wave runup* e os custos resultantes da adaptação das defesas a uma maior altura de design foram incluídos como fatores adicionais. Os autores determinaram os custos para uma defesa de 5m de altura e desenvolveram funções de custo contínuo para três tipos de medidas de defesa

costeira: dique marinho protegido por pedra, dique marinho coberto por argila e duna de areia (Figura 12). Os custos unitários para aumentar a altura das defesas em 1m são refletidos pela inclinação das curvas na figura e são M€2,5/km por metro de elevação (preço de referência de 2009) para as três medidas. Ambos os estudos baseiam suas estimativas de custo unitário na situação holandesa.

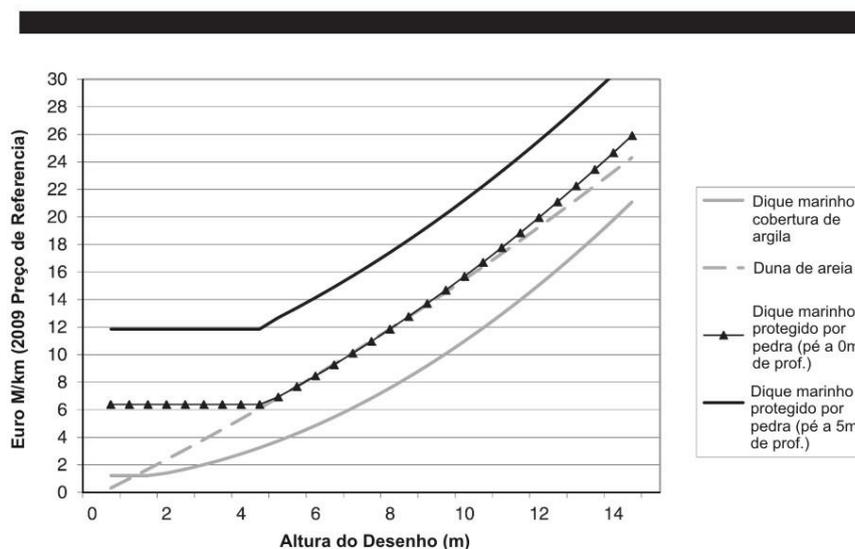


Figura 12: Funções de custo para três medidas de defesa costeira para a Holanda (de Hoozemans, Marchand e Pennekamp, 1993). Fonte: Jonkman *et al.* (2013)

No estudo de Jonkman *et al.* (2013) foi avaliado os custos de adaptação das defesas costeiras ao aumento do nível do mar em três países: Holanda, EUA (Nova Orleans) e Vietnã. Para efeito de comparação entre os custos das medidas de proteção nos diferentes países, primeiramente foram coletadas as informações dos custos das medidas de proteção nestas três regiões. Posteriormente os valores foram analisados e convertidos em unidades comparáveis. Desta forma, foi realizada a conversão para a mesma moeda (Euros, €) em relação ao mesmo ano de referência (2009).

Para a Holanda, os custos foram corrigidos a uma média de 4% da taxa de crescimento dos custos gerais de construção (Statistics Netherlands, 2011). Os custos relatados para Nova Orleans e Vietnã foram principalmente para os anos de 2009 e 2010 e, portanto, não foram necessárias correções. Dólares americanos foram usados nas referências originais, foi aplicada uma taxa de conversão de €1 = US\$ 1,35.

No presente trabalho, para comparação dos custos dos projetos de recuperação praial realizados na região da Enseada do Itapocorói com os obtidos no estudo de Jonkman *et al.*

(2013), primeiramente foi realizada a conversão dos valores para o ano de 2009, através da utilização da variação do índice financeiro INCC-DI (Índice Nacional de Custos da Construção – Disponibilidade Interna). O INCC-DI é um dos três índices que compõem o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), representando 10% da composição desse indicador. Reflete a evolução dos preços de materiais de construção e da mão de obra no setor. Utilizado em financiamento direto de construtoras ou de incorporadoras.

Para o Projeto Executivo desenvolvido pela PROSUL, fruto do contrato 19/2007/PMP de 27/03/2007, a variação do índice INCC-DI em relação ao ano de 2009 calculada foi de 20,8243% (entre 27/03/2007 e 30/07/2009). Para o Projeto Executivo da PMBP, publicado em 01/11/2011, a variação do índice INCC-DI em relação ao ano de 2009 calculada foi de -15,8138% (entre 01/11/2011 e 30/07/2009). A taxa de conversão EUR/BRL aplicada para ambos os projetos foi de €1 = R\$2,76.

5.4 – Avaliação e Elaboração de um Roteiro-Guia para a Implantação de Medidas de Adaptação Costeira junto às Praias Arenosas e Canais Estuarinos – Fase 03

Na terceira fase da pesquisa, com base no conhecimento adquirido em relação às principais leis aplicáveis na zona costeira e referente ao processo de planejamento e design desenvolvido nos EUA foi avaliado o “Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção a Erosão Costeira”, proposto pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Com base nas informações obtidas nos cadastros realizados e na avaliação do supracitado guia de obras, foi elaborada uma metodologia de orientação para a implantação de medidas de adaptação costeira frente à elevação do nível médio do mar, contendo os principais parâmetros relevantes para o dimensionamento e para o monitoramento das obras costeiras.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 – Estudo de Caso: Enseada do Itapocorói

Nas últimas três décadas, o litoral Centro-Norte de Santa Catarina vem acompanhando um intenso e acelerado processo de desenvolvimento urbano. A maior parte dos municípios deste segmento litorâneo, incluindo Piçarras e Penha, encontra-se em estágio avançado de urbanização, estando envolvidos em problemas ambientais decorrentes da inexistência de políticas de planejamento regional e urbano.

Como consequência do grande crescimento da cidade na década de 1970 através, principalmente, do desenvolvimento turístico que gerou um aumento de edificações próximas à costa e construção de novas obras de benfeitorias, iniciou-se um lento processo erosivo, intensificado pela canalização de esgotos domésticos e de águas pluviais (INPH, 1986). Somam-se a estes fatores, as já bem conhecidas e discutidas causas naturais, como clima de ondas, ajuste da linha de costa a mudanças no nível médio do mar, aumento dos níveis de *storm surges* e o incremento da ocorrência das marés meteorológicas para região sudeste do Brasil (NEVES FILHO, 1992), o que amplifica o poder erosivo dos processos costeiros. Assim, observa-se que a erosão costeira nesta região é consequência da ocupação não planejada da orla, agravada pelas frequentes ressacas registradas na região.

O processo erosivo na zona costeira de Piçarras tem causado a redução da faixa de areia e sérios impactos negativos na economia da região. Uma série de medidas de proteção para mitigação do processo erosivo tem sido implantada na região, no entanto, estas têm sido consideradas soluções paliativas e pouco eficazes (MACHADO, 2010). O Quadro 4 sintetiza as principais intervenções reconhecidas na área de estudo, as características dos projetos e das medidas adotadas, e os impactos observados. A Figura 13 ilustra a distribuição das obras de engenharia costeira implantadas na Enseada do Itapocorói.

Quadro 4: Obras costeiras realizadas na Enseada do Itapocorói. Compilado de Hoefel (1998), Araújo (2008) e Machado (2010).

Intervenção / Obra	Ano	Características do Projeto	Características da Intervenção / Obra	Impacto Observado
Guia correntes	1974	Guia correntes de matacões, estrutura da margem norte com 100 m de comprimento .	Construção de 2 guia correntes de matacões, semipermeável, com cerca de 15m de extensão , para retificação do canal. Não chega a bloquear o limite continental do delta de maré vazante.	Aumento da urbanização e do turismo na região. Início do Processo Erosivo. ZEA no setor adjacente, 500 m ao norte do guia corrente.
Aterro e construção da avenida beira-mar	1974		Aterro das três lagoas próximas a foz e construção da avenida beira-mar, realizado por autoridades locais.	
Muro de Proteção na região do pós-praia	1983		Muro de contenção, estendendo-se verticalmente da cota +2m até -1m, segundo o nível zero do IBGE. Localizado em frente às casas atingidas pelo evento extremo (ressaca) de 1983.	Proteção das benfeitorias contra-ataque direto das ondas. Eficácia por tempo limitado. Atualmente inexistentes no local.
Muro de Proteção	1984/1985		Nos anos de 1984 e 1985, construção de novo muro de proteção pelo Poder Público em frente às casas atingidas por novo evento de ressaca.	
Espigões de Gabiões	1989	Relatório INPH 05/86, projeto de proteção as benfeitorias de Piçarras, que propõe a construção de 5 gabiões espaçados a cada 100m a partir de 50m ao norte da avenida beira-mar	Execução do projeto do INPH 05/86, construção de 5 gabiões com espaçamento de 100 metros entre si, a partir de 50 metros ao norte do início da avenida beira-mar.	Construção de gabiões para retenção do transporte de sedimentos longitudinal. Sem eficácia. Atualmente inexistentes no local.

Quadro 4 (cont.): Obras costeiras realizadas na Enseada do Itapocorói. Compilado de Hoefel (1998), Araújo (2008) e Machado (2010).

Intervenção / Obra	Ano	Características do Projeto	Características da Intervenção / Obra	Impacto Observado
Espigão	1994	Projeto INPH 14/92 - Praia de Piçarras (Alternativa II): Aterro Hidráulico de 359.268m ³ associado a um espigão de retenção com 100m de extensão, posicionado 400m ao Norte. Prolongamento do guia-correntes sul do rio em 35m no setor sul e 45 m no setor norte. Praia Alegre (Alternativa Única): Aterro hidráulico de 67.852m ³ .	Execução parcial da Alternativa II do projeto INPH 14/92, Espigão bolsacreton (25m de comprimento dos 100m previstos). Projeto interrompido por falta de verbas.	Construção de espigão para retenção do transporte de sedimentos longitudinal. Intensificação dos processos erosivos a sotamar da estrutura (norte do mesmo) e acreção a barlamar.
Guia correntes	1994		Execução parcial do projeto INPH 14/92, expansão do guia correntes (35 m no setor S e 45 m no N)	
Primeiro aterro	1999		Realização de aterro hidráulico na Praia de Piçarras de 880.000m ³ , ao longo de 2,2km de orla (400 m ³ /m), limitado ao norte por um espigão de geotêxtil de 25m (empresa - Jan de Nul). Na praia Alegre aterro hidráulico de 70.000m ³ , ao longo de 800m de orla. Vida útil da obra: 5 anos. Custo: MUS\$3,2	Inúmeros benefícios: incremento do fluxo turístico em cerca de 23%, aumento o valor dos imóveis, melhoria das condições socioeconômicas, e aumento da oferta de empregos. No entanto, 9 anos após a conclusão da obra, verificado 50% de perda sedimentar. Continuidade do processo erosivo.
Expansão do guia correntes	2005		Expansão do guia correntes, 45m, ambos os setores.	
Segundo aterro	2008	Projeto: Etapa emergencial: 100.000 m ³ em 600m de extensão. Segunda Etapa: Recomposição de 430.000m ³ em 2,1km da orla e implantação de dois espigões, na profundidade de 2m.	Realização de aterro hidráulico em caráter emergencial e de menor escala, adicionados 120.000 m ³ , ao longo de 800m de orla (empresa - PROSUL). Custo: MUS\$ 3,5	Após um ano da conclusão da obra, verificado 45% de perda sedimentar. Continuidade do processo erosivo.
Expansão do guia correntes	2009		Expansão oblíqua do guia correntes – setor norte.	
Terceiro aterro e espigões	2012	Aterro hidráulico (785.989,51m ³ em 2km de extensão a partir do molhe de Piçarras até o espigão norte) e construção de dois espigões em formato de "T" com cerca de 153m de comprimento e 10m de largura.	Realização de aterro hidráulico (470.000m ³ em 1,5km de extensão) e construção de dois espigões em "T". Espigão N: 125m de comp. na faixa vertical e 60m no trecho transversal. Espigão S: 160m de comp. na faixa vertical e 60m no trecho transversal, com espaçamento de 800m entre si. Custo: MUS\$5,2	No momento, 2018, verificado grande perda sedimentar, apesar da construção dos espigões.

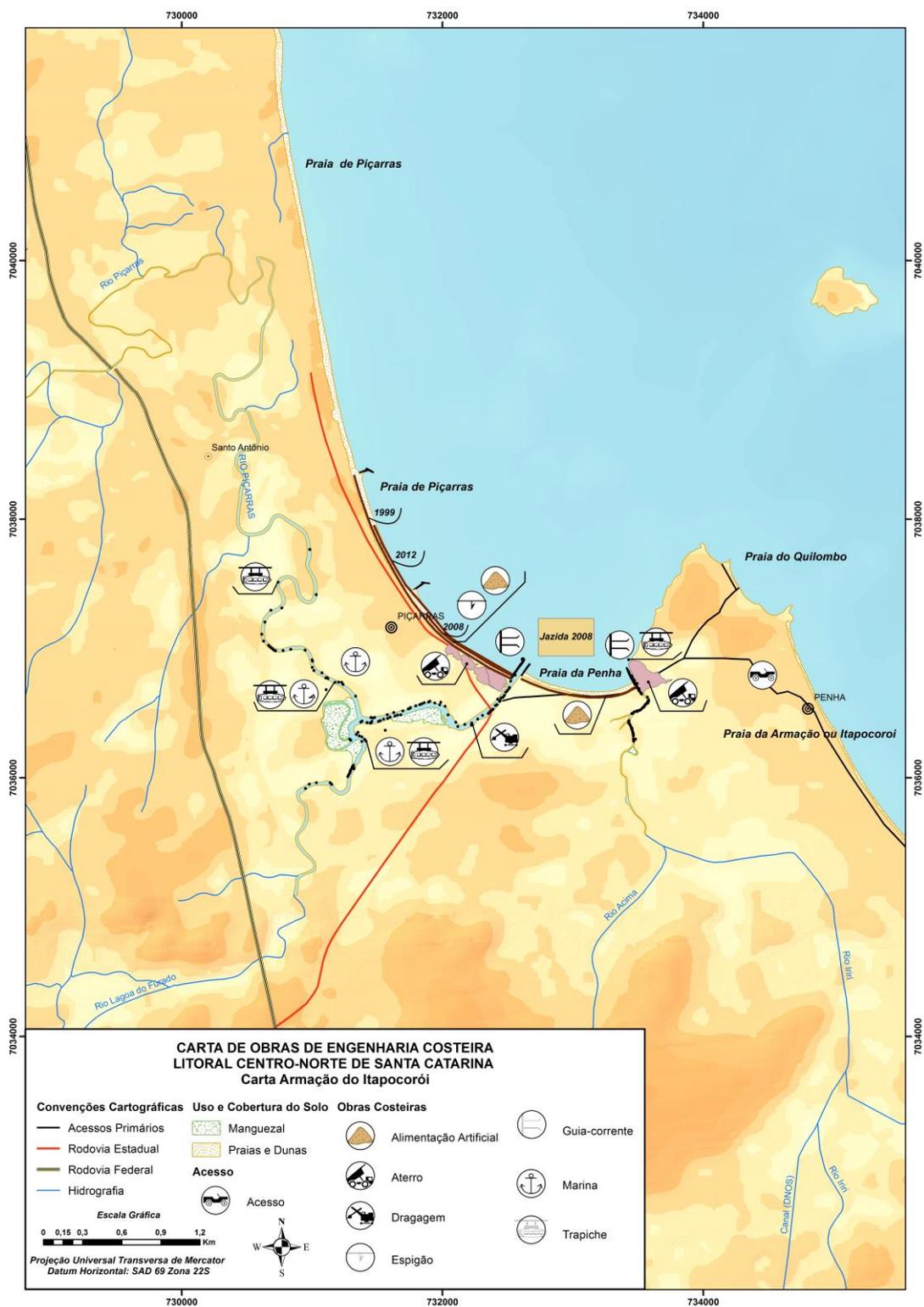


Figura 13: Carta temática das obras de engenharia costeira realizadas na Enseada do Itapocorói. Modificado de Machado (2010).

6.1.1 – Evolução da Linha de Costa

A análise da evolução da linha de costa na Enseada do Itapocorói, foi realizada por Freitas Neto *et al.* (2010), através do emprego de fotografias aéreas referentes aos anos de 1957, 1978, 1995 e imagem orbital do ano de 2005. Neste estudo, foi realizada a projeção da linha de costa futura para 50 anos (L50), considerando a data inicial de 2005, assumindo a mesma taxa de evolução costeira (TEC) do passado, conforme metodologia proposta por Ferreira *et al.* (2006). A partir da LC 50 foi projetada a LC futura (L50c), a qual inclui a erosão devido a uma elevação adicional no nível médio do mar, considerando o pior cenário previsto no relatório do IPCC (2007). O pior cenário do IPCC (2007), considera que ao final da década de 2050 o nível estará 0,30 m mais alto do que o atual e no final do século, o prognóstico é de 0,59 m. A LC futura de tempestade (L50T) foi gerada a partir da adição da máxima retração provocada por uma tempestade, com tempo de recorrência de 50 anos, à LC futura (L50c).

A descrição geomorfológica e análise da estabilidade quanto à desembocadura do rio Piçarras e rio Iriri na Enseada do Itapocorói foi realizada por Camargo (2009), através do emprego de fotografias aéreas e imagens de satélite referentes aos anos de 1938, 1957, 1978, 1995 e 2005. No estudo de Araujo *et al.* (2010), foi descrita a variação da morfologia praial e a identificação de Zonas de Erosão Acentuada (ZEA) nesta região. A evolução do aterro hidráulico realizado entre os anos de 1998-1999 na praia de Piçarras foi efetuada através da comparação entre os perfis medidos na região da obra (Perfil P1 ao P21 - Agosto de 2007 a Março de 2008) com os levantamentos realizados pela Prefeitura Municipal antes e depois da realização do aterro.

No estudo de Freitas Neto *et al.* (2010), as linhas de costa futuras foram projetadas em cartas temáticas a fim de espacializar e integrar as zonas de perigos, conforme demonstrados na Figura 14. A partir dos resultados dos estudos previamente citados (fotografias aéreas de 1938, 1957, 1978, 1995, 2005, associados aos trabalhos de campo – perfis transversais 2007/2008, antes e após a realização do aterro), foi elaborada a tabela de evolução e projeção da linha de costa na Enseada do Itapocorói – SC (Quadro 5). Os dados de retração adicional (L50c) dos Setores 1 e 2 foram utilizados no presente estudo para aplicação da Regra de Brunn.

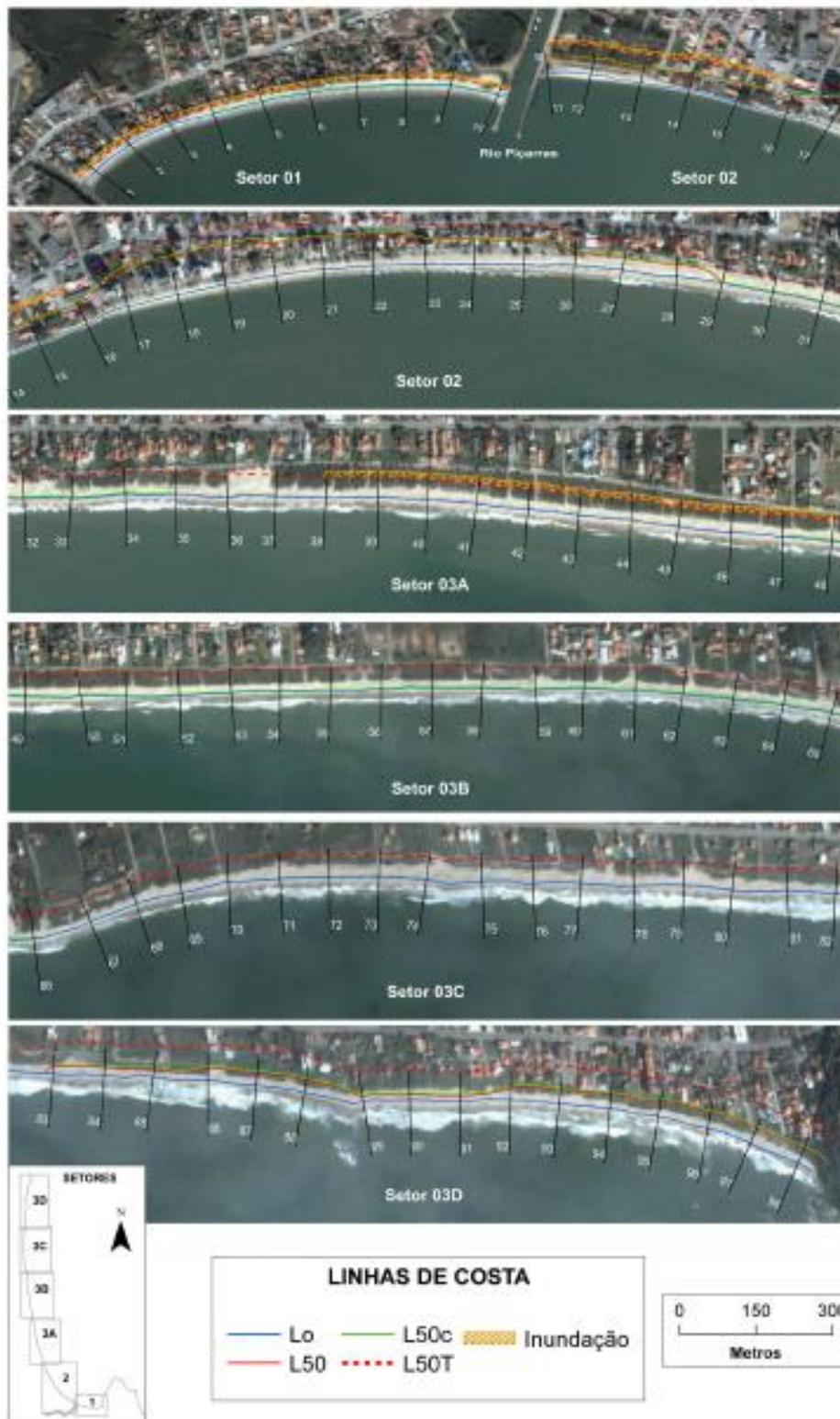


Figura 14: Carta temática representando os perigos integrados para a Enseada do Itapocorói. (L0) linha de costa atual; (L50) linha da costa devido à TEC; (L50c) linha devido a uma aceleração na subida do nível do mar; e mais ao interior, (L50T) são linhas de tempestades e, em hachurado, áreas potenciais de inundações. Fonte: Freitas Neto *et al.* (2010).

Quadro 5: Quadro de evolução e projeção da linha de costa na Enseada do Itapocorói, SC. Estudos de Camargo (2009), Araujo *et al.* (2010) e Freitas Neto (2010).

Setores da Praia	Situação da Linha de Costa (Fotointerpretação e Perfis Transversais)							
	Ano 1938	Ano 1957	Ano 1978	Ano 1995		Ano 2005	Ano 2008	
Setor 1 - Praia Alegre	Ação antrópica mínima, apenas 03 residências. Avenidas principais não pavimentadas. Lagoa costeira próxima à rua principal.	Ocupação urbana ao redor da foz do rio Iriri em áreas baixas. Aumento do número de ruas. Assoreamento da lagoa costeira.	RETIFICAÇÃO DO RIO IRIRI. Aterro do sistema lagunar adjacente. Ocupação urbana não planejada. Aterro parte do promontório.	Intensificação do processo de ocupação desordenada na orla da praia. Aumento do número de ruas pavimentadas.	ALIMENTAÇÃO DE PRAIA Ano 1998/99	Progradação da LC ao longo da Praia Alegre devido à obra de alimentação nos anos de 1998/1999.	ALIMENTAÇÃO DE PRAIA Ano 2008	Praia Alegre: morfologia estável, largura da porção subaérea de 40m, baixa declividade (2° a 3°). Não apresentou variações significativas de volume e largura do perfil transversal. O volume médio por perfil não ultrapassou os 60m³/m, largura do perfil ~ 40m.
Setor 2 - Piçarras Sul	Ação antrópica mínima, apenas 01 residência. Avenidas principais não pavimentadas. Grande quantidade de sedimento disponível em forma de deltas de maré e nos cordões arenosos.	Início do processo de ocupação, com aumento do número de ruas de acesso e avenidas. Laguna costeira adjacente à desembocadura do rio Piçarras.	RETIFICAÇÃO DO RIO PIÇARRAS. Aterro do sistema lagunar adjacente. Construção da avenida beira-mar. Início do processo de desenvolvimento urbano, não planejado.	Intensificação do processo de ocupação desordenada na orla da praia. Aumento de ruas pavimentadas. Redução da área do cordão arenoso. Retração da linha de costa.		Progradação da LC na margem direita da foz do Rio Piçarras devido à alimentação de praia. Intensificação do processo de ocupação urbana.		Praia de Piçarras junto ao guia-correntes apresenta uma configuração inclinada (5° a 7°) e estreita. Características refletivas. Volume sedimentar disponível acumula na porção subaérea do perfil. Perfis de 1998 a 2008 indicam retração de -3,17m.
Setores 3A, 3B, 3C - Piçarras Centro e Norte								
Setores 3D - Piçarras Norte							Aumento da largura, diminuição da declividade em direção ao N da Praia de Piçarras na medida em que a declividade diminui (5°). Morfologia variável. O volume médio varia entre 60 e 100m ³ /m de S para N. Presença de dunas vegetadas. Não houve alterações significativas no volume sedimentar subaéreo após o aterro.	

Quadro 5 (cont.): Quadro de evolução e projeção da linha de costa na Enseada do Itapocoróí, SC. Estudos de Camargo (2009), Araujo *et al.* (2010) e Freitas Neto (2010).

Setores da Praia	Impactos Identificados						
	Variação da LC	L50 (TEC)	L50c	L50T	Retração (subida do NMM)	Retração Máxima (tempestade)	Área Potencial Inundação
Setor 1 - Praia Alegre	NÃO SUBSTANCIAL (0,2m/ano) ÁREA MAIS ABRIGADA (média 3,4m)	L50 = L0 = 0m	0m-3m R	14-17m R	3m	14m	< 4m
Setor 2 - Piçarras Sul	RETRAÇÃO (-0,95m/ano) SETOR MAIS SUSCEPTÍVEL	47,5m R	50m R	79m R	2,5m	29m	< 4,5m (Apenas porção mais ao Sul)
Setores 3A, 3B, 3C - Piçarras Centro e Norte	PROGRADAÇÃO (0,19m/ano)	L50 = L0 = +9,41m P	L50c = L50 = L0 = +9,41m P	40m R	2,6m	40m	< 4,2m (Apenas setor 3A)
Setores 3D - Piçarras Norte	RETRAÇÃO (-0,45m/ano)	22,5m R	25m R	40m R	2,5m	40m	Sem área de inundação

6.1.2 – Classificação das Obras de Engenharia Costeira

As obras de engenharia costeira foram classificadas de acordo com o modelo proposto por Hill (2015). Os seis principais tipos de medidas de proteção adotados na Enseada do Itapocorói foram mapeados em gradientes definidos conforme a similaridade com os quatro modelos ideais (Figura 15). O objetivo desta classificação é obter uma melhor compreensão das abordagens que podem ser subutilizadas em relação ao seu potencial.

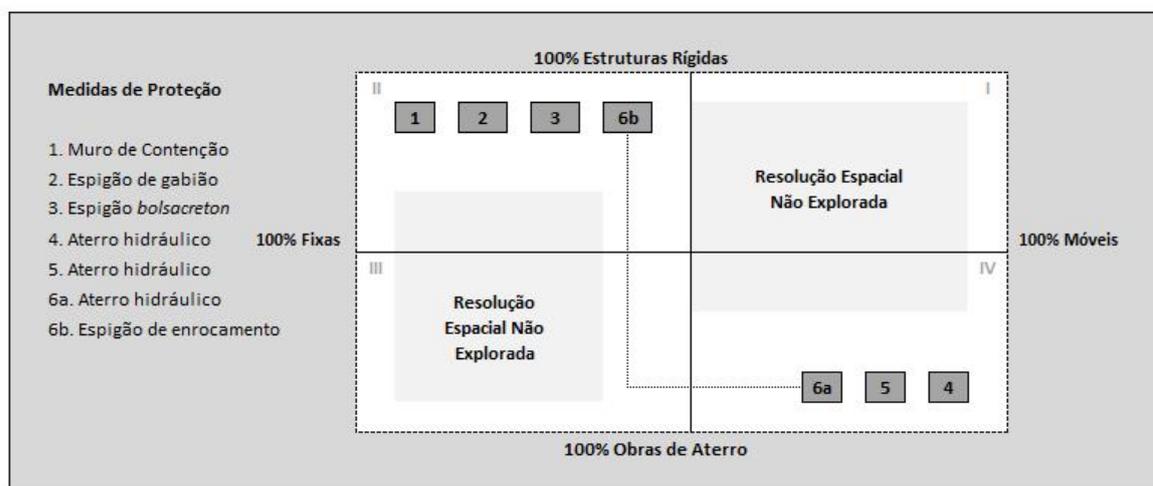


Figura 15: Distribuição das seis medidas de proteção adotadas na Enseada do Itapocorói, conforme modelo de classificação proposto por Hill (2015).

Na área em estudo, para mitigação do processo erosivo, inicialmente foram adotadas estruturas rígidas e fixas, como muros de contenção (1) e espigões de gabião (2) e bolsacreton (3). Com o passar do tempo, foram adotadas “soluções baseadas na natureza”, categorizadas como obras de aterro móveis, representadas pelas obras de alimentação artificial realizadas nos anos de 1998/99 (4), 2008 (5) e 2012 (6a). No entanto, no último projeto, observa-se o retorno ao uso de soluções rígidas, através da combinação de medidas leves, aterro hidráulico (6a) com dois espigões em formato de “T” (6b).

A ausência de medidas de proteção no primeiro e no terceiro quadrante do diagrama, que incluem estruturas rígidas móveis – comportas de maré e barreiras móveis – e obras de aterro fixas – diques – indica a existência de potencial na exploração de outras categorias de infraestruturas física. No caso específico de Balneário Piçarras, essas categorias não poderiam ser exploradas como solução para mitigação do processo erosivo. No entanto, a

intenção é que no futuro esse método de classificação possa ser aplicado a outros ambientes, onde estes tipos de obras sejam viáveis como estratégias de adaptação a elevação do NMM.

As estruturas rígidas apesar de fornecerem benefícios funcionais imediatos, são tecnicamente complexas e oferecem uma gama restrita de funções, pois normalmente não recriam um habitat natural ou oportunidades de lazer. Estas também são menos adaptáveis às necessidades futuras, pois normalmente faz-se necessária a substituição completa da estrutura original, caso precise ampliar sua altura ou extensão. As obras de aterro móveis, como alimentação de praias, são mais facilmente aprimoradas nas várias fases de adaptação costeira e fornecem múltiplos benefícios (proteção de ecossistemas, minimização de enchentes em cidades costeiras, e criação de habitats e áreas de lazer). No entanto, não apresentam um nível consistente de função ao longo do tempo e espaço (Hill, 2015).

A intenção do modelo de classificação proposto por Hill (2015) é representar a gama de alternativas que podem ser aplicadas para proteção de cidades costeiras frente à elevação no nível médio do mar. No entanto, a seleção do tipo específico de infraestrutura depende principalmente da vulnerabilidade do sistema adjacente. Dessa forma, os quatro tipos básicos de infraestrutura podem ser relacionados com a região adjacente, incluindo distritos urbanos com diferentes níveis de vulnerabilidade, e ecossistemas (zonas úmidas, costas rochosas, praias arenosas e solos contaminados). Na Enseada do Itapocorói, o ecossistema é composto por “*praias e dunas arenosas*”, e por “*zonas úmidas intermareais*” na região adjacente ao canal do rio Piçarras. A área adjacente urbana é considerada “*resiliente a inundações temporárias*”, pois a conjunção de períodos de alta pluviosidade e eventos de ressacas ocasiona em inundações, conforme exemplificado nos casos abaixo:

No ano de 1983, foi registrado na região Sul do país o evento El Niño, sendo o mais intenso do século XX, ocasionando grandes enchentes em toda essa região. Uma forte ressaca alagou completamente a Avenida Beira-Mar da Praia de Piçarras, provocando diversos danos estruturais ao longo da orla. Para mitigação dos danos, um muro de contenção foi construído na região do pós-praia, estendendo-se verticalmente da cota +2,0m a -1,0m, segundo o nível zero do IBGE (INPH, 1984).

Durante os episódios de cheias nos anos de 1983 e 1984, o transbordamento do rio Itajaí-Açu, cuja bacia de drenagem ocupa a porção imediatamente ao sul de Piçarras, invadiu o leito do rio Piçarras, aumentando ainda mais a sua vazão (HOEFEL, 1998). Nos anos de 1984 e 1985 novamente novas ressacas ocorrem e destroem algumas benfeitorias deixando alguns trechos da orla com perda total da praia emersa, fazendo com que o poder público

construísse um novo muro de contenção em frente às casas atingidas e contratasse o INPH para elaboração de um projeto de contenção do processo erosivo. Em 1986 é apresentado o relatório do INPH 05/86, referente ao projeto de proteção as benfeitorias da praia de Piçarras, que propõe a construção de 5 espigões de gabiões espaçados a cada 100m a partir de 50m ao norte do início da avenida beira mar (HOEFEL, 1998). Em 1989, foram construídos os muros de gabiões, conforme especificações. O relatório enfatiza que as obras visam apenas à proteção das benfeitorias, não tendo como objetivo o restabelecimento da faixa de areia (ARAUJO, 1998).

Em novembro de 2008, o Estado de Santa Catarina e em específico o Município de Balneário Piçarras sofreram com mais uma catástrofe natural, chuvas intensas associadas a uma enchente histórica, mais forte que as ocorridas nos anos de 1983 e 1984, a qual deixou muitos estragos e prejuízos para toda a população e economia local (ACQUAPLAN, 2011).

Com relação aos dispositivos legais a estas situações de emergência e calamidade pública, o Decreto Estadual 1987, de 22 de novembro de 2008, declarou estado de emergência no Estado de Santa Catarina devido às enxurradas em 63 municípios, dentre eles o Município de Balneário Piçarras, incluídos através do Decreto Estadual 1909, de 26 de novembro de 2008 que alterou o Decreto 1987, de 22 de novembro de 2008 (ACQUAPLAN, 2011). No final do ano de 2010 o município sofreu novamente com as intensas chuvas, decretado Situação de Emergência e homologado pelo Governo do Estado através do Decreto Estadual 037, de 10 de fevereiro de 2011. O Município de Balneário Piçarras decretou Situação de Emergência através do Decreto Municipal 228, de 25 de janeiro de 2011, pelo prazo de noventa dias (ACQUAPLAN, 2011).

Em 25 de julho de 2011, a cidade decretou estado de emergência em função de uma forte ressaca que atingiu a orla, provocando desmoronamento de parte do calçadão e comprometendo a infraestrutura da Avenida Beira Mar. De acordo com o INPE (2011), entre os meses de janeiro a setembro de 2011, os municípios que compõem a Enseada do Itapocorói – Barra Velha, Piçarras e Penha – foram os únicos que apresentaram ressacas e inundações bruscas, decretando situação de emergência (SILVA, 2012). No dia 27 de dezembro de 2011, foi iniciada a primeira etapa da recuperação da praia de Piçarras.

No estudo de Freitas Neto (2010), a máxima retração da linha de costa para a região Sul da Enseada do Itapocorói (setor mais susceptível) foi estimada em 50 metros, considerando um período de 50 anos. Áreas de potencial inundação, para o mesmo período, foram estimadas pelo autor, considerando a taxa de evolução costeira e os impactos por

tempestades. A praia Alegre e a região Sul da Praia de Piçarras apresentaram setores com potenciais áreas de inundação. Dessa forma, no futuro, considerando o cenário exposto, essa região poderá ser classificada como “*vulnerável a inundações*”.

Segundo o autor, os danos por tempestades são mais preocupantes para a enseada do que possíveis retrações causadas apenas pelo aumento no nível do mar, em função de sua declividade. As retrações por eventos extremos podem ocorrer antes do período estimado e, portanto, é fundamental manter artificialmente o estoque de areia em frente aos segmentos mais vulneráveis. O estabelecimento de projetos de alimentação artificial e de fixação de dunas para a elevação da região é essencial, devido à inexistência de espaço para migração do ecossistema (“*coastal squeeze*”). Assim como a elevação do molhe de fixação do Rio Piçarras deverá ser realizada para adaptação ao novo cenário.

É importante salientar que a categorização das opções de infraestrutura costeira permite a comparação dos seus potenciais impactos nos ecossistemas e do seu valor na preparação ao aumento do nível do mar em longo prazo, auxiliando os tomadores de decisão na escolha das alternativas mais bem-sucedidas, constituindo uma ferramenta importante de gerenciamento costeiro.

6.1.3 – Impactos sobre a Dinâmica Sedimentar e demais Impactos Associados

Os principais impactos identificados na região da Enseada do Itapocorói são do tipo G1, que correspondem à alteração do perfil praial, em decorrência da existência de infraestruturas físicas. Dentre estas, destacam-se as estruturas rígidas, especificadamente os muros de contenção e espigões, e as obras de aterro hidráulico. Os impactos encontram-se associados no Quadro 6.

Esta matriz contempla todos os tipos de obras identificadas no cadastramento, e ainda, outras obras de engenharia costeira que possam vir a ser implantadas. A vantagem deste procedimento é a fácil visualização do padrão de interferência e dos impactos associados a cada tipo de obra. Esta metodologia também pode ser aplicada para obras futuras ou potenciais através do prognóstico do impacto das mesmas sobre o ambiente, constituindo em uma ferramenta de auxílio importante para o planejamento territorial.

Quadro 6: Matriz de impactos das obras de engenharia costeira na Enseada do Itapocorói.

MATRIZ		PADRÃO DE INTERFERÊNCIA				IMPACTOS																	
						G1						G2											
TIPOS DE OBRAS QUE OCORREM NO SETOR		A	B	C	D	a	B	C	D	E	f	G	H	i	j	k	l	m	n	o	p	Q	
ESTRUTURAS RÍGIDAS FIXAS	Muros de Contenção		■			■		■	■	■				■					■				
	Revestimentos		■			■		■	■	■				■					■				
	Espigões de Gabião	■					■	■	■	■								■		■			
	Espigões de Enrocamento	■					■	■	■	■									■		■		
	Quebra-mares																						
ESTRUTURAS RÍGIDAS MÓVEIS	Comportas de Maré																						
	Barreiras Móveis																						
OBRAS DE ATERRO FIXAS	Diques																						
OBRAS DE ATERRO MÓVEIS	Alimentação de Praias			■			■		■											■			
	Revegetação																						
	Fixação de Dunas																						
	Pântanos e Marismas																						
VARIÁVEIS																							
PADRÃO DE INTERFERÊNCIA					G1 - IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS						G2 - IMPACTOS ASSOCIADOS						g. Deposição de areia em equipamentos públicos h. Deposição de areia em avenidas e ciclovias i. Colapso de muros de proteção j. Solapamento/recalques de aterros k. Assoreamentos l. Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares a linha de costa m. Redução de áreas úteis a ocupação n. Alteração da paisagem o. Contaminação da água superficial - por efluentes p. Contaminação da água por resíduos sólidos q. Alteração do regime de fluxo da água subterrânea						
A. Interferência predominante em fluxo longitudinal (deriva litorânea) B. Interferência predominante em fluxo transversal (movimentos <i>onshore-offshore</i>) C. Associação dos Grupos A e B D. Interferência nos fluxos de canais estuarinos																							
a. Redução da faixa de praia b. Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/deposição c. Praias mais estreitas pela erosão d. Alteração da topografia da praia (perfil praiial) e. Instalação de processos erosivos na praia f. Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar																							

Através de pesquisa bibliográfica foi possível verificar que os impactos pontuais estão associados ao colapso das estruturas rígidas fixas - muros de contenção e espigões de gabião. Essas estruturas foram implantadas na década de 1990 para a proteção das benfeitorias existentes contra o ataque direto das ondas, durante eventos meteorológicos extremos (ARAUJO, 1998). Os muros de contenção são obras capazes de modificar a morfodinâmica costeira, através da limitação do espraiamento, e podem promover áreas de deposição ou erosão, pela alteração do perfil praial (FARINACCIO, 2008). O muro de proteção foi implantado a 200m ao norte da desembocadura do rio Furado, em frente à faixa de casas avançadas ao mar em relação à Avenida Beira-Mar (Figura 16) (HOEFEL, 1998).



Figura 16: Muros de contenção implantados na Enseada do Itapocorói.

O colapso dos muros de proteção na região de Piçarras pode estar associado à baixa qualidade das fundações e/ou pelo impacto da água marinha por ocasião de eventos meteorológicos extremos. Quando construídos em costas erosivas, a erosão nas áreas adjacentes não é evitada, podendo até ser acentuada em decorrência das alterações no padrão de ondas incidentes e nos campos de velocidades na zona de surfe e espraiamento provocadas pelo muro (HOEFEL, 1998). Estas estruturas costeiras tiveram eficácia por determinado período de tempo, atualmente inexistentes no local (MACHADO, 2010).

O padrão de interferência predominantemente no fluxo longitudinal decorre da implantação de espigões. Em 1989, cinco espigões de gabião foram instalados para retenção do transporte longitudinal de sedimentos; atualmente inexistentes no local. Visto que essas estruturas não obtiveram os resultados desejados, no ano de 1994, foi construído um espigão de *bolsacreton*, com apenas 25m dos 110m de comprimento previstos no projeto inicial, devido à falta de recursos financeiros. Este resultou na intensificação do processo erosivo na região a sotamar da estrutura (norte do mesmo); e acreção a barlamar, em decorrência da

interrupção da deriva litorânea com sentido para o Norte. Conforme observações de fotografias aéreas obtidas em campo, através do uso de drone, atualmente a estrutura se encontra “assoreada” pelos projetos de alimentação praial, não provocando modificações substanciais na linha de costa (Figura 17).

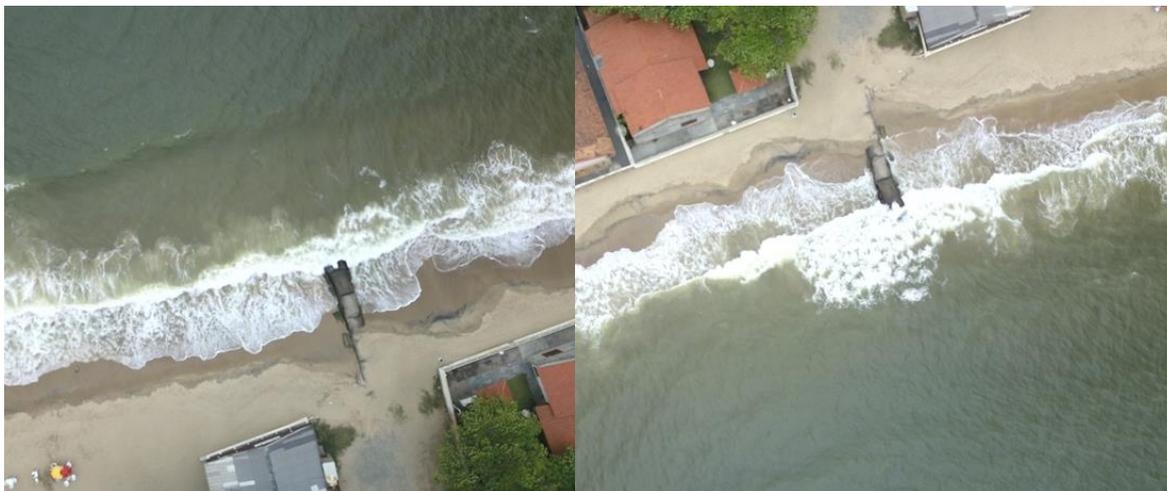


Figura 17: Imagens aéreas do espigão de Piçarras, obtidas através do uso de drone. Fonte: Thiago Martins (2017).

No ano de 2012, foram construídos dois espigões do tipo “T” em associação a obra de aterro hidráulico. O espigão Norte com cerca de 125m de comprimento na faixa vertical e 60m no trecho transversal. O espigão Sul com cerca de 160m de comprimento na faixa vertical e 60m no trecho transversal, com espaçamento de 800m entre si. No interior de cada espigão, uma tubulação especial foi instalada para fazer o escoamento da água da chuva proveniente da nova rede de drenagem pluvial. Com base nos resultados da matriz e nas fotografias aéreas obtidas em campo através do uso de drone foram verificados que atualmente os sedimentos disponíveis no sistema transportados pela deriva longitudinal são retidos ao sul das estruturas, promovendo déficit sedimentar ao norte das mesmas, atribuindo àquele segmento um padrão escalonado (Figura 18 e Figura 19).



Figura 18: Imagens aéreas do espigão Norte de Piçarras, obtidas através do uso de drone. Fonte: Thiago Martins (2017).

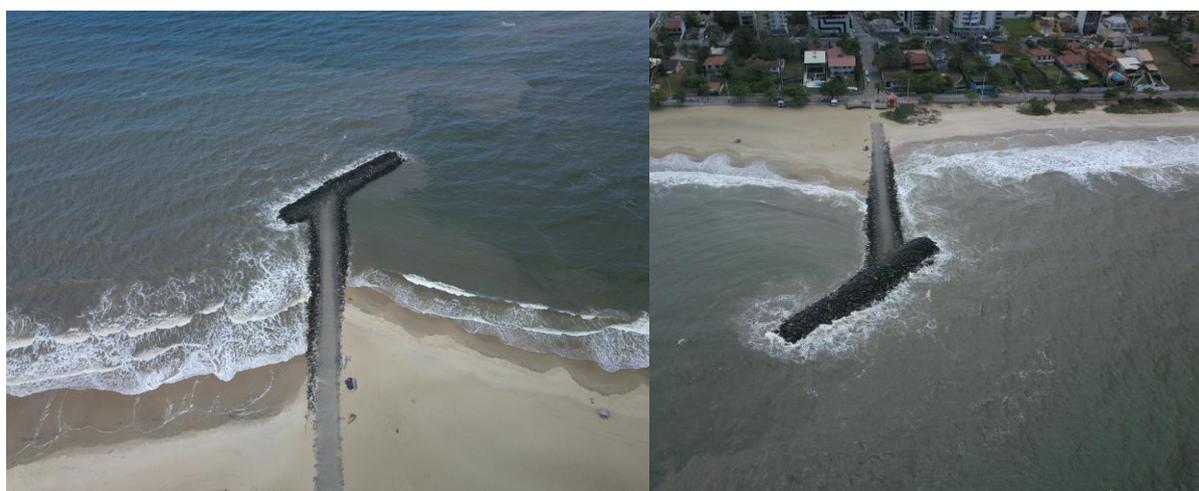


Figura 19: Imagens aéreas do espigão Sul de Piçarras, obtidas através do uso de drone. Fonte: Thiago Martins (2017).

Estas estruturas são projetadas para interceptar o transporte longitudinal de sedimentos na faixa em que ele é mais significativo para estabilização da praia sujeita a variações periódicas, influenciando diretamente na forma em planta, ou também para complemento de fixação para a alimentação artificial de praias. Quando apropriadamente desenhadas, construídas e combinadas com projetos de alimentação, estas podem funcionar efetivamente sob certas condições, principalmente aumentando o ciclo de vida útil das praias alimentadas (KAMPHUIS, 2000; CEM, 2002).

No entanto, segundo estudos realizados por Araujo *et al.* (2010), na praia de Piçarras, não há um significativo transporte longitudinal em direção ao Norte, o que evidencia que o

transporte sedimentar transversal para fora da costa seja importante no processo erosivo. Em contrapartida, para avaliação da dinâmica do litoral, Almeida (2013), identificou três setores de análise: setor 1 (zona norte / central da praia de Piçarras), setor 2 (área sul da praia de Piçarras), e setor 3 (praia Alegre e promontório sul). Segundo a referida autora, as ondas em frente à praia (ondas externas) são predominantemente compostas por quatro direções (ENE, E, ESE e SE). O sistema circulatório gerado por essas ondas é caracterizado por correntes paralelas à zona central / norte da praia de Piçarras, que variam de direção conforme a obliquidade da onda incidente.

A implantação dos espigões, segundo o projeto apresentado pelo município, tinha como objetivo a redução do impacto da corrente marinha na praia, a contenção da areia a ser depositada na alimentação, e suas estruturas transversais visavam à redução da ação de tempestades (ressacas), principalmente de Nordeste. Entretanto, inconsistências no projeto foram observadas por Almeida (2013). De acordo com a autora, as ondas associadas a eventos temporários (ressacas) são de ENE, e as correntes são de Sul.

Em relação às correntes geradas pelas ondas de ENE, foi verificado que o espigão implantado ao Norte “bloqueia” a continuidade da corrente proveniente da zona norte / central para o sul, atuando de forma semelhante à Laje de Piçarras. Isto torna a situação no setor 1, com a presença do espigão, muito semelhante à situação anterior, sem o espigão (Figura 20 A). No setor 2, observa-se um aumento na intensidade da corrente gerada pelo gradiente de altura da onda para o sul. Isto resulta em erosão na área sul adjacente aos novos espigões (círculos laranja, Figura 20 B) e acréscimo na área ao norte adjacente as estruturas (círculos verdes, Figura 20 B). Já o setor 3 não seria afetado pela implantação dos espigões e pela alimentação praial. Portanto, observa-se que a nova condição é muito semelhante a anterior a implantação dos espigões, com um ponto de erosão no setor 2 (ALMEIDA, 2013).

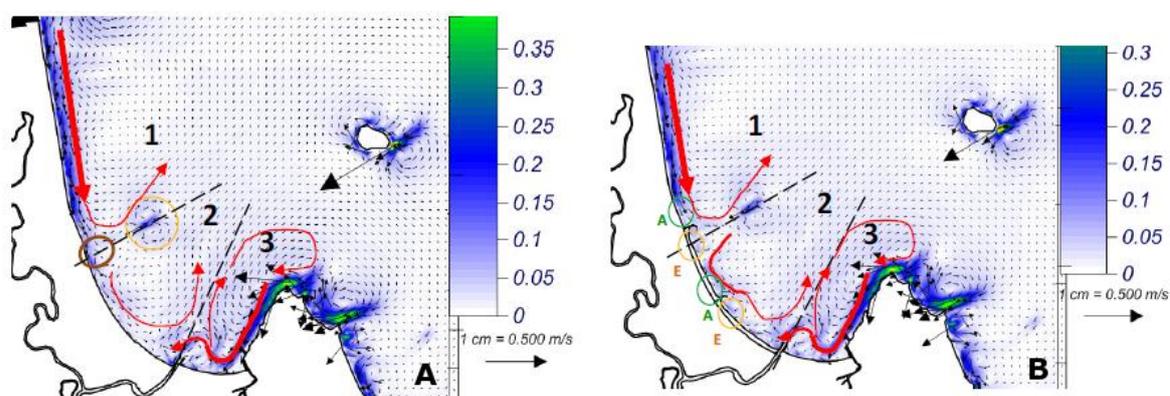


Figura 20: Comparação do comportamento do sistema circulatório ocasionado por ondas associadas a condições de temporal ($H_{s12}=2.4\text{m}$; $T_{p12}=13.2\text{s}$; Nível do mar= 1.2m) proveniente de ENE, (A) antes da implementação do projeto e (B) após a implementação do projeto. Fonte: Almeida (2013).

Além disso, ao avaliar o perfil de equilíbrio pelo método de Dean, a autora verificou que a profundidade de fechamento antes da alimentação praial era superior ao comprimento do espigão, no entanto, após a alimentação, o espigão não possuía comprimento suficiente para atingir a profundidade do fechamento. Desta forma, os espigões implantados não são suficientemente longos para a formação de uma praia em equilíbrio estático entre eles. A tendência é de retração do litoral nas praias formadas ao Norte e ao Sul, até que estas sejam contidas entre os espigões, conforme pode ser observado nas linhas pontilhadas vermelha, das Figura 21 A e B.

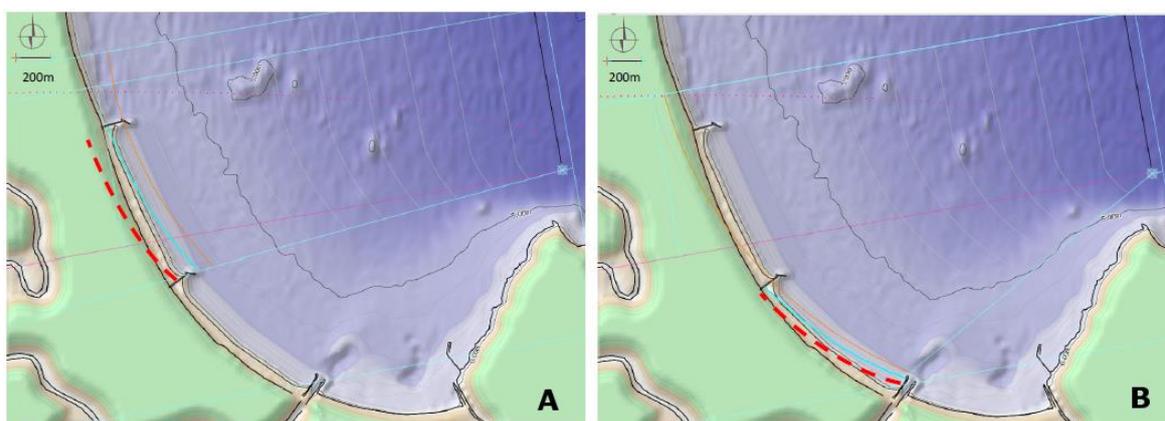


Figura 21: A. Forma em planta de equilíbrio (linha azul) da futura praia Norte, com a respectiva linha de $h^*=3.1\text{m}$ (linha laranja). B. Forma em planta de equilíbrio (linha azul) da futura praia Sul, com a respectiva linha de $h^*=2,5\text{m}$ (linha laranja). Linha vermelha pontilhada = tendência de retração da praia contida pelos diques. Fonte: Almeida (2013).

Portanto, em longo prazo, fazem-se necessários aportes de areia periódicos, devido à condição de praia não estável em perfil e na forma em planta, gerando altos custos de manutenção. Apesar de na condição atual ser verificada deposição a barlamar dos espigões existentes na região e o escalonamento da linha de costa, as soluções adotadas em longo prazo não cumprem satisfatoriamente o seu propósito, ocasionando a retração da linha de costa até atingir o novo estado de equilíbrio, visto que estas estruturas foram construídas abaixo da profundidade de fechamento.

Obras de aterro hidráulico foram realizadas na região nos anos de 1998/99, 2008 e 2012. Estas resultam na interferência tanto em fluxos longitudinais quanto transversais,

padrão tipo C, provocando modificações no perfil praial. O processo de erosão praial na enseada teve início a partir da retificação da desembocadura do rio Piçarras, desenvolvimento urbano da orla e consequente canalização de esgotos domésticos e pluviais em direção à praia. Em meados da década de 90, a situação tornou-se crítica a ponto da região Sul da enseada, próximo a desembocadura do rio Piçarras, apresentar praticamente toda porção emersa da praia erodida ao longo de 2km de extensão. Isso levou o governo municipal, juntamente com a iniciativa privada, a propor e executar, em 1998/99, um aterro hidráulico (ARAÚJO *et al.*, 2010; SILVA, 2012).

Nessa obra foram adicionados 880.000m³ ao longo de 2,2km de orla (400m³/m), limitado ao norte pelo espigão de 25m. O material foi retirado de uma jazida localizada a cerca de 15km da costa, na isóbata de 20m, com um d₅₀=0,26mm (ABREU *et al.*, 2000; VAN DER HEUVEL *et al.*, 2008). A obra restabeleceu a linha de costa anterior ao processo erosivo, porém foi verificada a continuidade da erosão. No projeto não foram estabelecidos os perfis de desenho e o de avanço, este necessário para manter o desenho do projeto da praia após a alimentação, para minimizar custos anuais de alimentações periódicas. A taxa erosiva média (1998/1999), calculada por Araujo (2008), foi de -7,2m³/m/ano para toda a área aterrada. As taxas variaram ao longo da enseada, com valores atingindo desde -14,4m³/m/ano na região mais crítica da praia, até -0,2m³/m/ano na porção terminal da obra.

Segundo o autor, todos os perfis monitorados apresentaram características erosivas, o que indicava que o sedimento removido da parte sul não estava sendo depositado na mesma proporção da deriva litorânea. Isto pode ser explicado pelo transporte transversal na região sul para além da profundidade de fechamento. Apesar da vida útil da obra ser de 5 anos, nenhum plano de manutenção foi realizado. Em 2007, na região identificada como ZEA apenas 7% do volume adicionado foi mantido. Em 2008, nove anos após a conclusão da obra, foi verificado 50% de perda sedimentar (ARAÚJO *et al.*, 2010).

Nesse mesmo ano, foi realizada a manutenção do aterro, em caráter emergencial e de menor escala, com sedimentos retirados de uma jazida localizada ao largo da praia Alegre, a profundidade de 3m. Foram adicionados 120.000 m³, ao longo de 800 m de orla (150 m³/m), na região identificada como ZEA. Utilizado recursos do Fundo de Manutenção da Praia de Piçarras – FUMPROA. A estimativa era de uma vida útil da obra de 10 anos (VAN DER HEUVEL *et al.*, 2008). No entanto, foi empregada uma granulometria de sedimentos considerada incompatível (areia fina) com este tipo de projeto de recuperação praial. Verificado, por Gardelin (2010), que o aterro hidráulico apresentou curta longevidade com

perda sedimentar de aproximadamente 45% após um ano do término da obra. A taxa erosiva média (2008) foi de $-15,82\text{m}^3/\text{m}/\text{ano}$, variando de $-1,77$ a $-25,85\text{m}^3/\text{m}/\text{ano}$. Segundo Prado (2011), a região do aterro hidráulico teve perda média de 48% do volume subaéreo e 40% da largura da praia emersa após dois anos de seu término.

Esta alta taxa erosiva apresentada pode ser explicada por dois fatores, o tamanho do grão adicionado e o volume da obra. O sedimento adicionado à praia foi considerado de baixa qualidade, pois apresentava alta concentração de lama e material biodetrítico. Em campo, foi identificado a presença de lama na praia após a obra. O tamanho médio de grão do pacote sedimentar adicionado à Praia de Piçarras na obra de alimentação praial foi de 0,22 mm com grau de selecionamento pobre e com cerca de 18% de lama (GARDELIN, 2010). O parecer técnico da jazida, já indicava a presença de uma camada superficial de lama de 2m de espessura (HOEFEL & KLEIN, 1997). Após o aterro hidráulico a declividade da face da praia manteve-se similar. Em relação à média da altura da berma entre os perfis, antes da obra esta era de 1,30m; após a obra foi alterada para 2,25m (GARDELIN, 2010).

No ano de 2012 foi realizada uma nova tentativa de recuperação da praia de Piçarras. Neste último aterro, apesar da empresa ter sido contratada para a adição de $591.990,96\text{m}^3$ de sedimento em aproximadamente 1,5km de extensão, foi acordado a adição de apenas 470.000m^3 de sedimento ($313\text{ m}^3/\text{m}$), por meio de um termo supressivo da antiga administração (ADJORISC, 2017). Fato explicado pelos altos custos envolvidos na mobilização da draga *hopper* Kronborg R de Portugal para o Brasil, juntamente com os custos do material sedimentar. Área de empréstimo localizada a 12 km *offshore*. Isso tornaria o projeto muito caro e os fundos não poderiam ser levantados, pois o FUMPRA já havia sido utilizado na obra de 2007 (HENDRIKS *et al.*, 2017). Atualmente verificada grande perda sedimentar, apesar da construção dos espigões. Em suma, os projetos de alimentação constituíram soluções de curto prazo, visto que não foram adotados planos de manutenção.

Na praia Alegre, apenas no ano de 1999, foi executado aterro hidráulico, através do bombeamento e deposição de 70.000 m^3 de sedimento ao longo de 800m de orla ($70\text{m}^3/\text{m}$). O sedimento foi retirado da jazida em frente à mesma, devido à natureza abrigada do local e das características sedimentares da praia (areia fina), sendo, portanto compatível com o sedimento nativo da praia (ARAUJO, 2008). É importante ressaltar que conforme estudos de Freitas Neto *et al.* (2010), a praia Alegre, apresentou TEC bastante estável, acumulando uma pequena tendência de progradação da linha de costa na taxa de $0,20 \pm 0,20\text{ m}/\text{ano}$ durante o período analisado, compreendido entre os anos de 1957 a 1995 (38 anos). Portanto

o aterro realizado teve como finalidade o aumento da largura da faixa de areia, predominantemente associado a questões estéticas em relação a causas estruturais, diferentemente da praia de Piçarras, que apresentava processos erosivos (ARAÚJO, 2008).

A porção mais ao sul da enseada, principalmente ao norte do molhe de fixação do rio Piçarras, onde existe a ZEA, encontra-se significativamente alterada pelo processo de ocupação da orla e pela tentativa de recuperação da faixa de areia através dos projetos de alimentação de praias. Diferentemente, o segmento mais ao norte da orla encontra-se mais preservado e com maior largura. Este setor apresenta uma Área de Preservação Permanente, com vegetação de restinga; conforme a CF Art. 225, lei 4771/65 (revogada pela Lei 12.651 de 2012) e o Código Florestal Brasileiro, Resolução CONAMA número 004/85. A presença de dunas vegetadas, que de fato correspondem a uma proteção natural, ajuda a proteger o cordão litorâneo da ação energética das ondas (Figura 22).



Figura 22: Área de Preservação Permanente na região sul de Piçarras. Fonte: Machado (2017).

6.1.4 – Comparação entre os Projetos de Proteção Costeira

A análise dos projetos de proteção costeira realizados na Enseada do Itapocoróí segundo o Processo de Planejamento descrito no CEM (2002), legislação brasileira e estimativas de elevação do nível médio do mar, foi efetuada com base, predominantemente, nas seguintes referências:

- Plano Global e Integrado de defesa contra enchentes ecossistema bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu (JICA, 1939);
- Feasibility Study on the Flood in the Lower Itajaí River Basin. Final Report, Supporting Report: Japan International Cooperation Agency (JICA, 1990);
- Projeto Básico para Recuperação das praias de Piçarras e Penha – SC (INPH, 14/92);

- Estudo para Recuperação das praias de Piçarras – SC. Coleta e análise de material superficial de fundo da Enseada do Itapocorói (INPH, 17/92);
- Relatório para análise granulométrica das sondagens ao largo da Praia de Piçarras – SC (INPH, 29/92).
- Parecer Técnico Sobre as Potencialidades da Enseada do Itapocorói e Imediações como Área Fonte de Sedimento para o Engordamento Artificial da Praia de Piçarras – SC (HOEFEL & KLEIN, 1997);
- Projeto Executivo de Engenharia para Recomposição da Praia Central de Balneário Piçarras – SC (PROSUL, 2007);
- Projeto Básico para Prevenção e Controle da Erosão Marinha através do engordamento da Praia de Piçarras (PMBP, 2011); e
- Estudo Ambiental Simplificado – EAS para a implementação das obras de drenagem litorânea, controle da erosão marinha e alimentação artificial da praia de Piçarras, Balneário Piçarras – SC (ACQUAPLAN, 2011).

Além dos mencionados relatórios, para a avaliação dos projetos de obras foram utilizados dados disponíveis em órgãos governamentais, universidades locais e publicações científicas pertinentes. As análises detalhadas dos projetos, realizados conforme metodologia descrita no CEM (2002), estão apresentadas no Apêndice A. Através da análise dos projetos de proteção praial foram constatadas as seguintes deficiências:

6.1.4.1 – Projeto INPH 14/92:

- Carência de um maior detalhamento dos problemas para uma identificação e definição clara dos requerimentos do projeto.
- A maioria dos dados foi obtida em estudos de campo realizados pelo JICA, nos anos de 1988 e 1989 (cerca de dez anos antes da execução do projeto).
- *Altura de onda de projeto* definida segundo a Distribuição de Gumbel, para um período de retorno de 30 anos, na profundidade de medição de 10m. Esta de grande importância para o desenho dos espigões, visto que estes devem permanecer intactos durante eventos de tempestade severa.
- Neste projeto não foi considerada a *profundidade de fechamento*, base para o cálculo do Perfil de Equilíbrio.

- Não foi definido o *nível de água devido à tempestade*.
- Não foram considerados *parâmetros de elevação do nível médio do mar*.
- Não foram estabelecidas *dimensão e curvas granulométricas da jazida* para recomposição da praia. Portanto:
 - Admitido desvio padrão do sedimento nativo e da jazida idênticos. Dessa forma, o fator de enchimento calculado no projeto foi 4 a 5 vezes maior que o teórico.
 - O valor de enchimento real, calculado por Hoefel & Klein (1997) seria um volume 10 vezes maior que o real, inviabilizando a realização da obra.
 - Apenas 10% de todo sedimento extraído e depositado na praia ali permaneceria.
 - Erro no cálculo do *volume de enchimento* (INPH 14/92).
 - Faz-se necessário estudo detalhado das características do material da jazida para estabelecimento do volume definitivo.
- Necessidade de *futuros dados geotécnicos* para identificar possíveis jazidas capazes de atender ao projeto.
- Não foi proposta *metodologia de execução da obra*, bem como o volume total a ser utilizado para as duas alternativas, devido ao desconhecimento das possíveis jazidas e suas curvas granulométricas; ao desconhecimento dos equipamentos a serem utilizados na operação e ao processo executivo estar diretamente relacionado à forma de transporte do sedimento da jazida para a praia.
- Não foram definidos os *custos da obra*.
- Portanto, não foi determinado o tipo de sedimento a ser usado na obra e sua área fonte, nem determinadas às disponibilidades logísticas e financeiras, não sendo possível o estabelecimento de uma relação custo/benefício, imprescindível ao sucesso da obra.
- Em relação a Piçarras, apresentadas duas alternativas de projeto, sendo que a segunda estabelecia a implantação de um espigão de retenção na região de maior intensidade dos processos erosivos.
- Apesar do projeto INPH 14/92 indicar a Alternativa I, devido ao menor impacto ambiental, praia única e contínua, foi realizada a execução parcial da Alternativa II.
- A Alternativa II interromperia a orla marítima com a implantação de espigão.

- Foram construídos apenas 25m dos 100m de comprimento previstos do espigão, devido à falta de verbas.
- Não foi realizado estudo de *modelagem de ondas, correntes e transporte de sedimentos*.
- Não foram realizados *modelos físicos*.
- Apesar de o projeto recomendar o *monitoramento da execução e evolução da obra*, esse não foi realizado.
- Projeto de orientação de curto prazo, associado à estado de calamidade pública.

6.1.4.2 – Projeto PROSUL/2007:

- Carência de um maior detalhamento dos problemas para uma identificação e definição clara dos requerimentos do projeto.
- Utilização dos dados de *correntes, marés, ventos e ondas* do projeto anterior (INPH 14/92), apesar do mesmo ter sido desenvolvido cerca de 15 anos antes da construção da obra.
- Não foi considerado o *nível de água devido à tempestade*.
- Utilização da mesma *altura de onda de projeto* definida pelo INPH 14/92, segundo a Distribuição de Gumbel, para um período de retorno de 30 anos, na profundidade de medição de 10m.
 - Um estudo de modelagem de ondas auxiliaria na melhor definição da onda para o design do projeto de alimentação. No entanto, não foi realizado.
 - Utilização de uma teoria muito básica para transformação de ondas de águas profundas para águas rasas, apenas considerando os efeitos de refração e empinamento. Essa teoria é baseada em costas com isóbatas paralelas, não aplicável à enseada de Piçarras.
 - O efeito de difração não foi considerado, o qual tem grande influência na área de estudo.
- Utilização dos mesmos *dados sedimentológicos* obtidos pelo JICA em 1989.
 - Segundo o Parecer Técnico uma nova campanha de amostragem sedimentológica deveria ter sido realizada ao largo do arco de praia, incluindo alguns furos de sondagem para avaliação do perfil sedimentológico local.

Visto que os dados sedimentológicos disponíveis sobre a Praia de Piçarras não fornecem os subsídios necessários para os cálculos precisos de compatibilidade com sedimento da jazida, fator de enchimento e estabilidade do engordamento (HOEFEL & KLEIN, 1997).

- Realizado novo *levantamento topohidrográfico e sondagem geotécnica* para caracterização da jazida. Entretanto:
 - Os novos *furos de sondagem* para caracterização da jazida foram realizados em áreas previamente consideradas incompatíveis em relatórios anteriores (INPH, 14/92; HOEFEL & KLEIN, 1997).
 - Relatórios anteriores já haviam sugerido nova campanha de prospecção de detalhe nas adjacências da Ilha Feia, em profundidades acima de 8m, onde segundo relatos de pescadores e moradores locais há indícios de sedimento mais grosso (INPH 29/92).
 - *Pontos de sondagem* localizados na região ao largo da Praia Alegre, em profundidades inferiores a 3,3m, perfil ativo da praia, não constituindo jazida potencial. A exploração dessa área pode gerar desequilíbrio morfológico após o aprofundamento da região e engordamento da praia.
 - Além disso, nesses pontos verificada a presença de sedimentos finos, considerados incompatíveis com o sedimento nativo de Piçarras, implicando em alto fator de enchimento (HOEFEL & KLEIN, 1997).
- A justificativa para a sondagem nos pontos ao largo da Praia Alegre foi que o resultado do aterro hidráulico executado para recuperação da praia apresentou um perfil de praia íngreme na zona de arrebentação em função da característica do sedimento utilizado (areia grossa). Após a alimentação, a camada superior da praia foi coberta com muitas conchas e cascalho, o que não era confortável para os usuários da praia, tornando-se necessária nova pesquisa de jazida para a obra.
- Para o novo projeto seria aproveitada a região ao largo da Praia Alegre – Penha, de onde já foram obtidos os materiais para dragagem e aterro hidráulico na recuperação da Praia Alegre em 1999, cuja obra foi realizada com sucesso sendo utilizada areia fina a média na recuperação daquela praia. No entanto:
 - A praia Alegre e a de Piçarras apresentam características morfológicas distintas. A Praia Alegre é uma praia abrigada, com sedimentos mais finos, sem processo erosivo, aterro apenas realizado com função estética. A Praia

de Piçarras apresenta processos erosivos, praia mais exposta e com sedimentos mais grossos. Dessa forma, é inviável a utilização do mesmo tipo de sedimento nas duas praias.

- Não foi determinada a *profundidade de fechamento*, base para o cálculo do perfil de equilíbrio.
- Não foi realizada a *modelagem da evolução do aterro*.
- Não foram realizados *modelos físicos*.
- Não foram considerados *parâmetros de elevação do nível médio do mar*.
- Não foi realizado o *monitoramento da execução e da evolução dos aterros*.
- Projeto de orientação de curto prazo, associados a estado de calamidade pública.
 - Em 2008, foi realizada uma nova alimentação de forma emergencial para recompor a faixa de areia para o verão de 2009. Porém, este volume de sedimentos foi rapidamente erodido apresentando processos erosivos graves, principalmente na ZEA ao norte do molhe do rio Piçarras.
- Um ponto positivo desse projeto em relação ao anterior foi à definição dos *custos do projeto*.

6.1.4.3 – Projeto PMBP/2011:

- Definição mais clara dos problemas através da utilização de dados de retração da linha de costa, de redução do volume do estoque de areia da praia emersa, possibilitando análise quantitativa.
- Entretanto, utilização dos mesmos dados de *correntes, marés, e ventos* dos projetos anteriores (INPH 14/92).
- Neste projeto foi considerada a *maré de tempestade* (efeito da tempestade em 1983).
- Determinação da *altura significativa da onda e direção da energia de onda média*, através de informações coletadas pelos navios e aplicação do *Weibull 3P Fit*.
 - As alturas de ondas obtidas pelas embarcações são consideravelmente maiores do que as observadas pela boia de medição de ondas. Possivelmente devido ao posicionamento da boia m águas na profundidade de 10m (o que gera redução na altura da onda comparada ao *offshore*), em localização protegida de ondas de Leste-Sudeste para Sul. No ano de operação da boia pode ter ocorrido um regime de ondas moderado. Desta forma, as

observações dos navios foram utilizadas como informações básicas para este projeto (PMBP, 2011).

- Realizadas novas *sondagens geotécnicas*, em junho de 1998, utilizando-se um “*vibracore*”.
 - Verificada a existência de sedimento, na faixa granulométrica desejável (areia similar à nativa, i.e., com D_{50} de 200 a 300 μm , podendo variar até 500 μm), além da isobatimétrica de 10m, a uma distância de 3,5 a 4mn da área a ser preenchida. Jazida não situada no perfil ativo da praia.
 - Volume sedimentar da jazida é suficiente para a execução da obra, bem como para execução de futuras manutenções (ACQUAPLAN, 2011).
- Em relação às *fontes de áreas de empréstimo*, quatro alternativas foram estudadas.
- O projeto de recuperação baseia-se no volume obtido através do *Perfil de Tempestade de Vellinga* (PMBP, 2011).
 - *Perfil de Tempestade de Vellinga* foi originado pela única maior tempestade em um ano. A diferença entre o perfil atual e o perfil da tempestade de Vellinga foi de aproximadamente 165 m^3/m .
 - Portanto, segundo o estudo para recuperação da praia de Piçarras é necessário um volume de aproximadamente 350.000 m^3 em cerca de 2.100m de extensão.
- O projeto também prevê a implantação de 02 espigões, com 132m de extensão cada um, para evitar perda sedimentar devido ao transporte costeiro rumo ao Norte, como ocorrido entre os anos de 1999 e 2010.
- Período de execução dos serviços de dragagem e "engordamento" da praia, da construção dos espigões de Piçarras, incluindo-se nestes, os prazos necessários para a mobilização e desmobilização foi estimado em 5 a 6 meses.
- Um avanço em relação aos demais projetos foi à consideração aos *aspectos ambientais*, tais como:
 - Efeitos do projeto de alimentação na vida marinha.
 - Observação à localização de possíveis áreas de jazida a uma distância mínima de 500m do ponto mais extremo de parciais e ilhas.
 - Não coincidência do período de dragagem com o período de reprodução das espécies.

- Definição de *Programas Ambientais e Medidas Compensatórias*: Retorno do Habitat Natural; Despejos de Águas Pluviais e Servidas; Coleta de Resíduos; *Programa de Monitoramento da Praia de Piçarras*; População de Entorno.
- Em relação ao EAS (ACQUAPLAN, 2011), foi adotada *profundidade de fechamento* de -3,0m, a qual foi a média registrada por Van Den Heuvel *et al.* (2008) para a área do projeto.
- No EAS (ACQUAPLAN, 2011) foi estimado um volume de 506.500m³ para a praia de Piçarras em uma extensão de 2.200m, resultando em uma densidade de alimentação de 240 m³/m (EUA: 250 m³/m aceitável).
 - A altura da berma para o projeto foi de 2,5m, devido a esta ser referente à altura do nível da parte final da berma junto à calçada. Assim, foi estimada uma variação média de 5,5m entre a berma (+2,5m) e a profundidade de fechamento (-3,0m). A largura final da praia de alimentação, resultante após a acomodação do material, será de 40m e a extensão de 2.200m.
- Alternativas tecnológicas para o *despejo dos sedimentos dragados* na alimentação estudadas, considerando a premissa da viabilidade sedimentológica (ACQUAPLAN, 2011).
- *Modelagem de ondas* para a enseada do Itapocorói foi realizada no EAS (2011):
 - Reconstrução da série temporal de ondas de águas profundas para rasas, através da técnica do Hiper-cubo. O modelo ainda considerou os processos de difração, refração induzida pelo fundo e por interação onda-corrente e interações onda-onda do tipo *frequency-shift*.
 - O caso extremo considerado tem uma recorrência da ordem de 10 anos e é proveniente do quadrante ESE com altura de onda de 4,39m, período de 12,66s e direção de 112°. A altura das ondas dentro da enseada para a situação extrema foi da ordem de 4,5m, sendo que a concentração das maiores ondas ocorreu na porção Centro-Norte da enseada com altura de arrebentação de ondas de até 3m.
 - As correntes geradas pelo caso extremo na enseada são muito fortes ao longo de toda praia de Piçarras. Na região sul da enseada, o modelo demonstrou a existência de uma célula de circulação no sentido sul com sedimento sendo exportado para fora do promontório da Ponta da Vigia.

- As ilhas Feia e Itacolomi representam um obstáculo importante na dinâmica que ocorre dentro da enseada.
- A deriva litorânea próximo à praia demonstrou-se em dois sentidos: nas porções centro e norte da praia apresenta-se no sentido norte; e para a região sul da enseada ocorre a inversão desta deriva litorânea para o sentido sul. O ponto de inversão da deriva litorânea localiza-se exatamente em frente à ZEA localizada ao sul da praia de Piçarras. Isso comprova que este local, por receber uma maior concentração de energia de ondas, acaba sofrendo uma erosão localizada.
- As estruturas rígidas presentes na costa da enseada do Itapocorói, como os promontórios que limitam a enseada, ao sul a Ponta da Vigia, e ao norte, bem como a Laje do Jacques na porção central da enseada, difratam a energia das ondas e geram correntes que tendem a exportar os sedimentos da praia em direção à plataforma continental adjacente. Ou seja, provavelmente funcionam como “sumidouros” de sedimentos provocando erosão nas praias da enseada, principalmente a praia de Piçarras.
- No EAS são definidas as áreas de influência do empreendimento direta e indiretamente afetadas, realizado o diagnóstico ambiental do meio físico, biótico e socioeconômico relevante para a avaliação dos impactos ambientais do empreendimento proposto e a proposição de medidas de mitigação desses impactos.
- No entanto, tanto no PMBP (2011) quanto no EAS (ACQUAPLAN, 2011) não foi considerada a *elevação no NMM*.
- Não foi realizado o *monitoramento topográfico e sedimentar contínuo da obra e adjacências*, durante e após a conclusão dos trabalhos, apesar do mesmo ter sido estabelecido no PMBP (2011) e no EAS (ACQUAPLAN, 2011).
 - Este monitoramento seria importante para obtenção de taxas de variação da linha de costa, volume e largura do perfil praial por períodos superiores a seis meses, para se eliminar variações pontuais decorrentes de eventos de alta energia (ressacas), ou retração inicial causada pelo ajuste da topografia frente à nova situação morfológica, que podem mascarar ou superestimar as taxas de recuo ou progradação da costa.
- Metodologia de execução e custos da obra definidos no EAS (ACQUAPLAN, 2011);
- Não foram realizados *modelos físicos*.

- Projeto de orientação de curto prazo, associados a estado de calamidade pública.
 - Estado de emergência decretado no dia 25 de julho de 2011.

6.1.5 – Legislação Ambiental

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, consagrou o meio ambiente como “bem de uso comum” e declarou a Zona Costeira como “patrimônio nacional”, afirmando um princípio jurídico que sustenta toda a aplicação da legislação federal e estadual para essa faixa do território, gerando, assim, um sistema de alta coerência e eficácia, tendo em vista a preservação de suas condições básicas de existência. A consagração do Estudo de Impacto Ambiental como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente no texto constitucional traduz a efetivação no direito positivo dos Princípios da Prevenção e da Precaução (SIQUEIRA, 2012).

O “Zoneamento Ambiental”, a “Avaliação de Impactos Ambientais” e o “Licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras” são instrumentos previstos na Política Nacional do Meio Ambiente – Lei 6938/81. Esses instrumentos possibilitam ao órgão ambiental analisar a implementação de empreendimentos e atividades públicas ou privadas que visem à utilização de recursos ambientais. Segundo o artigo 10 da referida lei, *“a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e de atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como as capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do SISNAMA, e do IBAMA, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis”*.

A resolução CONAMA 001/1986 que estabelece os critérios e diretrizes para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental foi instituída em 1986. Entretanto, a estruturação dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, foi concretizada apenas na Resolução CONAMA N° 237/97, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental. Portanto, anteriormente a esta Resolução de 1997, estudos ambientais para instalação de obras potencialmente causadoras de degradação ambiental são incipientes e falhos, sendo dificilmente encontrados. Partindo desta premissa, apenas seria possível a análise das medidas realizadas na praia de Piçarras (1999, 2008, 2012) e na praia Alegre (1999). Todavia, apenas o Estudo Ambiental Simplificado (EAS) do projeto de recuperação praias de 2011 foi encontrado e analisado.

O Anexo I da Resolução CONAMA 237/97 define como atividade ou empreendimento sujeito ao Licenciamento Ambiental os **Serviços de Utilidade (dragagem) e Obras Cíveis**, sujeitando as intervenções costeiras realizadas na Enseada do Itapocorói às diretrizes e procedimentos elencados nos Artigos 2º e 10º da Resolução supracitada.

No âmbito estadual a Resolução CONSEMA 098/2017, que aprova nos termos do inciso XIII, do art. 12, da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, a **Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental** passíveis de licenciamento ambiental pela Fundação do Meio Ambiente – FATMA e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento classifica o projeto proposto em 2011, como:

33.13.12 - Molhes e guias de correntes e similares

Pot. Poluidor/Degradador: Ar: P Água: M Solo: M Geral: M

Porte Pequeno: $L \leq 0,1$ (RAP)

Porte Médio: $0,1 < L < 0,5$ (RAP)

Porte Grande: $L \geq 0,5$ (EAS)

33.20.00 – Dragagem

Pot. Poluidor/Degradador: Ar: P Água: M Solo: M Geral: M

Porte Pequeno: $VD \leq 20.000$ (RAP)

Porte Médio: $20.000 < VD < 500.000$ (EAS)

Porte Grande: $VD \geq 500.000$ (EIA)

33.40.00 - Alimentação artificial de praia

Pot. Poluidor/Degradador: Ar: P Água: M Solo: M Geral: M

Porte Pequeno: $VS \leq 100.000$ (EAS)

Porte Médio: $100.000 < VS < 500.000$ (EAS)

Porte Grande: $VS \geq 500.000$ (EIA)

Sendo: VD = volume dragado (m^3); L = comprimento (km); VS = volume de sedimentos (m^3).

Em conformidade com as resoluções pertinentes, foi realizado o Estudo Ambiental Simplificado – EAS para a implementação das obras de drenagem litorânea, controle da

erosão marinha e alimentação artificial da praia de Piçarras, Balneário Piçarras – SC (ACQUAPLAN, 2011). No EAS definidas as *áreas de influência do empreendimento direta e indiretamente afetadas*, realizado o *diagnóstico ambiental* do meio físico, biótico e socioeconômico relevante para a avaliação dos *impactos ambientais* do empreendimento proposto e a proposição de *medidas de mitigação* desses impactos. Na análise ambiental foram considerados os cenários de implantação e operação do empreendimento e, ainda, a sua não realização. Esta análise é, portanto, uma etapa desenvolvida posteriormente à caracterização do empreendimento e elaboração do diagnóstico ambiental, conforme determinado pela Resolução CONAMA 001/86. Planos e programas ambientais foram recomendados, capazes de avaliar a eficiência das medidas adotadas, de forma a garantir a manutenção da qualidade ambiental da região. O Estudo considerou a obra viável no aspecto ambiental, desde que realizadas corretamente as medidas previstas que visam à garantia da manutenção da qualidade ambiental do empreendimento.

Para os demais projetos, a análise foi fundamentada na adequação da implantação das obras em relação ao **zoneamento do município**, instituído pela **Lei Complementar 005/2009**, e ao Plano Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável, instituído pela Lei Complementar 003/2009, apesar das mesmas terem sido instituídas anteriormente apenas à realização do projeto de 2011. A Lei Complementar 005/2009 dispõe, em seu art. 11 que as Zonas de Interesse Ambiental visam assegurar a qualidade de vida urbana do ponto de vista ambiental e do lazer, distribuindo-se em: I - Zona de Preservação Permanente - ZPP; e II - Zona de Proteção Ambiental - ZPA.

De acordo com o art. 12, da referida lei, a faixa de terra de largura de 50 metros marginal ao Rio Piçarras constitui ZPP. Segundo o seu Art. 16, ZPA são áreas de interesse paisagístico e ecológico, preferencialmente a instalações de parques públicos, com o intuito de preservá-las para não ocorrer ocupações inadequadas e dotar o Município de áreas públicas de lazer. Verificou-se que os aterros hidráulicos foram realizados na ZPA.

O Art. 18 define os usos permitidos nesta zona, dentre estes a **manutenção e conservação da faixa de areia da praia, conforme análise e parecer do Órgão Municipal de Planejamento Urbano, do Órgão Municipal de Meio Ambiente e da Comissão Técnica de Urbanismo**. Portanto, observou-se que as obras de recomposição praias na orla, foram realizadas em conformidade com a lei municipal. De acordo com o Art. 19 cabe a Administração Pública através de seu órgão competente a promoção, manutenção e administração desta zona.

A região de implantação do guia-corrente é caracterizada como Área de Especial Interesse Público, enquadrada nas Zonas Especiais de Interesse Público (ZEIP). Estas zonas objetivam assegurar a qualidade de vida urbana e rural do ponto de vista social, ambiental, turístico e do lazer, e a elaboração de um plano de urbanização e zoneamento próprios, que assegura a satisfação das diversas necessidades da cidade, em constante processo de mutação (Art. 28). De acordo com o Art. 29 consideradas ZEIP, áreas de beira-mar com necessidade de controle da ocupação para preservação da paisagem, locação de equipamentos públicos, preservação de paisagem, preservação de remanescentes de vegetação de dunas e/ou restinga (II); **a faixa de terra da orla marítima em toda a extensão do município e numa largura de 24 m a contar da linha média entre o final da faixa de areia e o início da vegetação de dunas e/ou restinga (IV)**. Portanto, observa-se que nestas zonas os planos de urbanização são elaborados conforme interesses próprios do governo, e a implantação do guia-corrente, se em conformidade com anseios políticos pode ser considerada efetuada de acordo com a legislação pertinente (MACHADO, 2010).

Já a **Lei Complementar 003 de 2009**, que institui o Plano Municipal de Desenvolvimento Urbano Sustentável, ao dispor sobre a forma de proteger, conservar e recuperar as características ambientais e dos ecossistemas do Município de Balneário Piçarras, estabelece como diretriz geral, em seu art. 24, inciso V, **a viabilização da manutenção do aterro hidráulico da faixa de areia da praia e a implantação de estruturas de contenção desta área objetivando combater a erosão da orla marítima**. Portanto, os projetos foram realizados em conformidade com o disposto no Plano Diretor.

6.1.6 – Cenário de Elevação do Nível Médio do Mar

6.1.6.1 – Análise do Perfil Praial

Para a análise do perfil praial, a região correspondente à primeira alimentação praial na Enseada do Itapocorói foi dividida em três setores, conforme demonstrado na Tabela 1. Para o cálculo do perfil de equilíbrio é necessário primeiramente conhecer a profundidade de fechamento da praia, obtida do estudo realizado por Van Den Heuvel *et al.* (2008).

Tabela 1: Setores da Enseada do Itapocorói e respectivas profundidades de fechamento.

Praia	Setor	Perfil	Profundidade de fechamento (m)
Praia Alegre	1	1 a 4	2,04
Praia Piçarras	2	5 a 12	2,64
	2	13 a 25	3,24

A profundidade de fechamento aumenta de Sul para Norte, de acordo com a exposição às ondas e a declividade do perfil (Tabela 1 **Error! Reference source not found.**). A Praia Alegre apresenta um ambiente dissipativo de baixa dinâmica, cuja praia apresenta uma maior largura e menor mobilidade do perfil praial; já a Praia de Piçarras apresenta um ambiente reflectivo, cuja morfologia da praia apresenta uma alta variabilidade devido à maior exposição ao regime energético incidente (KLEIN & MENEZES, 2001; KLEIN, 2004; ARAUJO, 2008; KLEIN *et al.*, 2009; GARDELIN, 2010).

Para o cálculo do perfil de equilíbrio foi aplicada a equação 1 proposta por Bruun (1954) e Dean (1977), onde se assume que o perfil de praia é parabólico. Segundo Muehe (2014), dentro dos valores de tendência central de uma amostra a mediana é o parâmetro que melhor caracteriza os depósitos sedimentares. Para comparação do perfil praial antes e após o aterro hidráulico foi utilizado o tamanho mediano de grão na praia média (cota -1,0m IBGE) obtidos dos estudos de JICA (1990) e a média do tamanho mediano de grão da face praial e pós-praia obtidos por Gardelin (2010) (Tabela 2). Gardelin (2010) coletou 108 amostras de sedimento na Enseada do Itapocorói, sendo 54 na face da praia e 54 no pós-praia, nos meses de agosto e outubro de 2008.

Tabela 2: Tamanho mediano do grão utilizado e parâmetro de escala de sedimento *A* teórico.

Praia	Setor	Perfil	JICA (1990) – PM		GARDELIN (2010) - FP & PP	
			Tamanho mediano de grão (mm)	Parâmetro A teórico	Tamanho mediano de grão (mm)	Parâmetro A teórico
Praia Alegre	1	1 a 4	0,21	0,103	0,20	0,1
Praia Piçarras	2	5 a 12	0,25	0,115	0,30	0,125
	2	13 a 25	0,21	0,103	0,34	0,135

Os resultados de perfil de equilíbrio, obtidos dos perfis de praias, anterior aos projetos de alimentação (JICA, 1990) e posterior aos aterros de 1998 e 2008 (GARDELIN, 2010) estão demonstrados nos gráficos abaixo (Figura 23 e Figura 24).

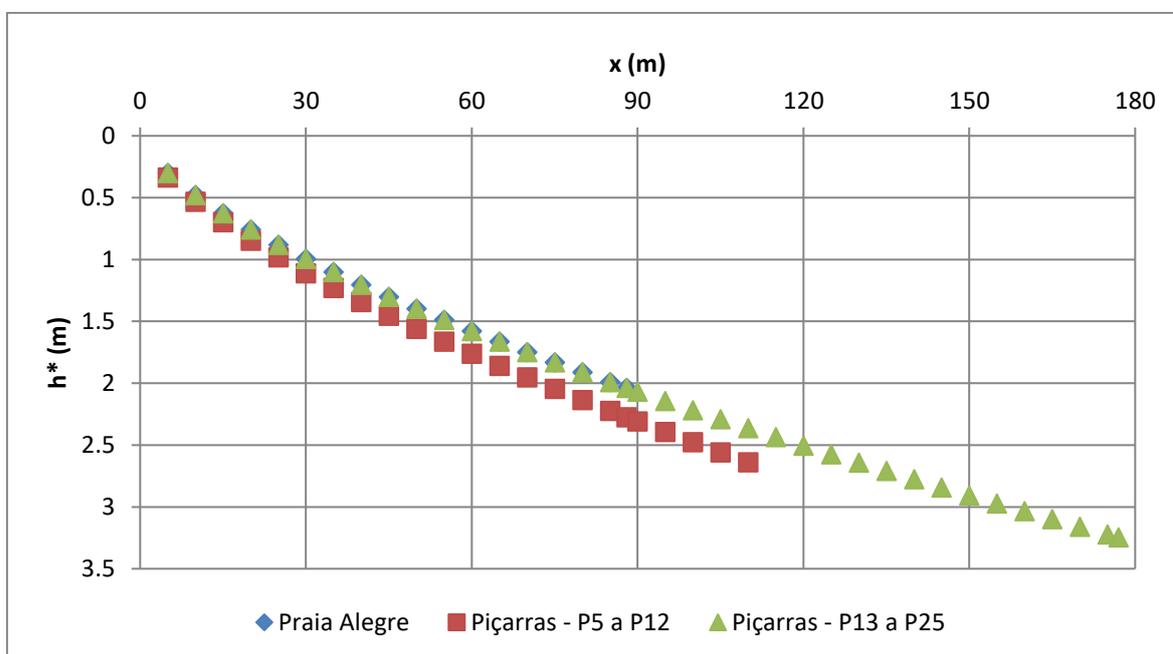


Figura 23: Perfil de equilíbrio nos três setores da Enseada do Itapocorói – ANTERIOR AOS PROJETOS DE ALIMENTAÇÃO – Dados: JICA (1990).

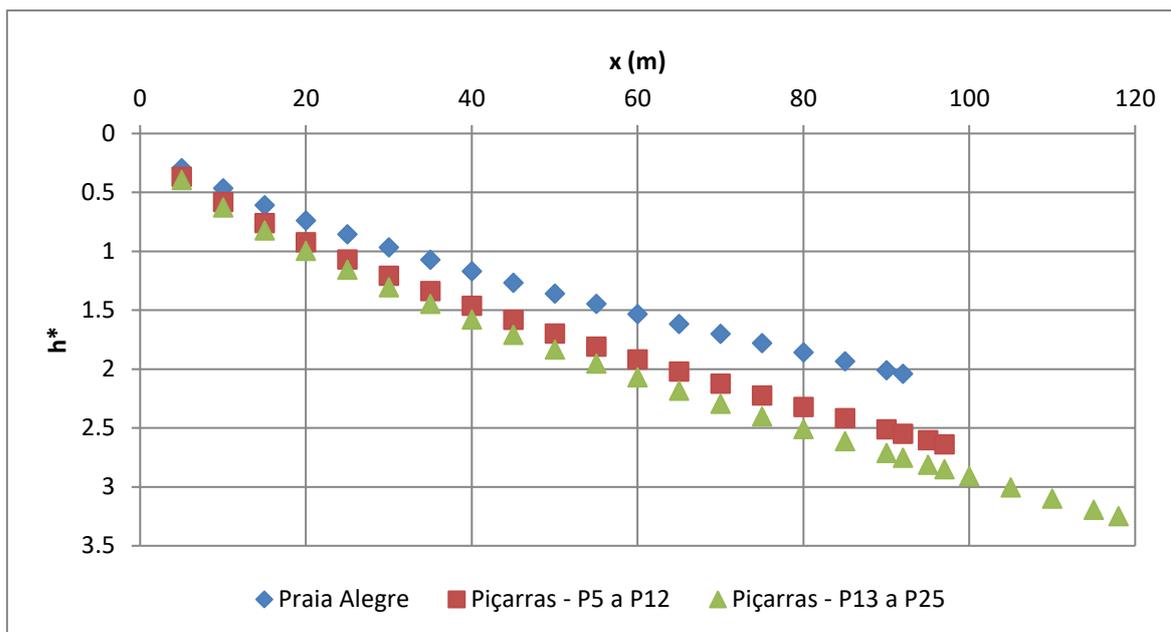


Figura 24: Perfil de equilíbrio nos três setores da Enseada do Itapocorói – POSTERIOR AOS PROJETOS DE ALIMENTAÇÃO – Dados: GARDELIN (2010).

Na Praia Alegre, foi observada similaridade do tamanho mediano do sedimento, areia fina, após o projeto de alimentação praial. No aterro hidráulico de 1998, na referida praia, foi utilizada jazida com granulometria do sedimento compatível ao nativo, sendo verificada a manutenção do perfil da praia, de baixa declividade. Conforme dados de monitoramento mensal do perfil praial referentes ao período entre agosto de 2007 e agosto de 2010, analisados por Prado (2011), a declividade da face praial dos perfis do Setor 1 foram os que obtiveram maior semelhança entre si, variando de 2,4° a 3,2°, com desvio padrão de 0,3° e média de 2,8°. Esta baixa declividade e variação, característica de praias dissipativas, está associada ao sedimento fino e a baixa energia de onda que atinge a região, devido a zona de sombra formada pelo processo de difração de ondas no Promontório da Penha.

Na Praia de Piçarras, foi observado um aumento do diâmetro mediano do grão. Esta praia é composta predominantemente por areia média. De um modo geral, segundo estudos de Sprovieri (2008), o tamanho médio de grão na praia de Piçarras aumentou cerca de 0,02mm após dezessete anos (1990 até 2007). Esse aumento na granulometria do sedimento resulta em uma maior declividade do perfil praial. Segundo a análise em macroescala temporal de Prado (2011), o Setor 2 apresenta o maior desvio padrão (1,1), com média de 4,3° variando de 2,8° a 6,2°. Ressalta se que no projeto de alimentação de praia de 1998 foi adicionado sedimento mais grosso que o nativo.

Para análise da evolução sedimentar e comparação entre os perfis de equilíbrio situados na ZEA (perfis 5 a 12) foram utilizados os dados de diâmetro médio, obtidos por Araujo (2008) e Sprovieri (2008) – PRÉ-ATERRO e Gardelin (2010) – PÓS-ATERRO (Tabela 3). Araujo (2008) e Sprovieri (2008), analisaram amostras coletadas nas Praias Alegre e Piçarras nos dias 4 de julho de 2007 (8 anos após o primeiro aterro) e 10 de junho de 2008 (13 meses após a primeira coleta e poucos dias antes do início da execução do segundo aterro hidráulico), respectivamente.

Tabela 3: Tamanho médio do grão utilizado e parâmetro de escala de sedimento A teórico.

Praia Piçarras - PERFIS 5 a 12	ARAUJO (2008)		SPROVIERI (2008)		GARDELIN (2010)	
	Tamanho médio de grão (mm)	Parâmetro A teórico	Tamanho médio de grão (mm)	Parâmetro A teórico	Tamanho médio de grão (mm)	Parâmetro A teórico
Face da Praia	0,33	0,131	0,28	0,121	0,36	0,137
Pós - Praia	0,28	0,121	0,27	0,119	0,30	0,125
MÉDIA PEP	0,305	0,126	0,275	0,120	0,33	0,131

O resultado do perfil de equilíbrio obtido através da média do diâmetro médio do tamanho de grão para ZEA está demonstrado no gráfico abaixo (Figura 25).

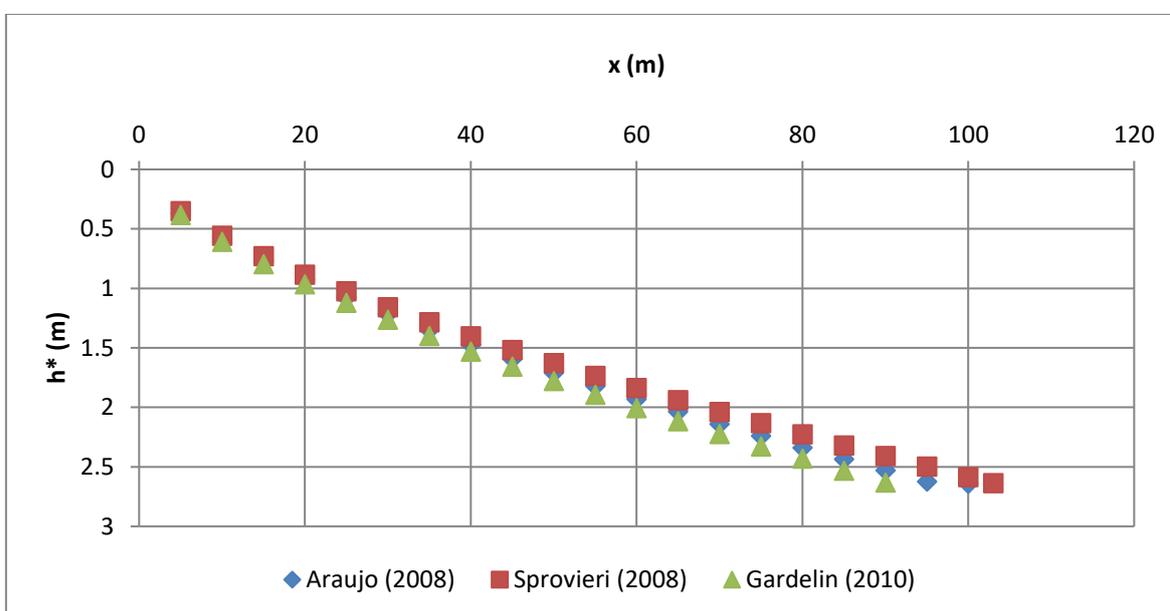


Figura 25: Perfil de equilíbrio na ZEA da Praia de Piçarras – ANTERIOR E POSTERIOR AO PROJETO DE ALIMENTAÇÃO DE 2008 – Dados GARDELIN (2010).

De maneira geral, de 2007 para 2008 (pré-aterro) houve um decréscimo no tamanho médio de grão tanto na face da praia quanto no pós-praia. A variação no tamanho médio de

grão foi mais acentuada na face da praia se comparado com o pós-praia. Comparando-se as amostras de 2008 (pré-aterro) com as amostras de 2008 (pós-aterro) observa-se um aumento no tamanho médio de grão na face da praia e no pós-praia, com maior variação na face da praia, resultando em um perfil de equilíbrio mais íngreme. Não foi constatada a presença de silte e argila. No entanto, estas amostras foram coletadas na superfície da face da praia e na superfície do pós-praia, nos primeiros 20 cm de profundidade.

O pacote sedimentar adicionado à praia na alimentação artificial apresenta em média espessura de 2m. Para uma melhor caracterização do pacote sedimentar adicionado à região, Gardelin (2010) realizou uma amostragem de subsuperfície na região onde foi adicionado o sedimento proveniente da jazida. Resultados das análises demonstraram o decréscimo no tamanho médio de grão, corroborando com o parecer técnico de Hoefel & Klein (1997). De acordo com os autores, o tamanho médio de grão do pacote sedimentar adicionado à Praia de Piçarras na obra de recomposição emergencial em 2008 foi de 0,22mm com grau de selecionamento pobre e com cerca de 18% de lama. Segundo Sprovieri (2008), com a realização da obra o padrão de distribuição dos sedimentos foi modificado, acarretando um decréscimo de 0,04mm no diâmetro médio de grão.

6.1.6.2 – Cálculo do Volume do Projeto

O volume do projeto gerado pela elevação adicional decorrente da aceleração da elevação do nível do mar foi calculado com base na Regra de Bruun (Equação 3). Os dados necessários para o cálculo do volume do projeto de alimentação e respectivas fontes de informação estão demonstrados no Quadro 7.

Quadro 7: Dados e fontes utilizadas no cálculo do volume do projeto de alimentação.

Tipo de Dado	Fonte
Retração adicional da linha de costa (R)	Freitas Neto <i>et al.</i> (2010)
Elevação do nível médio do mar (E)	IPCC (2007)
Altura da berma de tempestade (B)	Prado (2011)
Profundidade de fechamento (h^*)	Van Den Heuvel <i>et al.</i> (2008)
Datum (h^* e B)	Marco MC-145 (IBGE)

Para o presente projeto, foi adotada a elevação do NMM de 30cm em 50 anos, conforme o cenário do IPCC (2007), para utilização dos dados de regressão obtidos por Freitas Neto *et al.* (2010). Segundo o referido autor, a retração observada no Setor 1, da

Enseada do Itapocorói, foi de 3m e no Setor 2 foi de 50m. A profundidade de fechamento adotada foi a registrada por Van Den Heuvel *et al.* (2008) para cada perfil praiial.

Para o cálculo da altura da berma de projeto foi considerado que o perfil praiial (incluindo elevação da berma e *face slope*) está em equilíbrio com o NMM e o clima de ondas. Em resposta ao aumento do nível do mar, foi assumido que o perfil praiial irá preservar sua forma, no entanto a berma deverá ser compensada pelo mesmo valor de aumento do nível do mar. Portanto, foi adicionado 30cm aos valores de altura de berma de tempestade, calculados através da análise dos perfis praiiais do monitoramento de macroescala (agosto de 2007 a agosto de 2010) obtidos por Prado (2011). Os perfis utilizados estão demonstrados na Figura 34, Anexo III. A extensão da alimentação considerada foi de 800m para Praia Alegre e de 2100m para a Praia de Piçarras.

Para o cálculo do volume do projeto, as seguintes premissas foram adotadas:

- Profundidade de fechamento (h^*) constante;
- Considerada apenas a elevação no nível médio no mar (E), não foram analisadas modificações nos processos costeiros;
- Perfil praiial em equilíbrio com o NMM e com o clima de ondas;
- Assumido que não existe retração da linha de costa;
- Adicionados 20% de perda se o sedimento da jazida possuir granulometria igual ou maior que o sedimento nativo, ou 40% se o sedimento da jazida for mais fino; devido ao espalhamento longitudinal associado ao projeto de alimentação.

A Tabela 4 demonstra os valores de volume de projeto obtidos no cenário atual e para um período de 50 anos.

Tabela 4: Volume de projeto atual e para o período de 50 anos calculado para Praia Alegre e Piçarras.

Praia	Período	Volume [m³]	Volume [m³] Areia Grossa	Volume [m³] Areia Fina
Praia Alegre	Atual	11.130	13.356	15.582
	50 anos	11.850	14.220	16.590
Praia de Piçarras	Atual	683.203	819.843	956.484
	50 anos	714.703	857.643	1.000.584

Para a praia Alegre o projeto de alimentação prevê um volume de 14.220 m³ (areia grossa) ou de 16.590 m³ (areia fina) em uma extensão de 800 m. Ressalta-se que essa praia apresenta característica dissipativa, sendo observada baixa profundidade de fechamento e altura de berma. A retração utilizada foi de 3m, com aumento da altura da berma em 30 cm,

para o período de 50 anos. Essa não apresenta processos erosivos, sendo um futuro projeto associado predominantemente a questões estéticas.

Para a praia de Piçarras o projeto de alimentação prevê um volume de 857.643 m³ (areia grossa) ou de 1.000.584 m³ (areia fina) em uma extensão de 2.100 m. A retração utilizada foi de 50m, com aumento da altura da berma em 30 cm, para o período de 50 anos. Essa praia apresenta processos erosivos, intensificados pelo aumento do nível médio do mar.

6.1.7 – Comparação de Custos das Medidas de Proteção

Os custos dos projetos de proteção praial realizados na região da Enseada do Itapocorói foram comparados com os obtidos no estudo de Jonkman *et al.* (2013).

No estudo de Jonkman *et al.* (2013) foram estimados os custos unitários de adaptação de defesas costeiras ao aumento do nível do mar em três regiões deltaicas de baixa altitude: Holanda, Nova Orleans e Vietnã. A Tabela 5 sumariza as estimativas dos custos unitários para os três casos estudados.

Tabela 5: Custo unitário das medidas de defesa costeira, convertidos para valores de 2009 e respectivas referências. Fonte: Jonkman *et al.* (2013).

País / Região	Defesa Costeira (M€/km por m)	Alimentação Praial (€/m ³ de material)	Outras Medidas		
Holanda	Elevação do dique, rural	2,3-6,7	Manutenção de defesas de inundação		
	9,4-11,2	Kok <i>et al.</i> , 2008		M€0,1/km por ano	
	4,5-12,4	Eijgenraam, 2006			
	7,8	ARCADIS e Fugro, 2006			
	Elevação do dique, urbano	3,7 – shore	RWS, 2009		
	18,7-22,4	Kok <i>et al.</i> , 2008	7,5 – beach	RWS, 2009	
	15,5	ARCADIS e Fugro, 2006			
EUA (Nova Orleans)	Elevação earthen dique		Estabilização <i>marshland</i>	€0,4/m ³	Dijkman, 2007
	5-8	Dijkman, 2007; and Jonkman <i>et al.</i> , 2009	Criação <i>marshland</i>	€3/m ³	Dijkman, 2007
	2,5-5	USACE data 2011	Desvio curso de água doce	M€10	Dijkman, 2007
	Construção de Paredão em T				
	4,9-11,8	USACE data 2011			
	3,7-4,5	Bos, 2008			
	Elevação e Fortalecimento de Paredão				
Várias medidas, custos por km					
	4,4-9,1	USACE data 2011			
Vietnã	Elevação do dique, rural		Manutenção de diques	M€0,02/km	Hillen, 2008
(Hai Phong/	0,7-1,2	Hillen, 2008	De dique por ano		Mai <i>et al.</i> , 2008
Nan Dinh)	0,75	Mai <i>et al.</i> , 2008			

Em relação à Holanda, os custos unitários para o fortalecimento de diques variaram entre M€15,5 e M€22,4/km por metro de elevação em áreas urbanas e entre M€4,5 e M€12,4/km por metro de elevação em áreas rurais (valores referentes a 2009). Os custos unitários para fortalecimento dos diques em Nova Orleans foram um pouco menores, entre M€2,5 e M€5/km por metro de altura para barragens de terra e entre M€4,9 e M€11,8/km por metro de altura para a construção de paredões de concreto. Os custos para elevação de diques no Vietnã são mais baixos, devido a fatores econômicos, como mão de obra barata (JONKMAN *et al.*, 2013).

A alimentação artificial consiste na principal estratégia de proteção utilizada nas praias arenosas da costa holandesa. As fontes de literatura disponíveis indicam custos unitários da alimentação praial de aproximadamente €3-4/m³ de material sedimentar para “*shore nourishment*” e €7-8/m³ de material sedimentar para “*beach nourishment*”. Para Holanda e Vietnã, estimativas dos custos de gestão e manutenção estão disponíveis, sendo que estes representam cerca de 1% a 2% dos custos unitários típicos para elevação das defesas (JONKMAN *et al.*, 2013).

De acordo com KoK *et al.* (2008), inicialmente, devido à alta disponibilidade de material sedimentar e ao grande volume dos projetos na Holanda, os custos unitários da alimentação eram relativamente baixos, em torno de €3/m³ de sedimento. Entretanto, nos últimos anos, foi constatado um rápido aumento nos custos dos projetos, superior a 200% (RIJKSWATERSTAAT, 2009); o qual pode estar relacionado ao preço do petróleo e, a uma situação de mercado caracterizada por um número limitado de grandes empreiteiros.

A comparação dos custos unitários das medidas de proteção, para a costa holandesa, conforme determinado pelo IPCC CZMS (1990), Hoozemans, Marchand e Pennekamp (1993) com as estimativas de custo de Jonkman *et al.* (2013), está demonstrada na Tabela 6. É importante ressaltar que no estudo de Jonkman *et al.* (2013), foram analisados dados de projetos mais recentes resultando em maiores custos “*all-in*”, refletindo situações reais em que condições não ideais são comuns.

Tabela 6: Comparação dos custos unitários, conforme determinado pelo IPCC CZMS (1990) e Hoozemans, Marchand e Pennekamp (1993) com estimativas de custo de Jonkman *et al.* (2013) para a Holanda (em valores de 2009).

Medida de Adaptação	Estudo	Estudos Anteriores		Valor Estudo Jonkman 2009 (€)
		Valor Original (\$)	Valor 2009 (€)*	
Alimentação Artificial	IPCC CZMS	\$3–6/m ³	€4,9–9,7/m ³	€7–8/m ³
Dunas de Areia	Hoozemans, Marchand, and Pennekamp	M\$4,5/km	M€6,8/km	-
Elevação áreas industriais e portos em 1 m	IPCC CZMS	M\$15/km ²	M€20/km ²	-

* Os dados originais foram convertidos para os preços de 2009 (em Euros [€]) com uma taxa de desconto de 4% e uma taxa de câmbio de €1 = US\$ 1,35.

Em relação à região da Enseada do Itapocorói, o Projeto Executivo da PROSUL (2007) apresenta o orçamento estimativo para o aterro emergencial e para a obra de recomposição do perfil praial. Para o aterro emergencial foi estimado um volume de dragagem de 144.699m³, considerando 20% de perdas. O orçamento estimativo do aterro emergencial, convertido em valores de 2009, foi de €661.952,81 (Tabela 11 – Anexo IV). O custo unitário estimado da alimentação praial foi de €4,16/m³ de material sedimentar. O orçamento estimado para a realização das obras de recomposição do perfil praial e das estruturas de contenção da erosão costeira, volume de dragagem de 429.886,45m³, foi de €3.359.518,97 (Tabela 12 – Anexo IV). O custo unitário estimado foi de €6,13/m³ de material sedimentar. Considerando a mobilização e desmobilização da draga autotransportadora, o custo unitário estimado foi de €6,82/m³ de material sedimentar.

No Projeto Executivo da PMBP (2011), os custos estimados para a realização das obras de recomposição do perfil praial e das estruturas de contenção da erosão costeira, convertidos em valores de 2009, foram de €2.913.784,29 e de €668.793,73; respectivamente (Tabela 13 e Tabela 14, do Anexo IV). O custo unitário estimado da alimentação praial foi de €5,08/m³ de material sedimentar. Considerando a mobilização e desmobilização da draga autotransportadora, o custo unitário estimado foi de €5,24/m³ de material sedimentar. Portanto para Piçarras, os custos unitários de alimentação praial calculados variaram entre €4-7/m³ de sedimento.

Em um estudo recente sobre custos de adaptação (LINHAM *et al.*, 2010) foram estimados o custo unitário de medidas de proteção costeira em alguns países, como por exemplo, Reino Unido, Alemanha, Austrália e Califórnia, baseados predominantemente no

juízo de especialistas. No estudo de Jonkman *et al.* (2013), os custos foram estimados com base em projetos mais recentes realizados na Holanda, Nova Orleans e Vietnã. Apesar da base de dados desses estudos não ser totalmente compatível, a comparação dos custos unitários dos dois primeiros estudos é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Comparação dos custos unitários para Holanda, Nova Orleans e Vietnã do estudo de Jonkman *et al.* (2013) com estimativas de custos para outros países de Linham *et al.* (2010) (em valores de 2009).

Medida de Adaptação	Estudo Jonkman <i>et al.</i> (2013)	Outras Regiões (Linham <i>et al.</i>, 2010)
Alimentação Artificial (€/m³)	<i>Foreshore</i>: 3-4 <i>Beach</i>: 7-8	Austrália: 5 França: 4-6 Alemanha: 4-8 Itália: 5-6 Nova Zelândia: 7-54 África do Sul: 11 Espanha: 4-7 Reino Unido: 3-34 EUA (Califórnia): 6-12
Elevação <i>earthen</i> diques (M€/km por m)	Holanda, Rural: 4,5-12,4 Holanda, Urbano: 15,5-22,4 Nova Orleans: 2,5-5 Vietnã: 0,7-1,2	Reino Unido: 0,7-3,8 EUA (Califórnia): 0,6-2,7
Paredão (M€/km por m)	Nova Orleans: 4.9 -11.8	Moçambique: 0,7

Dessa forma os custos unitários de alimentação artificial para Piçarras, entre €4-7/m³ de sedimento, são semelhantes aos custos obtidos para os Países Baixos e aos obtidos a partir do juízo de especialistas para os demais países. Para a Nova Zelândia e o Reino Unido, os valores dos intervalos superiores são relativamente altos, possivelmente associados à falta de sedimento disponível em alguns locais.

Genericamente, os custos finais dos projetos de alimentação praias estão diretamente relacionados à distância da área de empréstimo ao local de deposição, a quantidade de sedimento necessária, a mobilização e desmobilização da draga autotransportadora, a manutenção dos equipamentos, ao grau de exposição do local (WILLIAMS & MICALLEF, 2009). Quanto maior o volume de sedimento necessário para o ajuste da forma de alimentação da praia, maiores os custos envolvidos.

6.1.8 – Prognóstico sobre métodos de contenção futuros na Praia de Piçarras

Após a análise dos projetos de obras realizados na Enseada do Itapocorói e dos impactos na linha de costa foi estabelecido, em longo prazo, o prognóstico das medidas de adaptação costeira para contenção do processo erosivo. De modo geral, foi verificado que os projetos realizados na Enseada constituíram soluções de proteção de curto prazo, sem planos de manutenção e monitoramento predefinidos, sendo constatada a continuidade do processo de retração da linha de costa, e a necessidade de futuros projetos de adaptação costeira.

O projeto atualmente implementado na praia de Piçarras, segundo o modelo proposto por Almeida (2013), apresenta como principal problema os espigões não serem suficientemente longos para a formação de uma praia em equilíbrio estático entre eles, com mínima manutenção (aporte de areia). A autora propôs duas alternativas para recuperação praial, conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 26.

1. Formação de praia única entre o molhe do rio Piçarras e o espigão Norte.

A proposta desta alternativa é a acreção do molhe da margem esquerda do rio Piçarras em 170m, atingindo o comprimento de 340m, objetivando a estabilidade da futura praia em forma em planta e em perfil. Propõe-se a utilização do espigão Norte do último projeto de recuperação. A largura da praia na região norte será de 30m, e na área sul de 270m. O volume de sedimento necessário é de aproximadamente 1.500.000m³. Devido ao grande volume de sedimentos necessário nesse projeto, à diferença de largura entre a área norte e sul, e a necessidade de um comprimento muito longo do molhe foi elaborada uma segunda alternativa.

2. Praia compartimentada em duas, cada uma independente, com ambos os setores em equilíbrio estático.

Nessa alternativa, proposta a acreção do espigão intermediário em 145m, atingindo o comprimento total de 280m; e a acreção do molhe da margem esquerda do rio Piçarras em 55m, atingindo o comprimento de 225m. Propõe-se a utilização do espigão Norte do último projeto de recuperação. A largura das praias será em sua região norte, de aproximadamente 30m, e na área sul de aproximadamente 160m. O volume de sedimento necessário para o preenchimento dessas duas praias é de cerca de 900.000m³ de areia, apenas 15% maior do que o utilizado no último projeto.

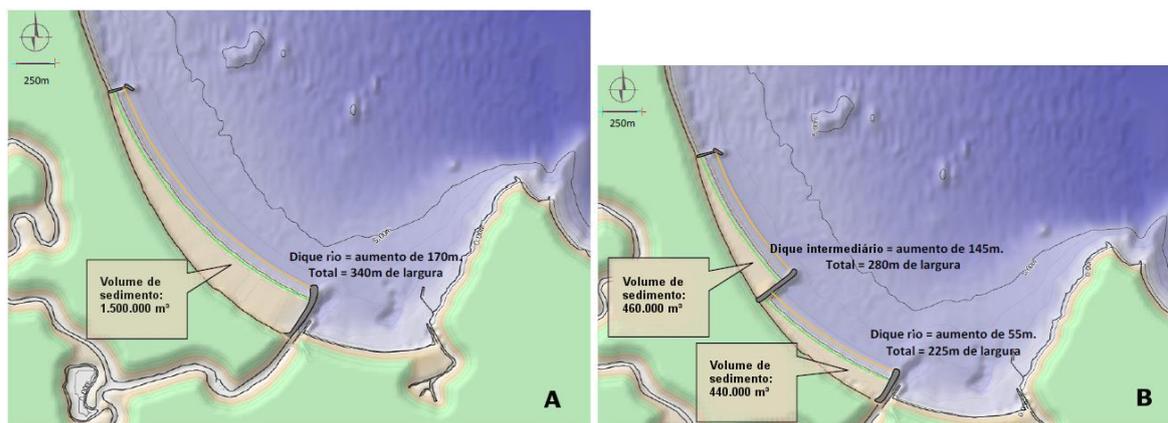


Figura 26: Alternativas de recuperação praial. A. Alternativa 1 para obter uma praia em equilíbrio estático e a futura profundidade de fechamento ($h^* = 2,5\text{m}$, linha laranja). B. Alternativa 2 para obter duas praias em equilíbrio estático e a futura profundidade de fechamento ($h^* = 3.1\text{m}$ para o espigão intermediário e $h^* = 2.5\text{m}$ para o molhe da desembocadura, linha laranja). Fonte: Almeida (2013).

Em relação as alternativas propostas por Almeida (2013), no presente estudo, a alternativa A foi considerada a mais indicada por proporcionar uma maior largura de praia total, e consequentemente maiores benefícios para o turismo local. Salienta-se que os custos para adição de areia estão principalmente relacionados a mobilização e desmobilização da draga. Portanto, a adição de um maior volume de areia não acarretaria em um aumento expressivo no valor do projeto. Adicionalmente, a alternativa A é esteticamente favorável, por não envolver a construção de estruturas rígidas.

Atualmente, pesquisas têm sido realizadas para encontrar novos métodos de mitigação da erosão. Em 2015, uma equipe de cientistas realizou sondagens batimétricas e análises granulométricas para definição do perfil da Praia Central de Piçarras e estabelecimento de alternativas para um novo projeto de recuperação. Este grupo dispôs de uma contribuição financeira de US\$ 0,5 milhão, remanescente do projeto de 2012. Uma contribuição de US\$ 1 milhão poderia ser concedida pelo FUMPRO. No entanto, o projeto de alimentação investigado por esta equipe não foi realizado e quase nenhuma informação pôde ser encontrada sobre esta pesquisa (AdjoriSC, 2015 *apud* Hendriks *et al.*, 2017). Salienta-se que este quando realizado, possivelmente constituirá em mais uma solução de curto prazo.

Visando sanar essa deficiência, no relatório desenvolvido por Hendriks *et al.* (2017), foram estudadas possíveis soluções para contenção da erosão, em longo prazo, que possibilite o desenvolvimento de uma área de praia sustentável. Para a escolha da solução mais adequada foi realizada uma análise multicritério, considerando além de critérios

técnicos, aspectos ambientais, econômicos, políticos, culturais e sociais. As medidas de proteção analisadas, consideradas viáveis para região, estão descritas a seguir.

1. **Alongamento do promontório** – Construção de um quebra-mar, de aproximadamente 750m, conectado ao promontório, combinado a alimentação praial. Estrutura paralela ao litoral de Piçarras, responsável pela criação de áreas de sombra à ação de ondas na região sul da praia e alterações nos padrões de circulação, protegendo a região mais vulnerável, prevenindo contra a erosão. Segundo estudos de Hendriks *et al.*(2017), o quebra-mar com 750m, reduziria ao mínimo o transporte de sedimentos, sem causar alterações no transporte de sedimentos na região norte da praia, sendo considerado o comprimento desejável.
2. **Quebra-mar submerso** – Quebra-mar submerso, situado a aproximadamente 1,5km do litoral, com 1,2km de comprimento, associado à alimentação praial. O quebra-mar submerso atua diretamente sobre as ondas associadas, interceptando as incidentes (principalmente pela quebra das ondas) e difratando as adjacentes, dissipando a energia das ondas antes de atingirem a praia, prevenindo a erosão na área de sombra da obra. Segundo estudos de Hendriks *et al.*(2017), o quebra-mar de 1,2km reduziria a energia de ondas na ZEA e na região do espigão sul, no entanto este geraria um transporte de sedimentos em direção ao sul no espigão norte, o que poderia causar impactos negativos.
3. **Plano de manutenção** – Considerado um plano de alimentação praial, em longo prazo, em intervalos de tempo a cada 5-10 anos, para que a praia possa atingir o estado de equilíbrio e para a prevenção da ocorrência de situações perigosas. O longo intervalo deste plano de manutenção possibilitaria a arrecadação dos fundos necessários para as obras de alimentação e a solicitação de licenças ambientais em tempo hábil. No entanto, poderia resultar em alta taxa erosiva entre os projetos, sendo necessária a adição de um grande volume de sedimento e consequentemente resultaria em maiores custos envolvidos.
4. **Alimentação alternativa** – Adição de sedimentos na forma de “*saw tooth*”, dente de serra, determinada a partir da análise das ondas incidentes. Essa é a tendência da

forma de equilíbrio da praia, devido à presença dos espigões e do promontório. Essa forma permitiria que os ângulos de onda incidentes atingissem perpendicularmente o litoral. Isso resultaria na remoção da principal causa do transporte de sedimentos longitudinal, efetivamente alimentando a praia na sua forma de equilíbrio. No entanto, segundo Hendriks *et al.* (2017), o transporte longitudinal não seria completamente removido, pois a nova orientação é baseada apenas nos casos de ondas com influência predominante no transporte de sedimentos, não tendo o mesmo efeito nos demais casos. Além disso, mudanças morfológicas não foram consideradas. Dessa forma, não foi possível averiguar a real eficácia dessa medida, sendo necessários maiores estudos. Esse método também apresenta desvantagem estética.

Segundo a análise multicritério efetuada por Hendriks *et al.* (2017), uma boa solução para Piçarras, seria o quebra-mar submerso, constituído de blocos de enrocamento, com comprimento de 1,2km, situado a uma distância de 1,5km do litoral (Figura 27 A). Nesse projeto foi considerada uma distância da estrutura ao litoral maior que a convencional, para utilização da capacidade de sombreamento natural da baía, aumentando o efeito de sombra do promontório de Penha sob a praia. Isso foi possível devido à constância na direção das ondas predominantes em Piçarras. Os principais aspectos positivos deste método são à vida útil do projeto para o município, a baixa necessidade de manutenção, e o atendimento aos requisitos necessários para aquisição de licença ambiental. Esse poderia funcionar como um recife artificial, tendo um efeito positivo na biota marinha.

No entanto, é importante ressaltar que a literatura existente sobre recifes artificiais multifuncionais ainda é relativamente recente e limitada (o primeiro foi construído em 1999, em Perth, Austrália). Os recifes multifuncionais visam beneficiar um maior número de usuários potenciais por propiciar múltiplos usos, constituindo um novo conceito de engenharia costeira. Suas funções incluem proteção costeira, melhoria da qualidade das ondas para o surfe, promoção do turismo ligado aos esportes aquáticos, assim como o aumento da biodiversidade local (TEN VOORDE *et al.*, 2009).

No estudo de Simioni & Esteves (2010) foi analisado o desempenho de seis projetos existentes em promover as suas múltiplas funções, a saber: Cable Station (Perth, Austrália, 1999), Narrowneck (Gold Coast, 2000), Pratte's Reef (Califórnia, EUA, 2001, removido em 2008), Mount Maunganui (Mt. Maunganui, Nova Zelândia, 2008), Boscombe

(Bournemouth, Inglaterra, 2009) e Opunake (Taranaki District, Nova Zelândia, 2010). Ressalta-se que os autores encontraram apenas 14 trabalhos científicos independentes na literatura existente que possibilitassem a quantificação do desempenho dos recifes, majoritariamente relacionados a resposta da linha de costa à presença dos mesmos.

De acordo com os resultados obtidos no referido estudo, os recifes têm apresentado desempenho variável, tanto na função de proteção costeira, quanto na melhoria da qualidade do surfe. Em relação ao surfe, a percepção dos surfistas tende a ser majoritariamente negativa quanto a eficiência dos recifes na melhoria da qualidade das ondas. No entanto, a qualidade do surfe foi analisada apenas qualitativamente, através de opinião pública. Em relação a proteção costeira, estudos de monitoramento sugerem que houve um efetivo aumento na largura da praia adjacente ao recife em Narrowneck, mas possivelmente associado a alimentação praial e não a presença do recife. O recife de Pratte's Reef foi removido sete anos após sua construção, por não promover os resultados desejados. Estudos que possibilitassem a análise quantitativa sobre os efeitos na biodiversidade ou no retorno econômico não foram encontrados (SIMIONI & ESTEVES, 2010).

Ao analisar apenas critérios técnicos, Hendriks *et al.* (2017) consideraram o alongamento do promontório (Figura 27 B) como o método mais efetivo para a redução do clima de ondas dentro da baía e a minimização do transporte longitudinal de sedimentos. Essa estrutura pode ser construída em situações de calamidade pública, o que facilitaria o financiamento do projeto. O quebra-mar submerso apresentou efeito semelhante, porém um pouco menos efetivo, além de provocar maiores alterações em relação à condição atual. No entanto, ao considerar a análise multicritério, o alongamento do promontório não foi considerado a melhor solução, devido às seguintes razões: altos custos de investimento para a sua implementação, dificuldades na aquisição da licença ambiental devido ao grande impacto no espaço público comparado as demais soluções, e ao possível impacto negativo no ecossistema da baía e alterações na qualidade da água (Hendriks *et al.*, 2017).

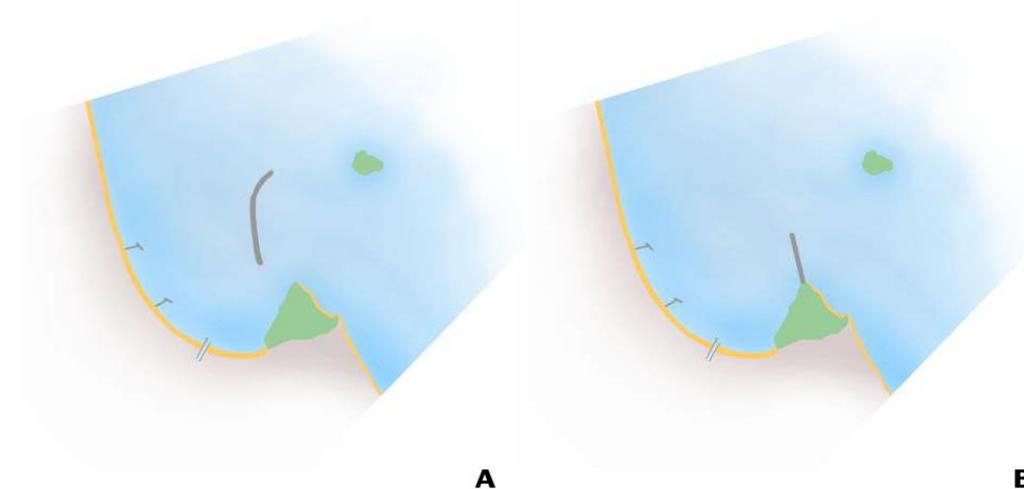


Figura 27: Alternativas de Recuperação Praial. A. Localização do quebra-mar submerso. B. Localização do quebra-mar no promontório. Fonte: Hendriks *et al.* (2017).

De modo geral, para criação e desenvolvimento de uma área de praia sustentável na Enseada do Itapocorói, tanto o quebra-mar submerso quanto o alongamento do promontório foram soluções consideradas viáveis por Hendriks *et al.* (2017). Ambos atuariam na redução do clima de onda na Enseada e do transporte longitudinal de sedimentos. Entretanto, é importante salientar que a limitação de estudos do desempenho destas obras e da avaliação do impacto econômico gerado pela implantação desses métodos favorecem que a sua instalação seja feita quase que exclusivamente com base na publicidade feita pelos próprios empreendedores. Ressalta que essas estruturas uma vez construídas, dificilmente serão retiradas, caso mal planejadas.

Do ponto de vista ambiental, adotando os conceitos de “construindo com a natureza”, (WATERMAN, 2010) e de “recuperação costeira” (NORSTROM, 2000), os projetos de engenharia devem reestabelecer a zonação morfológica e biológica previamente existente aos impactos ambientais, ou seja, reconstruir o ambiente praial o mais próximo de suas características naturais. Dessa forma, a alimentação artificial planejada ao longo dos anos constitui na estratégia com maiores benefícios para a estabilização da linha de costa (BRASIL, no prelo). A adição de sedimentos de forma planejada sob o perfil praial com planos de manutenção preestabelecidos para a reconstrução do ambiente praial e manutenção do balanço de sedimentos pode ser considerada a técnica mais indicada para a mitigação da erosão costeira em Piçarras, apresentando menores impactos ambientais associados.

Adicionalmente, para implementação de qualquer método de recuperação praial é de suma importância à participação de todos os setores envolvidos para garantir uma solução permanente bem-sucedida e amplamente apoiada para a mitigação do processo erosivo. O estabelecimento de protocolos regulamentando a implementação, operação e monitoramento dessas obras é essencial para que a tomada de decisão possa ser feita considerando-se dados de desempenho dessas obras. Considerando os aspectos econômicos, torna-se crucial a composição de um plano de gestão para a praia com uma visão de longo prazo e de acordo com o planejamento financeiro. Salienta-se que com o aumento de situações climáticas extremas, torna-se ainda mais relevante que as estruturas de proteção sejam cada vez mais otimizadas e monitorizadas, evitando perda de vidas humanas e elevados prejuízos econômicos (ROCHA, 2017).

Os modelos físicos em Hidráulica Marítima consistem em uma poderosa ferramenta para a representação de fenômenos complexos associados a ação da agitação marítima às estruturas costeiras e portuárias. Apesar de ser uma técnica mais onerosa e mais demorada, os modelos físicos permitem a reprodução dos fenômenos físicos sem as simplificações inerentes ao uso de ferramentas empíricas ou de modelos numéricos, e a verificação se a solução proposta cumpre as imposições previstas. Além disso, é utilizada no desenvolvimento de métodos empíricos e na calibração e/ou validação de modelos numéricos (NEVES *et al.*, 2012).

Hughes (2005) destaca que o avanço dos computadores e conseqüentemente das soluções numéricas, não tornou os modelos físicos obsoletos, mas desencadeou o progresso em conjunto das duas ferramentas (modelagem física e computacional), denominada modelagem híbrida. Na modelagem híbrida, os modelos físicos podem fornecer dados de entrada ao modelo computacional, em regiões complexas, para cenários previstos. O contrário também é possível, ou seja, estudos onde o modelo computacional é responsável por diversos dados de entrada para calibração do modelo físico.

O cálculo de forças em modelos físicos pode ser afetado por erros, agrupados em: erros de construção do modelo; erros de medição e de medida e/ou análise de dados; erros devidos a efeitos de escala. Embora os dados obtidos em protótipos também possam estar sujeitos a erros, são certamente o método disponível mais importante e preciso para verificação da qualidade das previsões obtidas pela aplicação das fórmulas. Um dos quebra-mares que foram monitorados é o do porto de Gijón, situado no Norte de Espanha. A ampliação deste porto consistiu na construção de um novo quebra-mar de abrigo formado

por três estruturas principais, dos quais um é de tipologia vertical: o molhe Norte (NEVES *et al.*, 2012).

Para a concretização do dimensionamento hidráulico de quebra-mares destacados têm sido desenvolvidos vários estudos com recurso a métodos empíricos e a modelos físicos, nomeadamente no que respeita à avaliação da transmissão da agitação por galgamento e/ou através da estrutura e das alterações morfológicas a sotamar da estrutura. Apesar do contínuo aperfeiçoamento e desenvolvimento de fórmulas de dimensionamento, com recurso a ferramentas de modelagem matemática, com calibração baseada no monitoramento de estruturas reais, e recorrendo a ensaios em modelo físico, ainda há muito por fazer para uma correta e concisa representação matemática de todos os fenômenos intervenientes. Assim, e paralelamente a todo esse desenvolvimento, a experiência vai sendo acumulada e compilada, permitindo a par dos modelos físicos e das fórmulas existentes, contribuir para o dimensionamento correto e seguro de estruturas costeiras (LOPES, 2005).

6.2 – Avaliação e Elaboração de um Roteiro-Guia para a Implantação de Medidas de Adaptação Costeira junto às Praias Arenosas e Canais Estuarinos

Generalizando, em nenhum dos projetos de recuperação praial analisados foram consideradas estimativas de variação do nível médio do mar. As soluções adotadas possuem orientação de curto prazo, imediatamente visíveis, associadas a estado de calamidade pública. Na cultura brasileira, observa-se a não consideração por estratégias de longo prazo. Portanto, as medidas adotadas podem ser consideradas paliativas. A disponibilização de verbas para a realização de medidas de proteção está geralmente associada a situações de calamidade pública. O processo de obtenção de recursos para investimentos em soluções em longo prazo, no Brasil, geralmente é muito complicado. Em Piçarras, o desenvolvimento do Fundo de Manutenção para Praia de Piçarras (FUMPRA) pode ser considerado um verdadeiro avanço para o planejamento de futuros projetos.

Visando sanar essa deficiência na política brasileira para disponibilização de recursos, e também a carência de uma normativa técnica especializada que envolva os processos de licenciamento, fiscalização, construção, e monitoramento de intervenções costeiras, e seus respectivos impactos, o MMA em parceria com diversas instituições governamentais e não governamentais desenvolveu um “Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira” (BRASIL, no prelo). O guia tem sua metodologia baseada no Processo de Planejamento e Design de Obras Costeiras, descrito no CEM (2002), previamente utilizado por Machado (2010) na análise de projetos de obras em Araranguá, Barra Velha e para o primeiro projeto de Piçarras, e na legislação ambiental brasileira.

No presente trabalho, para uma melhor compreensão da importância de um roteiro-guia bem desenvolvido, inicialmente, são apresentados os principais impedimentos para o sucesso das medidas de adaptação costeira e as ferramentas para avaliação e suporte dessas medidas, conforme estudo de Nicholls (2007). Posteriormente, são apresentadas as etapas básicas para implantação de obras presentes no Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira.

Com base no conhecimento adquirido foi proposto um roteiro guia para orientação da implantação de medidas de adaptação costeira no Brasil. Nesse foi inserido um novo modelo de classificação de estruturas costeiras, o qual compara os principais impactos das estruturas no meio ambiente e seu valor na preparação as mudanças climáticas. Variáveis para implantação e manutenção das principais medidas de adaptação costeira foram

inseridas. Essa metodologia busca preencher a lacuna de inserção de variáveis de longo prazo, como elevação do nível médio do mar, e de parâmetros de construção de obras costeiras, nos projetos de recuperação, que muitas vezes levam ao insucesso dos mesmos.

6.2.1 – Principais Impedimentos ao Sucesso das Medidas de Adaptação Costeira

De acordo com Nicholls *et al.* (2007), os maiores impedimentos ao sucesso das medidas de adaptação na zona costeira são:

- Ausência de previsões dinâmicas da migração das formas de relevo;
- Medidas de proteção costeiras insuficientes ou inapropriadas;
- Intercâmbio e integração de dados dificultados por sistemas divergentes de gestão de informação;
- Falta de definição de indicadores chaves e limiares relevantes para os gestores costeiros;
- Conhecimento insuficiente da morfodinâmica costeira e de medidas de gerenciamento;
- Carência de dados em longo prazo dos parâmetros costeiros chaves;
- Arranjos institucionais fragmentados e ineficazes, e fraca governança;
- Resistência social à mudança.

Ferramentas selecionadas que suportam a avaliação das adaptações costeiras e intervenções (NICHOLLS *et al.*, 2007):

- Índices de vulnerabilidade ao aumento do nível do mar (Thieler & Hammar-Klose, 2000; Kokot *et al.*, 2004);
- Modelos e estruturas integradas para gestão do conhecimento e avaliação da adaptação (Warrick *et al.*, 2005; Consórcio Dinas-Costa, 2006; Schmidt-Thomé, 2006);
- Sistemas de informação geográfica (SIG) para suporte à decisão (Green & King, 2002; Bartlett & Smith, 2005);

- Cenários - uma ferramenta para facilitar o pensamento e decidir sobre o futuro (DTI, 2002; Ledoux & Turner, 2002);
- Ferramenta de avaliação da vulnerabilidade da comunidade (NOAA Coastal Services Centre, 1999; Flak *et al.*, 2002);
- Simulador de inundações para defesas de inundações e costeiras e outras respostas (Discovery Software, 2006);
- Estimativa dos efeitos socioeconômicos e ambientais de eventos extremos (CEPAL, 2015);
- Sustentabilidade do processo de GIZC (Milne *et al.*, 2003);
- Avaliação econômica do meio ambiente (Ledoux *et al.*, 2001; Ohno, 2001);
- Avaliação e mapeamento de períodos de retorno de eventos extremos (Bernier *et al.*, 2007);
- Métodos e ferramentas para avaliar a vulnerabilidade e a adaptação (UNFCCC, 2005).

6.2.2 – Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira

O “Guia de Diretrizes para Prevenção e Proteção a Erosão Costeira” subsidia o processo de concepção, construção e manutenção de estruturas costeiras. No guia é demonstrado o procedimento de licenciamento e regularização, e os respectivos órgãos e instituições competentes. O Capítulo 3 – Arranjo Institucional estabelece as etapas básicas para implementação de obras de recuperação praial, demonstradas no fluxograma do Processo de Reconstrução Costeira (Figura 28), e descritas a seguir:

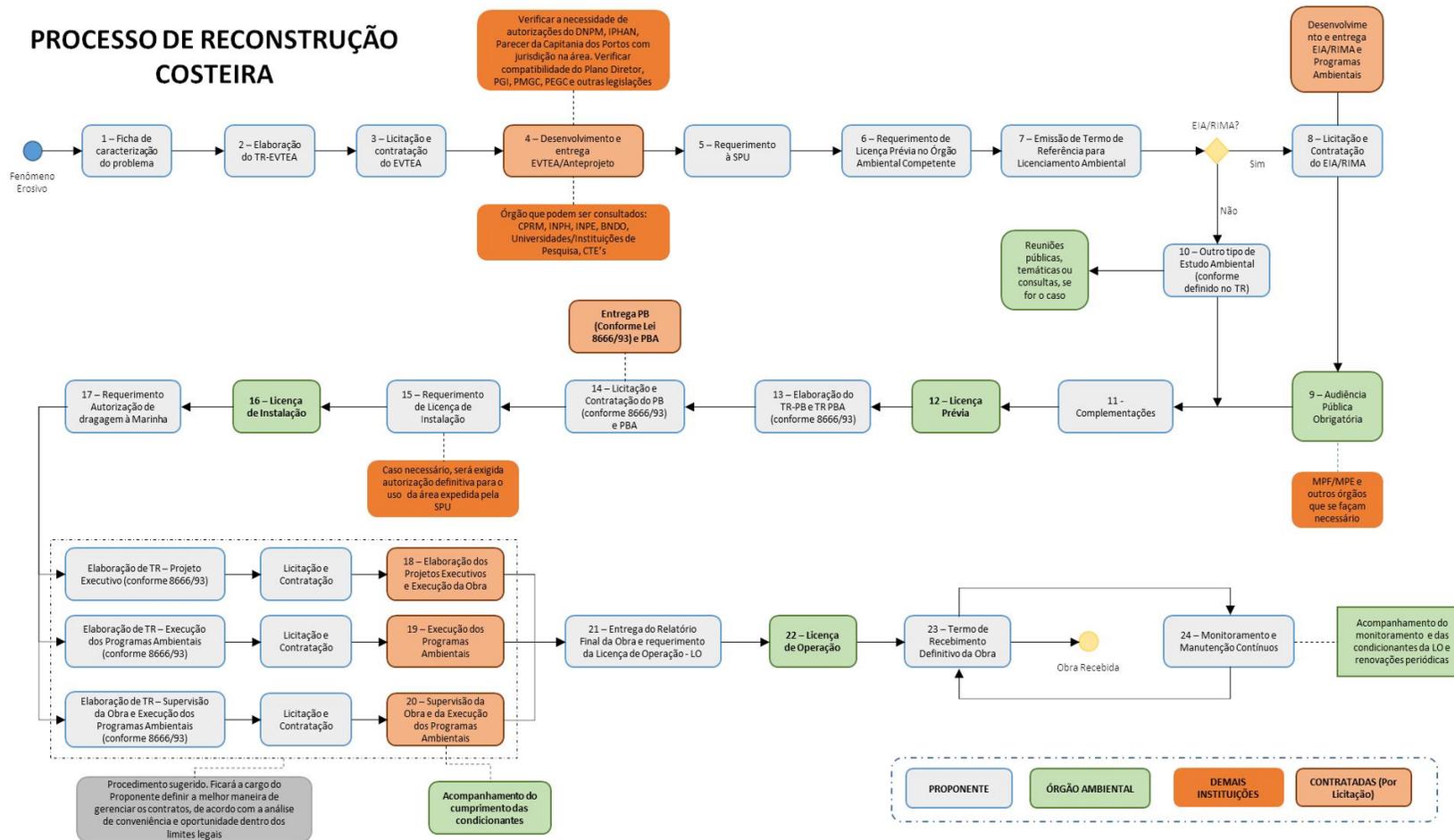


Figura 28: Processo de Reconstrução Costeira. Fonte: BRASIL (2018).

1. Ficha de Caracterização do Problema:

Inicialmente é realizada a caracterização da área diagnosticada com erosão, através do uso da “*Ficha de Caracterização da Situação*”. A identificação e descrição do problema e seus respectivos impactos, o histórico erosivo, as intervenções e ocupações na área devem ser documentadas na referida Ficha. Essa tem como objetivo a organização das informações iniciais do levantamento e possibilitar que qualquer pessoa, física ou jurídica, independente do nível de conhecimento técnico, identifique o estágio erosivo na área costeira em estudo.

2. Elaboração do Termo de Referência (TR) para a Contratação do Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental – TR-EVTEA

Após a identificação do problema, o proponente deverá elaborar o TR-EVTEA, para verificação da viabilidade técnica e econômica da implantação das possíveis soluções costeiras. A viabilidade ambiental também deve ser considerada, através da identificação dos impactos positivos e negativos da intervenção sobre os elementos socioambientais locais e regionais, além da adoção de critérios para comparação entre as alternativas avaliadas e seleção da mais adequada. O TR deve conter quesitos técnicos, além de aspectos jurídicos e contratuais fundamentais a respeito da modalidade de licitação (obras públicas) e critérios de propostas. Os quesitos contratuais necessários ao TR estão descritos no documento: “*Licitações e Contratos-Orientações e Jurisprudência do TCU*”.

3. Licitação e Contratação do EVTEA

O TR fundamenta a delimitação do objeto da licitação - o EVTEA. No Brasil, o processo de licitação está embasado nas leis federais 8.666/93 e 12.462/2011. A lei 8.666/93, que institui normas para licitação e contratos da Administração Pública, possui uma seção específica relativa às “Obras e Serviços”. Nessa seção são expostas as condições para realização de chamamentos públicos, vedações, formas de execução das obras ou serviços, bem como os requisitos a serem considerados nos projetos de engenharia. A Lei 12.462/2011, que instituiu o Regime Diferenciado de Contratações Públicas – RDC apresenta novas modalidades de licitação aplicáveis a casos específicos previstos em lei de contratação de projetos e obras. É importante ressaltar que o conhecimento das referidas leis é fundamental para o processo de execução das obras.

4. Desenvolvimento e entrega EVTEA / Anteprojeto

O EVTEA consiste em um estudo para verificação da solução mais indicada. Esse deve apresentar o diagnóstico e os prognósticos de não intervenção e das alternativas propostas. Sua elaboração é de responsabilidade da empresa vencedora do certame. A articulação com as Câmaras Técnicas Estaduais (CTEs) pode facilitar o contato com instituições governamentais ou não governamentais, e instituições de ensino e pesquisa que possuam dados e informações importantes para o seu desenvolvimento. Os planos de gerenciamento costeiro e os programas incidentes na área de intervenção também devem ser observados.

5. Requerimento à Secretaria do Patrimônio da União (SPU) e Pedido Preliminar à Marinha

Para quaisquer intervenções nas áreas de praia e mar territorial é necessário o requerimento a SPU, em sua Superintendência no Estado, da expedição da “*Declaração de Disponibilidade da Área*” e da “*Autorização de Obras*”. A primeira atesta que não existem projetos ou solicitações de utilização que possam se sobrepor na área de interesse. A “*Autorização de Obras*” deve ser solicitada após a finalização do EVTEA, sendo aplicável apenas para intervenções de uso público de acesso irrestrito e atividades que não envolvam exploração econômica. No requerimento deve constar a descrição da intervenção, a área de influência, o poligonal do canteiro de obras, o cronograma da obra e demais informações solicitadas. Essa autorização apenas atesta a conformidade do pleito da obra a ser realizada em área da União, sem eximir o empreendedor da necessidade do licenciamento ambiental.

6. Requerimento de Licença Prévia no Órgão Ambiental Competente

As licenças ambientais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade. Ao órgão ambiental competente devem ser requeridas as seguintes licenças: Licença Prévia – LP, Licença de Instalação – LI e Licença de Operação – LO.

7. Emissão de Termo de Referência para Licenciamento Ambiental

Após a análise de competência e avaliação do EVTEA, o órgão ambiental deverá elaborar o TR para o licenciamento ambiental. O órgão ambiental, a depender da complexidade do problema, definirá a necessidade de realização de EIA/RIMA, ou de outros

tipos de estudos ambientais simplificados. Além da definição das informações mínimas necessárias ao estudo e da indicação das demais instituições a serem acionadas.

8. Licitação e Contratação dos Estudos Ambientais (EIA/RIMA ou outros)

Os estudos ambientais necessários devem ser licitados pelo preponente com base no TR emitido pelo órgão ambiental e na legislação vigente. Para contratação de uma empresa de consultoria devidamente habilitada, o TR emitido pelo órgão ambiental deve ser complementado com informações contratuais e jurídicas para composição de um TR específico. Os estudos ambientais devem ser entregues pela contratada, respeitando a estrutura proposta e os conteúdos exigidos no TR. O empreendedor é o responsável pelos alinhamentos necessários junto ao Órgão Ambiental e obtenção de autorizações para os trabalhos de campo necessários. Conforme o arranjo local, reuniões públicas, temáticas ou consultas públicas poderão ser realizadas.

9. Audiência Pública

Caso comprovada a necessidade de realização de EIA/RIMA, o Município deve submeter os produtos a todos os interessados por meio de Audiência Pública, respeitando os prazos e meios de divulgação e as formalidades do evento, conforme a Resolução CONAMA nº 9/1987. A inclusão e participação dos segmentos da sociedade civil organizada nas discussões decorrentes do processo são fundamentais para o sucesso do projeto (Ver Portaria Interministerial nº60 de 24/03/2015).

10. Complementações

O órgão ambiental poderá solicitar ao empreendedor a complementação dos estudos ou mesmo novos com base nas críticas e sugestões oriundas da Audiência Pública. O empreendedor é o responsável pela contratação e averiguação de um novo estudo, caso a estudos complementação não tenha sido descrita no TR, ou pela solicitação de correção/revisão do conteúdo, de acordo com as solicitações do órgão ambiental.

11. Licença Prévia – LP

A aprovação do estudo ambiental subsidia a emissão da Licença Prévia (LP). A LP é expedida pelo órgão ambiental competente e publicada no Diário Oficial. Essa atesta a

viabilidade ambiental e locacional da intervenção e geralmente contém as condicionantes ambientais a ser atendidas antes da implementação da obra.

12. Elaboração dos Termos de Referência para Contratação do Projeto Básico de Engenharia (PB) e do Projeto Básico Ambiental (PBA)

Após a emissão da LP, o proponente deve elaborar o TR para contratação do “*Projeto Básico de Engenharia - PB*”, e quando aplicável do “*Projeto Básico Ambiental - PBA*”. O primeiro, conforme a Lei 8.666/93, consiste em um documento técnico, para caracterização da obra ou serviço, elaborado com base nos estudos técnicos preliminares, para subsidiar as atividades operacionais de instalação do empreendimento. Já o PBA contém todos os programas ambientais previstos no EIA/RIMA e na LP, cuja implementação é uma das condicionantes para a emissão da LI.

13. Licitação, Contratação e Entrega do Projeto Básico de Engenharia (PB) e Projeto Básico Ambiental (PBA)

A partir do TR, o proponente poderá licitar e contratar empresa de consultoria especializada para a elaboração do “*PB*” e do “*PBA*”, respeitando a legislação vigente. Caberá ao proponente acompanhar, fiscalizar e monitorar a elaboração dos documentos, em harmonia com os interesses institucionais, legais e contratuais.

14. Requerimento da Licença de Instalação – LI

Após concluídos o “*PB*” e o “*PBA*”, e atendidas as condicionantes previstas na LP, o proponente deverá solicitar ao Órgão Ambiental competente a LI.

15. Requerimento de autorização de levantamento hidrográfico, sinalização náutica e dragagem junto a Marinhado Brasil

A Marinha do Brasil é responsável pelo ordenamento do espaço aquaviário e pela segurança da navegação em todo o território brasileiro. Assim, devem ser atendidas as exigências legais definidas pelas instruções normativas: NORMAM 25, NORMAM 17 e, em particular a NORMAM 11/DPC. Após consultada, a Marinha realizará análises técnicas concernentes à segurança da navegação e ao ordenamento do espaço aquaviário e expedirá declaração de “*nada a opor*” à intervenção proposta.

16. Elaboração dos Projetos Executivos e Execução da Obra

O “*Projeto Executivo*” contém as diretrizes necessárias para a completa execução da obra, atendendo aos padrões de qualidade e segurança exigidos e considerando todos os estudos previamente realizados. Normalmente, o referido projeto e a própria obra são realizados por empresa especializada, contratada através de licitação com base no TR. O TR, primeiro passo para realização da licitação e contratação, tem como função determinar e delimitar o escopo do serviço, e os requisitos a serem exigidos para sua aceitação.

17. Execução dos Programas Básicos Ambientais – PBAs

A execução dos planos e programas ambientais e das condicionantes listadas nas licenças ambientais emitidas é uma etapa importante para o sucesso do projeto. A execução deve ser realizada por empresa especializada, contratada por licitação com base em um TR.

18. Supervisão da Obra e da Execução dos Programas Ambientais

A supervisão da obra e da execução dos programas ambientais poderá ser realizada pelo proponente, caso tenha corpo técnico especializado, ou por empresa responsável para realização deste serviço. A contratação deverá ser feita através de licitação, com base nas especificações de um TR apropriado. O órgão ambiental também poderá acompanhar a implantação dos programas ambientais por meio de relatórios dos programas de monitoramento e vistorias.

19. Entrega relatório final da obra e requerimento da Licença de Operação – LO

O “*Relatório de Conclusão do empreendimento*” deve ser elaborado por empresa contratada, após finalizada a obra e antes de sua entrega ao gestor do contrato. De posse deste Relatório, o empreendedor deve elaborar o “*Relatório Final de Implantação dos Programas Ambientais*”, o qual deve atender às condicionantes da LI e realizar a solicitação da LO ao órgão ambiental competente.

20. Licença de Operação – LO

A LO é expedida pelo órgão ambiental competente e publicada no Diário Oficial. Essa tem por finalidade a autorização da operação da atividade ou do empreendimento, após verificado o cumprimento das condicionantes presentes nas licenças anteriores, como as medidas de controle ambiental, e das condições determinadas para a operação.

21. Termo de Recebimento Definitivo da Obra

Após a emissão da LO, o proponente recebe definitivamente a obra do empreendedor, através da assinatura do “*Termo de Recebimento Definitivo da Obra*”. Neste ponto, a obra já passou por toda a fase de planejamento, viabilização, instalação, intervenção e encontra-se pronta para operar ou para ser utilizada.

22. Monitoramento e manutenção contínuos

O monitoramento e a manutenção da obra costeira podem ser realizados por empresa especializada, com base nos estudos realizados nas etapas anteriores, caso o empreendedor não tenha corpo técnico especializado para tal serviço. Através do monitoramento contínuo é possível propor medidas preventivas, e assim evitar intervenções futuras de maior magnitude e custos, o que poderia ensejar um novo processo de licenciamento ambiental.

6.2.3 – Roteiro de Estudos Prévios para Implantação de Medidas de Adaptação Costeira

No Guia de Diretrizes é demonstrado detalhadamente os procedimentos para o licenciamento de obras de prevenção e proteção costeira no Brasil. Os termos de referência necessários para licitação, contratação e entrega dos estudos de viabilidade e dos projetos básicos de engenharia e ambiental são devidamente explicados, assim como o processo para obtenção das licenças ambientais. O guia envolve desde a caracterização do problema e identificação do estágio erosivo da área em estudo até as fases de recebimento definitivo da obra, e de monitoramento e de manutenção contínuos. O Guia tem entre suas premissas a utilização de intervenções mais sustentáveis para mitigação e prevenção da erosão costeira. Portanto, nem todas as soluções voltadas para a problemática da erosão foram abordadas.

O roteiro-guia para orientação de futuros projetos de implantação de medidas de adaptação costeira no Brasil desenvolvido nesse estudo, considera além da legislação brasileira, aspectos de estruturação de obras, elevação do nível médio do mar, e a relação custo benefício, com o intuito de minimizar danos estruturais e prejuízos econômicos. Esse teve como base o Processo de Planejamento e Desenho, descrito no CEM (2002); o Método de Avaliação de Impacto Ambiental (FARINACCIO & TESSLER, 2010); o Diagrama de Classificação de Obras Costeiras (HILL, 2015); as Ferramentas para Avaliação das Adaptações e Intervenções Costeiras (NICHOLLS *et al.*, 2007); os Parâmetros para Implantação e Monitoramento das Medidas de Proteção (ZHU *et al.*, 2010); os Estudos de Caso dos Projetos desenvolvidos no litoral de Santa Catarina (MACHADO, 2010); a Legislação Brasileira; e o Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção a Erosão Costeira (BRASIL, no prelo).

O roteiro consiste em um processo de planejamento, dividido em dez etapas, cuja adoção dos procedimentos propostos permitirá a compatibilização de critérios de preservação ambiental com a minimização de danos estruturais e perdas econômicas nas estruturas a serem implantadas. Durante todo o processo, recomenda-se uma equipe interdisciplinar, para um completo entendimento dos aspectos físicos, ambientais, socioeconômicos e técnicos pertinentes a realização da obra. Além disso, a participação dos diversos setores envolvidos é essencial para a obtenção de um produto final de excelência, que atenda às necessidades da população em geral. Entretanto, esse não substitui o Guia de Diretrizes e o Estudo de Impacto Ambiental, podendo ser utilizado como ferramenta adjunta

a ser aplicada em obras costeiras; para orientação quanto à viabilidade e a tomada de decisão de projetos por órgãos ambientais e construtoras.

6.2.3.1- Levantamento de Dados para a Implantação do Projeto

A partir da leitura dos trabalhos de Alfredini (2005), Farinaccio (2008) e do CEM (2002), foi elaborado o levantamento dos principais dados necessários para implantação de projetos.

Caracterização do Local

- Caracterização geomorfológica da área de estudo;
- Caracterização geológica da área de estudo;
- Caracterização topográfica e batimétrica da área de estudo;
- Caracterização da vegetação;
- Caracterização dos recursos hídricos: hidrologia superficial, hidrogeologia;
- Estudo da qualidade da água e uso da água;
- Clima e condições meteorológicas da área de estudo;
- Caracterização da dinâmica local: regime de ondas, marés.
- Processos hidrodinâmicos ocorrentes na área de estudo;
- Processos relacionados à variabilidade sazonal e eventos extremos, com período de retorno superior a cinco anos;
- Caracterização dos parâmetros litológicos, sedimentológicos e petrológicos;
- Avaliação da tendência de subsidência do terreno;
- Caracterização da evolução histórica da linha de costa e monitoramento das obras costeiras existentes;
- Caracterização socioeconômica do uso e ocupação do solo e de estruturas costeiras atuais e futuras;
- Estudo das condições morfodinâmicas da área de estudo;
- **Previsão de aumento do nível do mar;**
- Caracterização da infraestrutura local: água e esgoto, energia elétrica, densidade da ocupação, existência de acessos.
- Caracterização da influência da obra nas áreas adjacentes;

- Acessibilidade;

Aspectos Econômicos

- Custo de vida útil da obra;
- Custos de manutenção da obra;
- Custos de alteração e remoção, caso haja impactos significativos;
- Relação dos benefícios a serem promovidos pela obra, tais como redução dos danos por tempestades e mitigação da erosão costeira, aliados a restauração do ecossistema;
- Realização da Análise Custo x Benefício;

Aspectos Ambientais

- Identificação dos impactos negativos relacionados ao uso e ocupação da terra;
- Identificação de impactos a fauna e flora presentes no ambiente;
- Identificação dos efeitos negativos relacionados à qualidade da água e do sedimento;
- Identificação de alterações na morfodinâmica local: transporte de sedimentos, mudanças na morfologia;
- Identificação dos impactos na hidrodinâmica local: clima de ondas, correntes;
- Identificação de características de materiais dragados, toxicidade;
- Planos de monitoramento, disposição de materiais dragados, disposição de resíduos, resposta a derramamentos de óleos;
- Planos de restauração do ecossistema;

Aspectos Institucionais, Políticos e Legais

- Levantamento da contribuição ao desenvolvimento sustentável da economia nacional;
- Levantamento de Políticas específicas;
- Levantamento da Legislação ou Regulamentação Aplicável;
- Levantamento da Legislação Ambiental;
- Levantamento da Regulamentação Local e Nacional;
- Levantamento da Legislação de Navegação;

- Consideração a aspectos sociais, como saúde pública, segurança, bem-estar social, facilidades de serviço, potenciais efeitos adversos nos valores e taxas base das propriedades, deslocamento de pessoas, etc.

Aspectos Estéticos

- Caracterização da beleza cênica natural do local;
- Preservação de recursos históricos, arqueológicos e culturais;
- Proteção de recursos hídricos;
- Avaliação dos impactos decorrentes da não adoção de medidas de proteção;

Aspectos de Engenharia

- Avaliação do nível de entendimento científico e de engenharia da natureza;
- Relação da eficiência e custo do projeto com o nível de proteção fornecida;
- **Utilização de modelos físicos, matemáticos e numéricos;**
- Estudos geotécnicos da área de estudo;
- Coleta de dados sobre o comportamento de obras costeiras nas proximidades em condições extremas e dominantes;
- Estudos de impactos do ambiente sobre as obras costeiras;

6.2.3.2 - Levantamento de Dados para o Monitoramento do Projeto

Os principais requisitos para o monitoramento e avaliação da eficácia das medidas de adaptação, foram elaborados segundo o CEM (2002) e Zhu *et al.* (2010).

Monitoramento da Eficácia das Medidas de Proteção

- Custo total do Projeto;
- Valores dos benefícios de evitar enchente ou erosão;
- Impactos na economia local;
- Influência no balanço de sedimentos;
- Impacto nos habitats intertidais;
- Efeitos no turismo;
- Eficácia funcional;

- Durabilidade ou requerimentos de manutenção;
- Sustentabilidade;
- Facilidade de construção;
- Flexibilidade em face de mudanças climáticas;
- Impactos na fauna ou flora costeira;
- Nível de conhecimento especializado ou requerimentos de equipamentos;
- Acesso à linha de costa;
- Aceitabilidade social;
- Requerimento espacial;
- Informação e requerimentos de capacidade;

Monitoramento Operacional

- Coleta de dados de desenho, operação e manutenção do projeto;

Monitoramento de Pesquisa

- Avaliação do desempenho do projeto em comparação com o desempenho predito;
- Ampliação do conhecimento dos processos físicos; através da aquisição de dados de mecanismos físicos, forças, e respostas litorâneas;
- Monitoramento biológico através da aquisição de dados sobre os organismos susceptíveis a danos causados pelo projeto;
- Monitoramento econômico através da coleta de informações sobre impactos econômicos do projeto;

6.2.3.3 – Processo de Planejamento

O roteiro consiste nas seguintes etapas de investigação:

- (A) Caracterização do Problema e dos Objetivos do Projeto;
- (B) Levantamento da Legislação ou Regulamentação;
- (C) Diagnóstico Local;
- (D) Identificação das Alternativas e Estudo de Viabilidade;
- (E) Seleção da Alternativa;
- (F) Desenvolvimento e Teste do Design Funcional e Estrutural; e Verificação da Construtibilidade, Operação, Manutenção e Custos do Ciclo de Vida da Obra;
- (G) Estudos Ambientais (EIA/RIMA ou outros);
- (H) Elaboração de Planos e Especificações;
- (I) Construção da Obra;
- (J) Monitoramento e Avaliação do Desempenho do Projeto.

A aplicação do guia segue o fluxograma descrito no Apêndice B.

(A) Caracterização do Problema e dos Objetivos do Projeto;

O Processo de Planejamento inicia-se com duas importantes questões: “*Qual é o problema?*” & “*Qual é o objetivo do projeto?*”. Nessa primeira etapa, o detalhamento dos problemas e dos processos associados, e a identificação e definição clara dos requerimentos do projeto devem ser realizados, de forma a assegurar que uma ampla variedade de alternativas possa ser considerada com níveis de alcance identificados, para obtenção de um projeto bem sucedido. Para a caracterização do problema e identificação do estágio erosivo na área do projeto, a “*Ficha de Caracterização da Situação*”, descrita no Guia de Diretrizes, constitui em uma importante ferramenta de auxílio.

(B) Levantamento da Legislação ou Regulamentação;

Nos procedimentos de licenciamento ambiental devem ser considerados os princípios e instrumentos do gerenciamento costeiro, os aspectos ambientais e socioculturais da zona costeira, as normas específicas, políticas públicas e legislação aplicável. O presente trabalho apresenta no Anexo V o levantamento da legislação ou regulamentação aplicável a áreas

costeiras em geral, a Política Nacional do Meio Ambiente, ao Licenciamento Ambiental e ao Gerenciamento Costeiro, atualizado de Farinaccio (2008). Apresenta também a relação das Normas da Autoridade Marítima – NORMAMs pertinentes, de forma a subsidiar o processo de implantação de obras em praias arenosas. Ressalta-se que a norma ABNT NBR ISO 9001, que certifica os Sistemas de Gestão de Qualidade também deve ser considerada no processo de licenciamento.

(C) Diagnóstico Local

Essa etapa consiste na caracterização inicial do local, ou seja, no Diagnóstico Local. Essa não inclui apenas as características físicas da área em estudo, mas também aspectos ambientais, culturais, socioeconômicos, políticos, estéticos e técnicos para verificação da viabilidade da implantação do projeto. No presente estudo, elaborado um levantamento dos principais dados necessários para a implantação de projetos em áreas costeiras, descrito previamente no item 6.2.3.1.

(D) Identificação das Alternativas e Estudo de Viabilidade

Todas as alternativas propostas durante o processo devem ser avaliadas considerando o cenário de não realização da obra, para quantificação dos impactos positivos e negativos de cada alternativa sobre os elementos socioambientais locais e regionais. Ressalta-se que não são consideradas alternativas variações suaves, como diferenças do comprimento de quebra-mares em 200, 300 ou 400m; mas sim variações significativas, como construção de quebra-mar, barreiras de água salgada, ou realinhamento do porto. O padrão de interferência e os efeitos ou impactos adversos de cada alternativa podem ser facilmente identificados (visualizados) através da aplicação da Matriz de Impactos, proposta por Farinaccio (2008), descrita na metodologia desse trabalho. Essa possibilita a limitação das alternativas a escolhas viáveis. No Guia de Diretrizes, o EVTEA consiste no estudo para verificação da solução mais indicada, contendo o diagnóstico e os prognósticos de não intervenção e das alternativas apontadas.

(E) Seleção da Alternativa

Após analisada a vulnerabilidade do local as mudanças climáticas e identificadas as alternativas de adaptação consideradas viáveis, estas devem ser priorizadas. Nessa etapa são adotados critérios para comparação entre as alternativas e seleção da mais adequada. Para a seleção das alternativas, propõe-se a utilização do modelo de classificação de Hill (2015), no qual as estruturas costeiras são divididas em quatro categorias: *estruturas rígidas fixas*, *estruturas rígidas móveis*, *obras de aterro fixas* e *obras de aterro móveis*. Por apresentar igual proporção entre as diferentes categorias, esse método possibilita a verificação de alternativas potenciais sem pré-julgamento se um subconjunto específico de alternativas é mais viável do que outro. Através de análises (CBA, CEA, ou MCA)* deve ser verificado se as alternativas cumprem todos os estabelecimentos propostos. Caso não sejam validados, torna-se necessária a formulação de Planos Alternativos, ou então o abandono do projeto. Os planos alternativos devem ser elaborados de forma sistemática, para assegurar que todas as alternativas de intervenções foram inicialmente identificadas e aprimoradas durante o processo de planejamento. Esses devem incluir componentes não estruturais ou alternativas completamente não estruturais. Segundo o CEM (2002), cada alternativa deve ser elaborada considerando quatro critérios: Perfeição, Eficiência, Eficácia, e Aceitabilidade. O período de análise deve ser o mesmo (geralmente selecionada vida econômica de 50 anos), e medidas de mitigação apropriadas aos efeitos adversos constituem parte integral de cada plano alternativo.

* Três tipos de análises para tomada de decisão tem sido largamente utilizados e seu uso recomendado pelo “*National Adaptation Programmes of Action*” (NAPAs), sob circunstâncias apropriadas (UNFCCC, 2002):

1. Análise Custo-Benefício (CBA): Avaliação de todos os custos e benefícios das alternativas estudadas (PENNING-ROUSELL *et al.*, 2003; DCLG, 2009);
2. Análise Custo-Efetiva (CEA): Avaliação dos custos das alternativas com o mesmo objetivo. O custo não é restrito simplesmente a termos financeiros (DCLG, 2009);
3. Análise Multicritério (MCA): Avaliação comparativa das opções, considerando vários critérios simultaneamente. Principalmente utilizada para avaliar impactos que não podem ser quantificadas em termos monetários (NI DIRECT, 2007).

(F) Desenvolvimento e Teste do Design Funcional e Estrutural; e Verificação da Construtibilidade, Operação, Manutenção e Custos do Ciclo de Vida;

Nesta etapa, devem ser realizados o desenvolvimento e o teste do design funcional selecionado para verificação das funções preestabelecidas. Não sendo constatada necessidade de modificações no design ou de inserção ou testes de novas alternativas, inicia-se a fase de desenvolvimento do design estrutural. O mesmo deve ser testado, incluindo critérios ambientais, econômicos, políticos, estéticos e de engenharia. Por fim, deve ser realizada a verificação da Construtibilidade, Operação, Manutenção e Custos do Ciclo de Vida para certificação da viabilidade da alternativa escolhida. Caso esses parâmetros não sejam atendidos faz-se necessária a modificação do design ou a investigação de novas alternativas. No estudo de Machado (2010) foram descritos os principais parâmetros funcionais, estruturais e de construção para determinadas obras costeiras, especificadamente, *alimentação de praias, paredão e revestimento longitudinal, quebra-mar, espigão, e bypassing*. No Anexo VI as tabelas dos parâmetros pode ser consultada. Os parâmetros principais e secundários para o design e construção de medidas de adaptação e as respectivas fontes de conhecimento estão apresentados no Quadro 14 e no Quadro 15 **Error! Reference source not found.**, do Anexo VII.

(G) Estudos Ambientais (EIA/RIMA ou outros)

Após a definição e o aprimoramento da alternativa escolhida, conforme a complexidade do projeto, o tipo de estudo ambiental adequado é definido (EIA/RIMA ou outros estudos ambientais simplificados). Segundo o Guia, para quaisquer intervenções nas áreas de praia e mar territorial é necessário o requerimento a SPU, da expedição da “*Declaração de Disponibilidade da Área*” e da “*Autorização de Obras*”. De acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade, as licenças ambientais (LP, LI e LO) poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente pelo órgão ambiental.

(H) Elaboração de Planos e Especificações

Nesta fase é realizada a preparação dos planos, especificações, contrato de propaganda e indenizações necessárias para a construção do projeto. Segundo o Guia de Diretrizes, o Projeto Básico de Engenharia e quando aplicável o Projeto Básico Ambiental devem ser elaborados por empresa de consultoria especializada, após a emissão da LP. Concluídos esses projetos, e atendidas às condicionantes previstas na LP, o proponente deverá solicitar ao Órgão Ambiental competente a LI. Por fim, deve ser elaborado o Projeto Executivo, o qual contém as diretrizes necessárias para a completa execução da obra.

(I) Construção da Obra

Nessa etapa, realizada a construção da obra e a execução dos programas ambientais. De acordo com o Guia, finalizada a obra deve ser elaborado, por empresa contratada, o “*Relatório de Conclusão do empreendimento*”. De posse deste Relatório, o empreendedor deve elaborar o “*Relatório Final de Implantação dos Programas Ambientais*”, o qual deve atender às condicionantes da LI e realizar a solicitação da LO ao órgão ambiental competente. Após a emissão da LO, o proponente recebe definitivamente a obra do empreendedor, através da assinatura do “*Termo de Recebimento Definitivo da Obra*”.

(J) Monitoramento e Avaliação do Desempenho do Projeto

O monitoramento é uma importante etapa, pois auxilia na avaliação do desempenho da medida de adaptação, ou seja, se essa atingiu os objetivos previamente definidos, além de fornecer novas informações para o aprimoramento das estratégias. Portanto, os parâmetros de monitoramento são dependentes dos objetivos do projeto, os quais devem ser claramente definidos no início desse processo. O monitoramento deve coletar informações apropriadas para determinar se os mesmos foram atingidos. Os principais parâmetros para o monitoramento da eficácia das medidas de proteção estão apresentados no item 6.2.3.2. No Anexo VII, o Quadro 16 apresenta os requisitos de avaliação do monitoramento de medidas de adaptação; e as técnicas e ferramentas específicas para o monitoramento são apresentadas no Quadro 17.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises acerca das obras de engenharia costeira implantadas na Enseada do Itapocorói resultaram em uma amostragem abrangente do padrão de distribuição das obras e dos impactos associados. Na área em estudo, para mitigação do processo erosivo, inicialmente foram adotadas estruturas rígidas e fixas, como muros de contenção e espigões. Com o passar do tempo, foram adotadas “soluções baseadas na natureza”, categorizadas como obras de aterro móveis, representadas pela alimentação artificial realizada ao longo dos anos. No entanto, no último projeto, observa-se o retorno ao uso de soluções rígidas, através da combinação de medidas leves, aterro hidráulico, com dois espigões.

A avaliação dessas medidas por meio de matrizes de impactos permitiu visualizar os impactos que ocorrem na dinâmica costeira de praias arenosas e os demais impactos associados. Os principais impactos identificados correspondem à alteração do perfil praial, em decorrência da existência de infraestruturas físicas. Destacam-se as estruturas rígidas e as obras de aterro hidráulico. Através de pesquisa bibliográfica foi possível verificar que os impactos pontuais estão associados ao colapso das estruturas rígidas fixas - muros de contenção e espigões de gabião - implantadas na década de 1990. Estas estruturas costeiras tiveram eficácia por determinado período de tempo, atualmente inexistentes no local.

O padrão de interferência predominantemente no fluxo longitudinal decorre da implantação de espigões. No ano de 2012, foram construídos dois espigões do tipo “T” em associação ao aterro hidráulico. Apesar de na condição atual ser verificada deposição a barlar dos espigões existentes e o escalonamento da linha de costa, as soluções adotadas, em longo prazo, não cumprem satisfatoriamente o seu propósito, ocasionando a retração da linha de costa até atingir o novo estado de equilíbrio.

Obras de aterro hidráulico foram realizadas na região nos anos de 1988/99, 2008 e 2012. Estas resultam na interferência tanto em fluxos longitudinais quanto transversais, provocando modificações no perfil praial. Os custos unitários de alimentação praial para Piçarras variaram entre €4-7/m³ de sedimento, sendo compatíveis aos custos obtidos no estudo de Jonkman *et al.* (2013). De acordo com o modelo proposto por Almeida (2013), o projeto atualmente implementado na praia de Piçarras, apresenta como principal problema os espigões não serem suficientemente longos para a formação de uma praia em equilíbrio estático entre eles, com mínima manutenção.

Uma boa solução, em longo prazo, para Piçarras, segundo análise multicritério efetuada por Hendriks *et al.* (2017), seria a implantação de um quebra-mar submerso, com comprimento de 1,2km, situado a uma distância de 1,5km do litoral. Essa alternativa atuaria como um recife artificial, tendo um efeito positivo na biota marinha. No entanto, é importante ressaltar que a literatura existente sobre recifes artificiais multifuncionais ainda é relativamente recente e limitada. Ressalta que essas estruturas uma vez construídas, dificilmente serão retiradas, caso mal planejadas.

Com relação a análise realizada, a alimentação artificial planejada ao longo dos anos com planos de manutenção preestabelecidos foi considerada a estratégia mais indicada para a mitigação dos processos erosivos da região da Enseada do Itapocorói, apresentando menores impactos ambientais associados. Adicionalmente, para implementação de qualquer método de recuperação praial é de suma importância a participação de todos os setores envolvidos para garantir uma solução bem-sucedida e amplamente apoiada. Além disso, o uso de modelos físicos consiste em uma ferramenta importante e pouco utilizada em projetos no Brasil para a verificação se a solução proposta cumpre as imposições previstas.

Na Enseada do Itapocorói, em nenhum dos projetos de recuperação praial realizados foram consideradas estimativas de variação do NMM. As soluções adotadas possuem orientação de curto prazo, imediatamente visíveis, associadas a estado de calamidade pública. A carência de normativas especializadas na construção de obras costeiras pode estar associada ao insucesso das medidas projetadas. O MMA em parceria com demais instituições propôs um “Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira”, o qual subsidia o processo de concepção, construção e manutenção de estruturas costeiras. Nesse é demonstrado o procedimento de licenciamento e regularização, e os respectivos órgãos e instituições competentes. Entretanto, observa-se a necessidade de elaboração de um Processo de Planejamento e Desenho para implantação de obras costeiras, considerando além da legislação brasileira, aspectos de estruturação de obras, e a relação custo benefício.

Com base nas informações obtidas nos cadastros realizados e na avaliação do supracitado guia de obras foi elaborado um roteiro-guia para orientação de futuros projetos de implantação de medidas de adaptação costeira no Brasil, contendo os principais parâmetros relevantes para o dimensionamento e para o monitoramento das obras costeiras. A adoção dos procedimentos propostos no roteiro permitirá compatibilizar a preservação ambiental com a minimização de danos estruturais e perdas econômicas nas estruturas a

serem implantadas. Entretanto, esse não substitui o Guia de Diretrizes e o Estudo de Impacto Ambiental, podendo ser utilizado como ferramenta adjunta a ser aplicada em obras costeiras.

7.1 – RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das conclusões obtidas neste trabalho e também das limitações presentes, as seguintes recomendações são listadas:

- Utilização dos modelos numéricos (com adequada calibração dos modelos) no desenvolvimento de projetos de engenharia costeira. Com a correta utilização de determinados softwares de modelagem numérica (como, por exemplo, o Delft) será permitido simular a hidrodinâmica e morfodinâmica resultantes do aumento do nível médio do mar, assim como resultantes da implantação de obras costeiras no modelo.
- Elaboração e adoção de critérios no Brasil para o uso de modelos físicos nos estudos de obras de engenharia costeira, conforme o dimensionamento da obra. Salienta-se que a aplicação de modelos numéricos constitui em uma importante ferramenta para a escolha da alternativa mais indicada para a elaboração do modelo físico, visando o dimensionamento correto e seguro de estruturas costeiras.

8. REFERÊNCIAS

- ABREU, J. G. N.; KLEIN, A. H. F.; DIEHL, F. L.; SANTOS, M. I. F.; ALVES Jr., L. A. **Alimentação Artificial de Praias no Litoral Centro Norte do Estado de Santa Catarina: Os Casos de Estudo das Praias de Piçarras, Praia Alegre e Gravatá.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRAIAS ARENOSAS, 2000, Itajaí. Resumos... Itajaí: [s.n.], p. 426-427. 2000.
- ABREU DE CASTILHOS, J., & GRÉ, J. C. R. **Oscilações morfodinâmicas do perfil praiial de larga escala temporal: exemplo do litoral norte catarinense.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 1 e SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 16, Itajaí, 2004. Livro de Resumos..., Itajaí: ABO: p.314. 2004.
- ABREU, J. J. **Transporte Sedimentar Longitudinal e Morfodinâmica Praial: Exemplo do Litoral Norte de Santa Catarina.** Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 484p. 2011.
- ACQUAPLAN. **Estudo Ambiental Simplificado - EAS da Macrodrenagem do Distrito Industrial de Balneário Piçarras.** Balneário Camboriú. 2010
- ACQUAPLAN. **Estudo Ambiental Simplificado - EAS para a implementação das obras de drenagem litorânea, controle da erosão marinha e alimentação artificial da praia de Piçarras, Balneário Piçarras - SC.** Balneário Camboriú. 2011
- ADGER, W. N. **Vulnerability. Global Environmental Change**, v.16, p.268-281. 2006.
- ADJORISC – Disponível em: <<http://www.adjorisc.com.br/jornais/jornaldocomercio/geral/a-ideia-%C3%A9-fazer-um-arrecife-artificial-entre-os-dois-molhes-adianta-leonel-1.1963223>>. Acessado em: 20 de setembro de 2017.
- ALFREDINI, P. **Obras e gestão de portos e costas. A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental.** São Paulo: Ed. Edigar Blücher, 1ed. 688p. 2005.
- ALMEIDA, L. R. **Estudio de dinámica litoral y evolución de la zona sur de la Playa de Piçarras (Santa Catarina/Brasil).** Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciencias y Técnicas Del Agua y Del Medio Ambiente. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Santander. 259 p. 2013.
- ALVES, J. H. G. M.; MELO, E. **Measurement and modeling of wind waves at the northern coast of Santa Catarina, Brazil.** Brazilian Journal of Oceanography. v. 49, p.13-28. 2001.
- ALVES, J. H. G. M. **Refração do Espectro de Ondas Oceânicas em Águas Rasas: Aplicações à Região Costeira de São Francisco do Sul, SC.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária. UFSC. 89p. 2011.
- ANDRADE, J. **Gerenciamento costeiro no Brasil: ZEEC e Plano Diretor (estudo de caso – Paulista/PE).** Florianópolis, Dissertação (Mestrado) – MPPT/FAED/UDESC, 2013.
- ANDRADE, J.; SCHERER, M. E. G. **Decálogo da gestão costeira para Santa Catarina: avaliando a estrutura estadual para o desenvolvimento do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 29, p. 139-154, 2014.
- ARAUJO, R.S. **Morfologia do Perfil, Sedimentologia e Evolução Histórica da Linha de Costa das Praias da Enseada do Itapocorói – Santa Catarina.** Dissertação de Mestrado.

Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 145 p. 2008.

ARAÚJO, R. S.; SPROVIERI, F. C.; FREITAS NETO, D.; KLEIN, A.H.F. **Varição da Morfologia Praial e Identificação de Zonas de Erosão Acentuada (ZEA) na Enseada do Itapocorói-SC.** Brazilian Journal of Aquatic Science. Itajaí. 14(1): 29-38. 2010.

ASMUS, M.; KITZMANN, D. **Gestão Costeira no Brasil: estado atual e perspectivas.** In: ECOPLATA-Programa de apoyo a la gestion integrada en la zona costera uruguaya. Montevidéo, Uruguai. 2004

ASMUS, M.; KITZMANN, D.; LAYDNER, C.; TAGLIANI, C. R. A. - **Gestão Costeira no Brasil: Instrumentos, Fragilidades e Potencialidades.** Gestão Costeira Integrada (ISSN: 1677-4841) 5:52-57, Itajaí, SC, Brasil. 2006

BARLETTA, R. C.; CALLIARI, L. J. **Determinação das Tempestades que atuam no Litoral do Rio Grande do Sul, Brasil.** Pesquisa em Geociências, Porto Alegre. v. 28(2), p. 117 – 124, 2002. 2002.

BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. **Navigating Social-ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change.** Cambridge University Press, Cambridge. 2003

BELCHIOR, C. C. **Gestão costeira integrada: Estudo de caso do Projeto ECOMANAGE na região estuarina de Santos – São Vicente, SP, Brasil.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. 121p. 2008.

BERRY, A., FAHEY, S., MEYERS, N. **Changing of the guard: adaptation options that maintain ecologically resilient sandy beach ecosystems.** J. Coast. Res. 289,899–908, 2013.

BIJLSMA, L.; EHLER, C. N.; KLEIN, R. J. T.; KUHSHRESTHA, S.M.; MCLEAN R. F.; NIMURA, N. NICHOLLS, R. J.; NURSE, L.A. **Coastal zones and small islands.** Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, R.T.Watson, M.C. Zinyo. 1996.

BITENCOURT, D. P.; QUADRO, M. F. L.; CALBETE, N. O. **Análise de dois casos de ressaca no litoral da região sul no verão de 2002.** In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz de Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu. p. 3910-1917. 2002

BOATENG, I. **An assessment of the physical impacts of sea-level rise and coastal adaptation: a case study of the eastern coast of Ghana.** Climatic Change 114:273–293. DOI 10.1007/s10584-011-0394-0, 2012.

BONETTI, J.; KLEIN, A. H. F.; MULDER, M.; DE LUCA, C. B.; SILVA, G. V.; TOLDO JR., E. E.; GONZÁLEZ, M. **Spatial and numerical methodologies on coastal erosion and flooding risk assessment.** In: FINKL, C. (Ed.). Coastal Hazards. Dordrecht: Springer, Coastal Research Library Series, 2013. p. 423-442.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Artigo 225, de 5 de dezembro de 1988. DOU, Brasília, 5 out. 1988.

BRASIL. Lei Federal nº. 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o artigo 225, parágrafo 1º, incisos I, II, III E VII, da Constituição Federal, Institui o Sistema Nacional De Unidades De Conservação da Natureza e dá outras providências. DOU, Brasília, 19 de jul de 2000.

BRASIL. Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Brasil. Brasília, Decreto n.6.263 de 21 de novembro de 2007, 2008.

BRASIL. Lei 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. DOU, Brasília, Seção 1, Edição Extra, p.109-10, 2009.

BRASIL. Decreto 3.273, de 21 de maio de 2010. Institui o Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas Globais e de Biodiversidade e estabelece outras providências. Fonte: PUB DOSC 21/05/2010, p. 10.

BRASIL. Lei 14.134, de 17 de outubro de 2007. Dispõe sobre a obrigatoriedade da compensação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) pelos promotores de eventos realizados em praças e parques públicos, a saber: shows, práticas desportivas, concertos, exposições e eventos do gênero, envolvendo circulação de pessoas, possibilitando a neutralização da emissão de dióxido de carbono (CO²). DO: 18.230 de 18/10/07. Fonte: ALESC/Coord. Documentação.

BRASIL. Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro - GI-GERCO/ SECIRM. **Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira.** – Brasília/DF, 2018 (no prelo).

BULLERI, F.; CHAMPMAN, M. G. **The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments.** J Appl Ecol 47: 26–35. 2010.

BURCHARTH, H.F.; LYKKE ANDERSEN, T.; LARA, J. L. **Upgrade of coastal defence structures against increased loadings caused by climate change: a first methodological approach.** Coast Eng 87: 112–21. 2014.

BRUUN, P. **Coast erosion and the development of beach profiles.** Beach Erosion Board, Tech. Memo, Washington, D.C. 44. 1954.

BRUUN, P. **Sea-level rise as a cause of shore erosion.** Journal of the Waterways and Harbors Division. v. 88, pp. 117-130, 1962.

CÁLCULO EXATO – Disponível em: <<http://calculoexato.com.br/parprima.aspxcodMenu=FinanVariacaoIndice>>. Acessado em: 21/05/2018.

CAMARGO, J. M. Descrição **geomorfológica e análise da estabilidade quanto à posição das desembocaduras das desembocaduras do rio Piçarras e Iriri na Enseada do Itapocorói - SC.** Trabalho de conclusão de curso (Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 72 p. 2009.

CAPOBIANCO, M.; DEVRIEND, H. J.; NICHOLLS, R. J. & STIVE, M. J. F. Coastal area impact and vulnerability assessment: the point of view of a morphodynamic modeller. Journal of Coastal Research. v. 15, p. 701-716. 1999.

CAPOBIANCO, M.; HANSON, H.; LARSON, M.; STEETZEL, H.; STIVE, M.J.F.; CHATELUS, Y.; AARNINKHOT, S.; KARAMBAS, T. **Nourishment design and evaluation: applicability of model concepts.** Coastal Engineering. USA, n. 47, p.113– 135, 2002.

CARTER, R. W. G. Coastal Environments: **An Introduction to physical, Ecological, and Cultural Systems of Coastlines.** 617p. Londres: Academic Press. (ISBN 0-12-161855-2). 1988.

CARUSO JR., F. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Sudeste de Santa Catarina.** Brasília: DNPM. 1 mapa. Escala 1:50.000. 1995.

CEM – COASTAL ENGINEERING MANUAL. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington DC. EM 1110-2-1100. 2002.

CEPAL, 2012. **Vulnerabilidade y Exposición - Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe**. Santiago, CL: Naciones Unidas, CEPAL, 174 p. 2012.

CEPAL, 2015. **Generación e integración de bases de datos climáticas históricas y de proyecciones de cambio climático para la gestión de riesgos costeros en El estado de Santa Catarina, Brasil**. Nações Unidas, Santiago, p. 1126. 2015.

CICIN-SAIN, B.; KNETCH, R. W. **Integrated coastal and ocean management: concepts and practices**. Washington DC. Island Press. 517p. 1998.

CONVERSÃO EUR/BRL – Disponível em: <<https://br.investing.com/currencies/eur-brl-historical-data>>. Acessado em: 21/05/2018.

DAVIES, J. L. **A morphogenic approach to world shorelines**. Journal of Geomorphology, 8:127-142. 1964.

DAWSON, R. **Re-engineering cities: a framework for adaptation to global change**. Philosophical Transactions of the Royal Society A, v. 365, p. 3085-3098, 2007.

DEAN, R.G. **Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf coasts**. Report n° 12, Department of Civil Engineering, Ocean Engineering, University of Delaware, Newark, Delaware. 1977.

DEAN, R.G. **Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications**. Journal of Coastal Research, v.7, n.1, p.53-84, 1991.

FARINACCIO, A. **Impactos na dinâmica costeira decorrentes de intervenções em praias arenosas e canais estuarinos de áreas densamente ocupadas no litoral de São Paulo, uma aplicação do conhecimento a áreas não ocupadas**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. 217p. 2008.

FARINACCIO, A.; TESSLER, M. G. **Avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira - Uma Proposta Metodológica**. Revista da Gestão Costeira Integrada 10(4):419-434, 2010.

FITZGERALD, D.M.; CLEARY, W.J.; BUYNEVICH, I.V.; HEIN, C.J.; KLEIN, A.H.F.; ASP, N.; ÂNGULO, R. **Strandplain Evolution along the Southern Coast of Santa Catarina, Brazil**. Journal of Coastal Research, Special Issue n°50, 2007.

FOLKE, C.; HAHN, T.; OLSSON, P.; NORBERG, J. **Adaptive governance of social-ecological systems**. Annu. Rev. Environ. Resour. 30:441–73, p 441–47. 2005.

FRANCO, D.; MELO, E. **Relevância dos mares secundários na caracterização do regime de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, SC (2002 – 2005)**. In: Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, novembro, 2008, FURG, Rio Grande. Proceedings... Rio Grande, RS. 2008.

FREIRE, O. D. da S. (coord.) (2002) - **Projeto Orla: Fundamentos para gestão integrada**. 78p., Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Secretaria do Patrimônio da União, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8577380297.

FREITAS NETO, D. ARAUJO, R. S. KLEIN, A. H. F., MENEZES, J. T. **Quantificação de Perigos Costeiros e Projeção de Linhas de Costa Futuras para a Enseada do Itapocorói**. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology. Itajaí. 14(1): 39-49. 2010.

- FREITAS NETO, D. **Quantificação de Perigos Costeiros e Projeção de Linhas de Costa Futuras para a Enseada do Itapocorói.** Trabalho de Conclusão de Curso (Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 61p. 2008.
- FREITAS NETO, D. M.; ARAUJO, R. S.; TOLDO Jr, E. E., KLEIN, A. H. F. **Evolução da linha de costa na Enseada do Itapocorói-SC.** IV Congresso Brasileiro de Oceanografia. 2010.
- GARDELIN, W. **Análise sedimentar e morfológica das praias que compõem a Enseada do Itapocorói – SC, com ênfase na evolução do aterro hidráulico realizado na praia de Piçarras em julho/agosto de 2007.** Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí. Monografia de Conclusão de Curso (Oceanografia). 80p. 2010.
- GESAMP. **The contributions of science to integrated coastal management.** Gesamp Reports and Studies, n.61. Rome. 65p. 1996
- GIDDENS, A. **The politics of climate change.** Cambridge: Polity Press, 264p. 2009.
- GOMES DA SILVA, P. **Exposição à inundação costeira nas praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa, Florianópolis, SC.** Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 237p. 2014.
- HAMM, L.; COPOBIANCO, M.; DETTE, H. H.; LECHUGA, A.; SPANHOFF, R.; STIVE, M. J. F. **A summary of European experience with shore nourishment.** Coastal Engineering, Special Issue n°47, 237-264p. 2002.
- HARARI, J.; CAMARGO R. **Tides and mean sea level variabilities in Santos (SP), 1944 to 1989.** Internal Report of the Oceanographic Institute of the University of Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil, n° 36, 15 p. 1995.
- HENDRIKS, C.; OTTEN, G.J.; STIJNTJES, T.; EIJKELKAMP, C. J. **Erosion problems at Piçarras Beach: The cause of the erosion and possible counter measures.** Delft University of Technology. Delft. 2017.
- HERRMANN, M. L. de P. (org). **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina.** Florianópolis : IOESC, 146 p. 2006.
- HERRMANN, M. L. P.; CARDOZO, F.; BAUZYS, F.; PEREIRA, G. **Frequência dos Desastres Naturais no Estado de Santa Catarina no Período de 1980 a 2007.** In: XII ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA. Anais... Montevideú, Uruguai. 12 p. 2009.
- HILL, K. **Coastal infrastructure: a typology for the next century of adaptations to sea-level rise.** Frontiers in the Ecology and in the Environmental. v. 13, 468-476p. 2015.
- HINKEL, J. **DIVA: an iterative method for building modular integrated models.** Advances in Geosciences, 4, 45–50. 2005.
- HOEFEL, F.G.; KLEIN, A.H.F. **Parecer Técnico Sobre as Potencialidades da Enseada do Itapocorói e Imedições como Área Fonte de Sedimento para o Engordamento Artificial da Praia de Piçarras (SC).** Universidade do Vale do Itajaí, Faculdade de Ciências do Mar, Itajaí – SC. 1997.
- HOEFEL, F. G. **Diagnóstico da Erosão Costeira na Praia de Piçarras, Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ. 86p. 1998.

HOOZEMANS, F. M. J.; MARCHAND, M.; PENNEKAMP, H.A. **A Global Vulnerability Analysis: Vulnerability Assessment for Population, Coastal Wetlands and Rice Production on a Global Scale**. Second edition. Delft, the Netherlands: Delft Hydraulics, 202p. 1993.

HUGHES, S. A. **Physical models and laboratory techniques in Coastal Engineering**. Advanced Series on Ocean Engineering. Volume 7. USA: World Scientific Publishing, 2005.

INPH. **Relatório de Viagem, Inspeções às Erosões da Praia de Piçarras**: Relatório 251/84, Piçarras-500/01: Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, Rio de Janeiro, RJ, 1984.

INPH. **Projeto de Proteção às Benfeitorias da Praia de Piçarras – SC**. Relatório 05/86, Piçarras-930/01: Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, Rio de Janeiro, RJ, 1986.

INPH. **Projeto Básico Para Recuperação das Praias de Piçarras e Penha – SC**. Relatório 14/92, Piçarras-900/01: Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, Rio de Janeiro, RJ, 1992.

INPH. **Projeto Básico para Recuperação das praias de Piçarras e Penha – SC**. Relatório 14/92. Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, Rio de Janeiro, RJ, 1992.

INPH. **Estudo Para Recuperação das Praias de Piçarras – SC: Coleta e análise de material superficial de fundo da Enseada do Itapocorói**. Relatório 17/92, Piçarras-900/02: Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, Rio de Janeiro, RJ, 1992.

INPH. **Relatório de Levantamento Topohidrográfico no rio Perequê e região marítima adjacente à sua foz, no município de Porto Belo-SC**. Relatório 53/96, Porto Belo-720/01. Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, Rio de Janeiro, RJ, 1996.

IOC, 2009 - **Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management**. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier No 5 Paris, França. 141p. 2009.

IPCC CZMS, 1990. **Strategies for Adaptation to Sea-level rise. Report of the Coastal Zone Management Subgroup, Response Strategies Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. The Hague, the Netherlands: Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 122p. 1990.

IPCC, 2007. **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of working group II to the fourth assessment report of the IPCC**. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

IPCC, 2014. **Climate change 2014: Synthesis Report**. Cambridge University Press, Cambridge, 2014.

JICA, 1939. **Plano Global e Integrado de defesa contra enchentes ecossistema bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu**. Japan International Cooperation Agency. 1939.

JICA, 1990. **Feasibility Study on the Flood in the Lower Itajaí River Basin**. Final Report, Supporting Report: Japan International Cooperation Agency. 1990.

JONKMANN, S. N.; HILLEN, M. M.; NICHOLLS, R. J.; KANNING, W.; VAN LEDDEN, M. **Costs of Adapting Coastal Defences to Sea-Level Rise - New Estimates and Their Implications**. Journal of Coastal Research, 29(5): 1212-1226. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208. 2013.

KAMPHUIS, J. W. **Introduction to coastal engineering and management**. Singapura, SG: World Scientific, v.16. 429 p. 2000.

KLEIN, R. J. T. *et al.* **Technological options for adaptation to climate change in coastal zones**. Journal of Coastal Research, v. 17, n. 3, p. 531–543, 2001.

KLEIN, A.H.F.; MENEZES, J.T. **Beach Morphodynamics and Profile Sequence for a Headland Bay Coast**. Journal of Coastal Research, v.17, n.4, p. 812- 35, 2001.

KLEIN, A.H.F. **Morphodynamics of Headland Bay Beaches**. Tese de Doutorado – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 450 p. 2004.

KLEIN, A. H. F.; DIEHL, F. L.; FERNANDO, L.; BENEDET, L. **The paradigm between beach protection and beach restoration: Case studies in Santa Catarina State, SE-Brazil**. In: International Conference on Coastal Conservation and management in the Atlantic and Mediterranean, 2005, Tavira. ICCCM'05 Book of Abstracts, 327-329 p. 2005.

KLEIN, A. H. F.; MENEZES, J. T.; DIEHL, F. L.; ABREU, J. G. N.; POLLETE, M.; SPERB, R. M.; SPERB, R. C.; HORN, N. Litoral Centro Norte. In: Dieter Muehe.(Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. 1 ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, v., 402-412 p. 2006.

KLEIN, A. H. F.; ARAUJO, R. S.; POLETTE, M.; SPERB, R. M.; FREITAS, D.; CAMARGO, J. M.; SPROVIERI, F. C.; PINTO, F. T. **Ameliorative Strategies at Balneário Piçarras Beach – Brazil**. In: Willian, A.T. and Micallef, A. (ed). Beach Management: Principles and Practice. Earthscan. 2009.

KRUEGER, J. **Análise dos Parâmetros meteorológicos e oceanográficos dos eventos de ressaca, ocorridos entre 2001 e 2010, no Estado de Santa Catarina**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Oceanografia). Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 2011.

LINHAM, M. M.; GREEN, C.H.; NICHOLLS, R. J. **Costs of Adaptation to the Effects of Climate in the World's Largest Port Cities**. Report 14 of the AVOID programme (AV/WS2/D1/R14), 225 p. 2010.

LOPES, H. G. **Ensaio em Modelo Físico do Comportamento Hidráulico e Estrutural do Quebra-mar Norte do Porto de Leixões**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

LOSADA, I. J.; REGUERO, B. G.; MÉNDEZ, F. J.; CASTANEDO, S. A.; ABASCAL, J.; MÍNGUENS, R. **Long-term changes in sea-level components in Latin America and the Caribbean**. Global and Planetary Change, vol 104, 34-50 p. 2013

MACHADO, V. B. **Mapeamento e Análise de Obras de Engenharia Costeira no Litoral do Estado de Santa Catarina**. Trabalho de Conclusão de Curso (Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI. Itajaí, SC. 256 p. 2010.

MALLMANN, D. L. B.; ARAUJO, T. C. M. Vulnerabilidade física do litoral sul de Pernambuco à erosão. Tropical Oceanography (Online), v. 38, 133-155 p., 2010.

MANSO, V. A. V.; TOLDO JR., E. E.; MEDEIROS, C.; ALMEIDA, L. E. S. B. **Perfil Praial de Equilíbrio da Praia de Serinhaém, Pernambuco**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Nº 1, 45-49 p. 2001.

MARTINS, R. A.; FERREIRA, L. C. **Oportunidades e barreiras para políticas legais e subnacionais de enfrentamento das mudanças climáticas em áreas urbanas: Evidências e diferentes contextos.** Ambiente & Sociedade. Campinas v. XIII, n. 2, 223-242 p. 2010.

McLEAN, R.; TSYBAN A.; BURKETT V.; CODIGNOTTO, J. O.; FORBES, D. L.; MIMURA, N.; BEAMISH, R. J.; ITTEKKOT V. **Coastal zone and marine ecosystems.** Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 343-380. 2001.

McMICHAEL A. J. **From hazard to habitat: rethinking environment and health.** Epidemiology; 10(4):460-464. 1999.

MELO FILHO, E.; HAMMES, G. R.; FRANCO, D. **Estudo de Caso: A Ressaca de Agosto de 2005 em Santa Catarina.** In: II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, 2006, Rio Grande. Anais... Rio Grande, 2006.

MESQUITA, A. R. de; FRANÇA, C. A.; DUCARME, B.; VENEDIKOV, A.; COSTA, D. S.; ABREU, M. A.; VIEIRA DÍAZ, R.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S. R. C.; MUEHE, D.; NEVES, C. F.; FIALHO, G. O. M. **Coastal Management and Sea Level Rise in Recife. Brazil.** Coastal Zone '91: Proceedings of the Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management, pp.2801-2815, American Society of Civil Engineers, New York, NY, USA. 1991.

MMA (2006) - **Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada.** 74p., Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 8577380297.

MMA (2018) – Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/educacao-ambiental/formacao/item/10430-gerenciamento-costeiro> >. Acessado em: 20/02/2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE & SECRETARIA DE ESTADO DO BEM ESTAR DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE, SDS. **Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro do Projeto Gerenciamento Costeiro Integrado nos Municípios da Península de Porto Belo e Entorno e da Foz dos Rios Camboriú e Itajaí, SC.** 2002

NEVES FILHO, S.C. **Variação da maré meteorológica no litoral Sudeste do Brasil: 1965-1986.** Tese de M.Sc. Programa de Engenharia Oceânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 80 p. 1992.

NEVES, C. F.; MUEHE, D. **Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação a Mudanças do Clima: a Zona Costeira.** Parcerias Estratégicas (ISSN: 2176-9729), 13(27): 217– 295, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Brasília, DF, Brasil. 2008.

NEVES, M. G.; VILCHEZ, M.; CLAVERO, M.; LOSADA, M. A. **Determinação de forças atuantes em quebra-mares verticais e mistos.** Revista da Gestão Costeira Integrada 12(2):159-174. 2012.

NICHOLLS, R. J.; SMALL, C. **Improved estimates of coastal population and exposure to hazards released.** Eos, Transactions American Geophysical Union. v. 83, n. 28, pp. 301-305, 2002.

NICHOLLS, R. J.; COOPER, N.; TOWNEND, I. H. **The management of coastal flooding and erosion.** In: Thorne, C.R. (ed.), Future Flood and Coastal Erosion Risks. London: Thomas Telford, 392-413 p. 2007.

NICHOLLS, R. J., WONG, P. P., BURKETT, V. R., CODIGNOTTO, J. O., HAY, J. E., McLEAN, R. F., RAGOONADEN, S. ; WOODROFFE, C. D. **Coastal systems and low-lying areas.** In *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden & C. E. Hanson), pp. 315–357. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2007.

NICHOLLS, R.J. **Impacts of and responses to sea-level rise.** In: Church, J.A.; Woodworth, P.L.; Aarup, T., and Wilson, S. (eds.), *Understanding Sea-Level Rise and Variability.* Oxford, U.K.: Wiley-Blackwell, pp. 17–51. 2010.

NICOLODI, J. L.; PETERMANN, R. M. **Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos.** *Revista da Gestão Costeira Integrada.* Rio Grande, v. 10, n. 2, 151-177 p. 2010.

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

NORDSTROM K. F. Living with shore protection structures: a review. *Estuar Coast Shelf Sci* 150: 11–23. 2014.

NORMAM-11/DPC. Normas da Autoridade Marítima para Obras, Dragagens, Pesquisa e Lavra de Minerais Sob, Sobre e às Margens das Águas Jurisdicionais Brasileiras. Portaria n° 65/DCP. Revisão 1. 2017.

NORMAM-15/DPC. Normas da Autoridade Marítima para Atividades Subaquáticas. Portaria n° 210/DCP. Revisão 2. 2016.

NORMAM-25/DPC. Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos. Revisão 2. 2017.

OBERMAIER, M.; ROSA, L. P. **Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica.** *Estudos Avançados* 27 (78), 2013

OLIVEIRA, M. R. L.; NICOLODI, J. L. **A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público.** *Revista da Gestão Costeira Integrada* 12(1):91-100 (2012)

OSPAR, 2009. Assessment of impact of coastal defence structures. OSPAR Commission, London. Publication 435/2009.

ÖZÖLÇER, I. H.; KÖMÜRÇÜ, M. I.; BIRDEN, A. R. **Effects of T-shape groin parameters on beach accretion.** *Ocean Engineering, Special Issue* n°33, 382-403p. 2006.

PARISE, C. K.; CALLIARI, L. J.; KRUSCHE, N. **Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion.** *Brazilian journal of oceanography*, v. 57, p. 175-188, 2009.

PBMC, 2014. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas.** Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 pp. 2014.

PEZZA, A. B.; SIMMONDS, I. **The first south atlantic hurricane: Unprecedented blocking, low shear and climate change.** *Geophysical Research Letters.* V.32, L 157 12. 2005.

PBMC, 2016. MARENGO, J. A.; SCARANO, F.R. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6. 2016.

PMBP. **Projeto Básico para Prevenção e Controle da Erosão Marinha através do engordamento da Praia de Piçarras**. Prefeitura Municipal de Balneário Piçarras. Balneário Piçarras, SC. 20 p. 2011.

POLETTE, M.; SILVA, L. P. **Gesamp, Icamp e PNGC – Análise comparativa entre as Metodologias de Gerenciamento Costeiro Integrado**. Ciênc. Cult., Revista da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, São Paulo, 55(4). 2003.

POLETTE, M.; VIEIRA, P. F. **Avaliação do processo de gerenciamento costeiro no Brasil: bases para discussão**. Florianópolis: UFSC. 285p. 2005.

POLETTE, M.; VIEIRA, P.F.; FILARDI, C.L. & REBOUÇAS, G.G. **Análise das parcerias entre os programas estaduais de Gerenciamento Costeiro e as Instituições de pesquisa que atuam no litoral brasileiro**. III Congresso Brasileiro de Oceanografia, I Congresso Ibero-Americano de Oceanografia, Fortaleza. 2008.

PRADO, M. F. V. **Análise da Variação Morfológica das Praias da Enseada do Itapocorói-SC em diferentes escalas temporais**. Trabalho de Conclusão do Curso (Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 73 p. 2011.

PROSUL. **Projeto executivo de engenharia para recomposição da praia central de Balneário Piçarras – SC**. Florianópolis, SC. 30 p. 2007.

RIBEIRO, P. J. C. **Transformação de ondas em praias de Enseada: Estudo de Caso na Enseada do Itapocorói**. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 140p. 2014.

ROCHA, C. B. G. Monitorização dos modelos de quebra-mares com o sensor Microsoft Kinect V2. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Geográfica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 140p. 2014.

RUDORFF, F. M. **Geoindicadores e Análise Espacial na Avaliação de Suscetibilidade Costeira a Perigos Associados a Eventos Oceanográficos e Meteorológicos Extremos**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Florianópolis: Universidade de Lisboa, 2017. 62 p.

RUDORFF, F. M.; BONETTI, J.; MORENO, D. A.; OLIVEIRA, C. A. F.; MURARA, P. G. **Maré de Tempestade**. In: HERRMANN, M. L. P. (Org.). Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2 ed. Florianópolis: IHGS; GCN/UFSC. p. 151-154. 2014.

SCHEFFER, M.; CARPENTER, S. R. **Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation**. TRENDS in Ecology and Evolution, Vol.18 n°12 2003.

SCHERER, M. E. G.; FERREIRA, C. M.; MUDAT, J. E.; CATANEO, S. **Urbanização e gestão do litoral centro-sul do estado de Santa Catarina**. Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR), v.13. p. 31-5-. 2006.

SCHERER, M. E. G.; SANCHEZ, M.; NEGREIROS, D. **Gestão das zonas costeiras e as políticas públicas no Brasil: um diagnóstico**. In: MUÑOZ, M.B.; GRANADOS, P. A.; RUIZ, J. A. C.; JAVIER, G. O.; SANABRIA, J. G. (Org.). Manejo Costero Integrado y Política Pública em Iberoamericana: um diagnóstico. Necesidad de Cambio. 1 ed. Espanha: RedIbermar (CYTED), v. 01. P. 291-33-, 2009.

SHEPPARD, S. R. J.; SHAW A.; FLANDERS, D.; BURCH, S.; WIEK, A.; CARMICHAEL, J.; ROBINSON, J.; COHEN, S. **Future visioning of local climate change: a framework for community engagement and planning with scenarios and visualisation.** *Futures* 43: 400–412. 2011.

SIGNORIN, M. **Análise e comparação do clima de ondas do norte, centro e sul de santa catarina utilizando modelagem numérica.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de oceanografia, Universidade do Vale do Itajaí, 82f. Itajaí, 2010.

SILVA, G. N. **Variação de Longo Período do Nível Médio do Mar: causas, conseqüências e metodolgia de análise.** Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1992.

SILVA, G. V. **Cota de inundação e recorrência para a Enseada do Itapocorói e Praia de Morro dos Conventos, Santa Catarina.** Dissertação de M. Sc., Programa de Pós-Graduação em Geociências/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. 98p. 2012.

SILVEIRA C. S.; FILHO F. A. S; MARTINS, E. S. P. R.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C.; NOBREGA, M. T.; SOUZA, S. A.; SILVA, R. F. V. **Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos.* Versão On-line ISSN 2318-0331. RBRH, vol. 21, n. 2. p. 416 – 428. Porto Alegre. 2016.

SIMIONI, B. I.; ESTEVES, L. S. **Avaliação Qualitativa do Desempenho dos Recifes Artificiais Multifuncionais (RAM).** *Revista da Gestão Costeira Integrada* 10(1):127-145. 2010.

SIMÓ, D. H. **Ressacas e áreas de risco no litoral da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Bacharelado em Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina. 130p. 2003.

SIMÓ, D. H.; FILHO, N. O. H. **Caracterização e distribuição espacial das ressacas e áreas de risco na ilha de santa Catarina, SC, Brasil.** *GRAVEL.* n.2 p.93 – 103. Porto Alegre, 2004.

SPROVIERI, F. C. **Evolução sedimentar e morfológica dos perfis praias das praias Alegre e Piçarras – SC, após obras de recomposição da linha de costa.** Trabalho de conclusão de curso (Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí. 100 p. 2008.

SUGIYAMA, M.; NICHOLLS, R.J.; VAFEIDIS, A. **Estimating the economic cost of sea-level rise.** MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 156, 46p. 2008.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. & AZEVEDO, A.E.G. **Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira.** *Revista Brasileira de Geociências,* 15 (4): 273 – 286. São Paulo. 1985.

SOUZA, C. R. G. **A Erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil.** *Revista da Gestão Costeira Integrada* 9 (1):17-37. 2009.

SUGIYAMA, M.; NICHOLLS, R. J.; VAFEIDIS, A. **Estimating the economic cost of sea-level rise.** MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 156, 46p. 2008.

- TEN VOORDE, M.; ANTUNES DO CARMO, J. S.; NEVES, M.G. (2009). **Designing a Preliminary Multifunctional Artificial Reef to Protect the Portuguese Coast.** *Journal of Coastal Research*, 25(1):69–79.
- TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. **Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro.** *Revista do Departamento de Geografia*, n. 17, pp. 11-23. 2005.
- TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. **Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro.** *Revista do Departamento de Geografia*, n. 17, pp. 11-23. 2005.
- TITUS, J. G.; PARK, R. A.; LEATHERMAN, S. P.; WEGGEL, J. R.; GREENE, M. S.; MAUSEL, P. W.; BROWN, S.; GAUNT, C.; TREHAN, M.; YOLE, G. **Greenhouse effect and sea level rise: the cost of holding back the sea.** *Coastal Management* 19, 171–210. 1991.
- TRABANCO, J. A. L. **Analysis of the mean sea level from a 50 years tide gauge record and GPS observations at Cananéia São Paulo - Brazil.** *Afro America Gloss News*. Edição 9 (1). 1 p. 2005.
- TRUCCOLO, E. C. **Maré Meteorológica e Forçantes Atmosféricas Locais em São Francisco do Sul, SC.** Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. 100p. 1998.
- VAN DEN HEUVEL, S. V. HOEKSTRA, R.; DE ZEEUW, R.; ZOON, A. **Case study Piçarras beach Erosion and nourishment of a headland bay beach.** Final Report. MSc Project Hydraulic Engineering. Project group CF81. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Section Hydraulic Engineering. Universidade do Vale Do Itajaí. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar. 2008.
- VAN DER VOORN, T.; QUIST, J.; PAHL-WOSTL, C.; HAASNOOT, M. **Envisioning robust climate change adaptation futures for coastal regions: a comparative evaluation of cases in three continents.** *Mitig Adapt Strateg Glob Change* DOI 10.1007/s11027-015-9686-4. 2015.
- VEIGA, A. J. P.; PEZZA, A. B; SIMMONDS, I.; SILVA DIAS, P.L. **An analysis ics of the transition of the first south atlantic hurricane.** *Geophysical Research Letters*. V.35, L 15806. 2008.
- VIANNA, L. F. de N.; BONETTI, J.; POLETTE, M. **Gestão costeira integrada: análise da compatibilidade entre os instrumentos de uma política pública para o desenvolvimento da maricultura e um plano de gerenciamento costeiro no Brasil.** *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 12(3), 357-372, 2012.
- WILLIAMS, A.; MICALLEF, A. **Beach Management Principles & Practice.** Earthscan, London, Sterling VA. 2009.
- YOLE, G.; NEUMANN J.; MARSHALL P.; AMEDEN, H. **The economic cost of greenhouse-induced sea-level rise for developed property in the United States.** *Climate Change* 32: 387–410. 1996.
- ZHU, X.; LINHAM, M. M.; NICHOLLS, R. J. **Technologies for Climate Change Adaptation - Coastal Erosion and Flooding.** Roskilde: Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. (TNA Guidebook Series), 2010.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE PROJETOS DE RECUPERAÇÃO PRAIAL – CEM

PROJETO	A		B			C					D	
	ESTABELECIMENTO PROBLEMAS E PROCESSOS ASSOCIADOS		QUANTIFICAÇÃO CONDIÇÕES SEM O PROJETO			VALIDAÇÃO DA NECESSIDADE DO PROJETO	IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE ALTERNATIVAS					SELEÇÃO DA ALTERNATIVA
	PROBLEMAS	OBJETIVO DO PROJETO	CONDIÇÕES EXISTENTES	CONDIÇÕES FUTURAS	ANÁLISE FUNCIONAL SIMPLES E IDENTIFICAÇÃO ALTERNATIVAS		COMPLETA MITIGAÇÃO DOS PROBLEMAS?	MODIFICAÇÃO OU ABANDONO DO PROJETO?	criação de NOVO PROJETO?	PARTICIPAÇÃO FEDERAL JUSTIFICADA?	ALTERNATIVA	
PROJETO INPH 14/92	<p>PIÇARRAS - Perfil praiial alterado em função das seguintes intervenções: fixação da foz do rio Piçarras; aterro das 3 lagoas próximas a foz; construção de muros verticais e benfeitorias próximas da zona de espraiamento das ondas onde ocorreram erosões na praia após as ressacas de 1983; valas resultantes da concentração de esgotos de águas pluviais.</p>	<p>Reestabelecimento do perfil original; Resguardar as benfeitorias existentes contra ação direta das ondas; Possibilitar a criação de face praiial na faixa destruída sem agredir a paisagem local; Permitir o uso da parte a ser recuperada como área de lazer; Ser o mais econômico possível.</p>	<p>NÃO foi realizada a quantificação das CONDIÇÕES EXISTENTES E FUTURAS, caso o projeto não fosse realizado.</p>		<p>APESAR DA NÃO VALIDAÇÃO DA NECESSIDADE DO PROJETO, DEU SE CONTINUIDADE A EXECUÇÃO DO MESMO</p>	<p>IDENTIFICAÇÃO DE ALTERNATIVAS apenas para a obra de Piçarras (SIM). ALTERNATIVAS para a Praia Alegre NÃO foram realizadas, sendo a única desenvolvida a realização de aterro hidráulico na cota +2,5m, com 20m de largura.</p>	<p>Alternativa I: Engordamento artificial sem espigão de retenção para o restabelecimento do perfil original da praia. Alternativa II: Engordamento artificial com espigão de retenção, empregado para diminuição do volume do aterro. Aterro da Praia Alegre tinha como objetivo aumentar a face da praia com uma declividade suave.</p>	<p>NÃO. Apenas estabelecidos pré-requisitos para a implantação dos projetos. NÃO</p>	<p>SIM. Projeto desenvolvido em parceria público privada, entre a Prefeitura de Piçarras, Governo Federal e População Local. Iniciativa Privada CDRJ/INPH.</p>	<p>Alternativa I SELECIONADA; devido ao menor impacto físico e ambiental. Esta alternativa implica na não interrupção da orla marítima em dois segmentos, devido a não necessidade de implantação de espigão.</p>		
	<p>PRAIA ALEGRE - Verificado a ausência de face praiial no trecho da praia, próximo a estaca P-7, situado em frente a Rua Marcelo Santos, a partir do levantamento topográfico.</p>	<p>Benefícios Associados: Segurança de pessoas e bens físicos; Revalorização das propriedades; Incremento do número de frequentadores devido ao aumento da extensão da praia; Aumento do turismo.</p>				<p>PIÇARRAS - Alternativa I: Aterro contínuo concordante com o trecho Norte da praia, indo em direção ao Sul, alargando-se em forma de arco, para cobrir satisfatoriamente, em termos de largura, as benfeitorias existentes, até encostar no guia corrente da margem esquerda do rio Piçarras. Aterro horizontal na cota +3,2m, com largura mínima de 20m na área considerada crítica, nas proximidades do muro de arrimo existente junto a estaca Petisqueira Dona Ivone. Alternativa II: Aterro de largura menor, e concordante com o litoral Norte, sofre interrupção por meio de espigão na Petisqueira Dona Ivone. Entre este e o guia corrente ter-se-a uma praia fechada.</p>	<p>Devido a não realização de análise simples prévia NÃO foi possível a validação do cumprimento dos estabelecimentos.</p>	<p>PIÇARRAS - Necessidades Alternativa I: Guia corrente, margem esquerda rio Piçarras, deverá ser acrescido em 95m de enrocamento segundo seu eixo longitudinal (3021m³). Alternativa II: Guia corrente, margem esquerda, deverá ser acrescido em 35m lineares (1022m³).</p>		<p>Vantagens Alternativa I: Ganho maior de aterro horizontal, resultando em maior área seca; Facilidade para implantação de áreas de lazer; Nova face da praia atuará como elemento de defesa ao ataque das ondas; Fácil execução; Tornar-se-á um único litoral entre os guias correntes e o trecho Norte da praia.</p>		
	<p>CONSTATADO CARÊNCIA DE UM MAIOR DETALHAMENTO DO PROBLEMA PARA UMA DEFINIÇÃO CLARA DOS OBJETIVOS DO PROJETO</p>					<p>ANÁLISE FUNCIONAL SIMPLES NÃO FOI REALIZADA. <i>Ressalta-se que o período de análise deve ser o mesmo para cada alternativa e a mitigação apropriada dos efeitos adversos é parte integral de cada plano alternativo. Normalmente selecionada vida econômica de 50 anos.</i></p>	<p><i>Caso não seja atingido as necessidades funcionais, o reestabelecimento dos problemas pode ser requerido.</i></p>	<p>PENHA - Necessidades: Prolongamento do molhe na margem direita do rio Piçarras em 45m (1356m³). Prolongamento do molhe da margem esquerda do rio Iriri em 45m (1356m³).</p>		<p>Alternativa II resultaria na interrupção do transporte de sedimentos longitudinal devido ao emprego de espigão de retenção, com consequentes alterações morfológicas.</p>		

Figura 29: Análise do Projeto de Recuperação Praial – INPH 14/92.

E						F					
DESENVOLVIMENTO E TESTE DESENHO FUNCIONAL						DESENVOLVIMENTO E TESTE DESENHO ESTRUTURAL					
SELEÇÃO DESENHO FUNCIONAL	TESTE DESENHO FUNCIONAL	DESENHO FUNCIONAL OK OU NECESSÁRIO MODIFICAR?	SELEÇÃO DE OUTRA ALTERNATIVA?	TESTE DE LONGO PRAZO DA PERFORMANCE E DESENHO FUNCIONAL, O & M, E CONSTRUTIBILIDADE	DESENHO FUNCIONAL OK OU NECESSÁRIO MODIFICAR?	DESENVOLVIMENTO DESENHO ESTRUTURAL	TESTE DESENHO FUNCIONAL, O & M, E CONSTRUTIBILIDADE	AVERIGUAÇÃO DESENHO ESTRUTURAL E ACESSIBILIDADE DE CUSTOS?	MODIFICAÇÃO DO DESENHO ESTRUTURAL?	RETESTE DESENHO ESTRUTURAL INCLUINDO O & M	DESENHO ESTRUTURAL OK?
Estabelecimentos para definição se o desenho funcional está correto NÃO foram propostos.	NÃO	SIM	NÃO	Teste de Performance de Longo-Termo: NÃO foi realizado, não foi definido ciclo de vida útil, ou mesmo probabilidade de danos de tempestade a ser considerada.	NÃO foi realizada verificação quanto à funcionalidade do desenho, portanto não foi realizada a validação do desenho ou definidas modificações.		Alternativa I: volume teórico calculado para o aterro foi de 447.664m ³ ; necessário 3.021m ³ de enrocamento para o prolongamento de 95m do molhe esquerdo do rio Piçarras.	Admite-se: desvio padrão do sedimento nativo e da jazida idênticos (devido à falta de informação sobre as características granulométricas do material que compõem a jazida).	NÃO	NÃO	NÃO foi realizada verificação do desenho estrutural, portanto não foi realizada a validação do desenho ou definidas modificações.
Área de Alimentação NÃO foi proposta no Projeto. Desconhecimento da dimensão e granulometria da jazida.		Necessidades para implantação da Alternativa I: Prolongamento do molhe da margem esquerda da foz do rio Piçarras em 95m no mínimo, objetivando a contenção da praia. Prolongamento do molhe da margem direita da foz do rio Piçarras em no mínimo 45m, para a recuperação da Praia Alegre;		Realizado apenas estudo da penetração de ondas: ondas ao largo (distribuição de Gumbel) para definição da onda do projeto, para dimensionamento do espigão de retenção, na profundidade de medição de 10m, Hs= 3,75m para período de retorno de 30 anos.		Estabelecimento do volume teórico do material necessário para alimentação artificial realizado através da sobreposição da seção transversal de projeto aos perfis de praia. Volume teórico deve ser acrescido mais uma quantidade de material (compatibilidade entre material nativo e o da jazida).	Alternativa II: volume teórico calculado foi de 359.268m ³ ; necessários 1022m ³ de enrocamento para o prolongamento de 35m do molhe esquerdo do rio Piçarras e de 3618m ³ para a construção do espigão (100m).	Considerando o desvio padrão de 0,72 e Mn Ø de 1,6 ou 0,33mm (nativo) e Mb Ø2,47 ou 0,2mm (jazida); o fator de enchimento calculado no projeto foi 4 a 5 vezes maior que o teórico. Faz-se necessário estudo detalhado das características do material da jazida para estabelecimento do volume definitivo. Entretanto, o valor de enchimento real, calculado por Hoefel & Klein (1997) seria um volume 10 vezes maior que o real, inviabilizando a realização da obra. Apenas 10% de todo sedimento extraído e depositado na praia ali permaneceria.			
		Necessidades para implantação da Alternativa II: Prolongamento do molhe da margem direita da foz do rio Piçarras em 35m no mínimo;				Determinação volume total: através do "fator de enchimento", índice que fornece um número que deve multiplicar o volume teórico de "projeto" estabelecido, conforme figura 5-3 do SPM(1984).	Praia Alegre (alternativa única): volume teórico calculado foi de 67.852 m ³ ; necessários 1.356 m ³ de enrocamento para o prolongamento de 45m do molhe esquerdo rio Iriri e de 1.356m ³ para o prolongamento 45m molhe direito rio Piçarras.				

Figura 29 (cont.): Análise do Projeto de Recuperação Praial – INPH 14/92.

G			H					I		J	
CONSTRUTIBILIDADE, OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E CUSTO DO CICLO DE VIDA			SELEÇÃO E PREPARO DO PLANO FINAL, E ESPECIFICAÇÕES					CONSTRUÇÃO DO PROJETO		MONITORAMENTO DO PROJETO	
VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS E CUSTOS	CONSTRUTIBILIDADE, ETC., OK?	INVESTIGAÇÃO DE OUTRA ALTERNATIVA?	OTIMIZAÇÃO DE PLANOS ALTERNATIVOS?	SELEÇÃO PLANO FINAL	REALIZAÇÃO PRÓXIMO NÍVEL DE ESTUDO?	PREPARO PLANO FINAL E ESPECIFICAÇÕES	REALIZAÇÃO CONTRATO DE PROPAGANDA E INDENIZAÇÕES	REALIZAÇÃO CONFERÊNCIA PRÉ CONSTRUÇÃO	CONSTRUÇÃO DO PROJETO	MONITORAMENTO	AValiação
NÃO	NÃO foi proposta metodologia de construção, bem como o volume total a ser utilizado para as duas alternativas, devido ao desconhecimento das possíveis jazidas e suas curvas granulométricas; ao desconhecimento dos equipamentos a serem utilizados na operação e ao processo executivo estar diretamente relacionado a forma de transporte do sedimento da jazida para a praia.	NÃO	NÃO	NÃO	Serviços a serem executados: A. coleta de material superficial de fundo; B. análise granulométrica; C. levantamento de perfis de praia até a batimétrica de -1m.	Recomendações: Execução de tubulação de esgotos pluviais paralelos a praia, abaixo do calçamento, lançadas no rio Piçarras. Execução das pesquisas de jazida, o mais breve possível. Monitoramento da evolução da linha de costa durante e após a execução do engordamento através de levantamentos de seções de praia e topo-hidrográficos, para acompanhamento da execução e evolução do mesmo.	NÃO	NÃO	SIM. No entanto, realizada a execução parcial da Alternativa II. Após o início da obra, necessário a busca de uma nova jazida pela empresa responsável pela execução do aterro, com características de areia mais grossa e, portanto, mais adequada ao empreendimento.	NÃO	NÃO
									A jazida localizada ao largo da Praia Alegre (areia fina) proposta pela empresa responsável pelo EIA-RIMA e aprovada pela Prefeitura de Piçarras foi considerada estéril por Hoefel & Klein (1997) como fonte sedimentar para praia de Piçarras pela diferença no tamanho médio de grão nativo se comparado com o tamanho médio da jazida, resultando em fator de enchimento da ordem de 10, e por situar-se no perfil ativo da praia. O relatório da análise granulométrica das sondagens realizadas ao largo da praia de Piçarras (INPH 29/92) já havia considerado a jazida estéril devido a presença de uma camada superficial de sed. finos (argila e silte) com espessura média de 2m e vol. estimado de 8.000.000m ³ , o que inviabiliza a extração da areia de sub-superficial.	Apesar da vida útil da obra ser de 5 anos, nenhum plano de manutenção foi realizado.	Em 2008, nove anos após a conclusão da obra, foi verificado 50% de perda sedimentar (Araujo, 2008; Araujo et al., 2010).

Figura 29 (cont.): Análise do Projeto de Recuperação Praial – INPH 14/92.

PROJETO	A		B		VALIDAÇÃO DA NECESSIDADE DO PROJETO	C					D	
	ESTABELECIMENTO PROBLEMAS E PROCESSOS ASSOCIADOS	OBJETIVO DO PROJETO	CONDICÕES EXISTENTES	CONDICÕES FUTURAS		ANÁLISE FUNCIONAL SIMPLES E IDENTIFICAÇÃO ALTERNATIVAS	IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE ALTERNATIVAS	COMPLETE MITIGAÇÃO DOS PROBLEMAS?	MODIFICAÇÃO OU ABANDONO DO PROJETO?	CRIAÇÃO DE NOVO PROJETO?	PARTICIPAÇÃO FEDERAL JUSTIFICADA?	SELEÇÃO DA ALTERNATIVA
PROJETO PROSUL 2007	Perda sedimentar de 50% do aterro hidráulico realizado na Praia Central de Piçarras, em fins de 1998, necessitando de manutenção geral e proteção emergencial nas áreas mais atingidas por ressacas e fenômenos meteorológicos.	Recomposição da Praia Central de Piçarras mediante dragagem e obras complementares, em duas etapas. A primeira em caráter emergencial nos trechos críticos. A segunda prevendo a recomposição de toda orla numa extensão de 2,1km e implantação de dois espigões.	NÃO foi realizada a quantificação das CONDICÕES EXISTENTES E FUTURAS , caso o projeto não fosse realizado.		SIM. APENAS AVALIAÇÃO IN-LOCO DA NECESSIDADE DO PROJETO DE RECOMPOSIÇÃO EMERGENCIAL.	IDENTIFICAÇÃO DE ALTERNATIVAS NÃO FOI REALIZADA. No entanto, projeto desenvolvido em duas etapas: Etapa I: Recomposição emergencial, do trecho mais erodido, entre a Rua Antonio Santana até as proximidades da Rua Adão Duque (transversais à Av. Litorânea). A seção emergencial terá uma plataforma de 20m com talude de 1:20 em direção ao mar. Será utilizada a jazida existente ao largo da Praia Alegre, para obtenção de cerca de 100.000 m³ de areia.	Devido a não realização de análise simples prévia NÃO é possível a validação do cumprimento dos estabelecimentos.	NÃO	NÃO		SIM. Projeto desenvolvido em parceria público privada, entre a Prefeitura de Piçarras e População Local. Iniciativa Privada PROSUL.	NÃO foram propostas alternativas.
	CONSTATADO CARÊNCIA DE UM MAIOR DETALHAMENTO DO PROBLEMA PARA UMA DEFINIÇÃO CLARA DOS OBJETIVOS DO PROJETO				<i>"A Praia Central de Piçarras encontra-se com uma parte bastante erodida, onde o mar já está atingindo as benfeitorias existentes e requer medidas emergenciais para a sua proteção."</i>	Etapa II: Recomposição da Praia Central em 2,1 Km de extensão, até à Av. Getúlio Vargas, situada a NW dos molhes de fixação da barra do Rio Piçarras. Volume previsto de 430.00m³ de areia e implantação de dois espigões de retenção em enrocamento situados transversalmente à praia. Parte Norte com uma plataforma de 30m e a Sul com 40m de largura, ambas com declividade 1:20 em direção ao mar.						
						ANÁLISE FUNCIONAL SIMPLES NÃO FOI REALIZADA.						

Figura 30: Análise do Projeto de Recuperação Praial – PROSUL (2007).

E						F					
DESENVOLVIMENTO E TESTE DESENHO FUNCIONAL						DESENVOLVIMENTO E TESTE DESENHO ESTRUTURAL					
SELEÇÃO DESENHO FUNCIONAL	TESTE DESENHO FUNCIONAL	DESENHO FUNCIONAL OK OU NECESSÁRIO MODIFICAR?	SELEÇÃO DE OUTRA ALTERNATIVA?	TESTE DE LONGO PRAZO DA PERFORMANCE E DESENHO FUNCIONAL, O & M, E CONSTRUTIBILIDADE	DESENHO FUNCIONAL OK OU NECESSÁRIO MODIFICAR?	DESENVOLVIMENTO DESENHO ESTRUTURAL	TESTE DESENHO FUNCIONAL, O & M, E CONSTRUTIBILIDADE	AVERIGUAÇÃO DESENHO ESTRUTURAL E ACESSIBILIDADE DE CUSTOS?	MODIFICAÇÃO DO DESENHO ESTRUTURAL?	RETESTE DESENHO ESTRUTURAL INCLUINDO O & M	DESENHO ESTRUTURAL OK?
Estabelecimentos para definição se o desenho funcional está correto NÃO foram propostos.	NÃO	NÃO foi realizada verificação do desenho funcional. Assumiu-se que o desenho estava ok, não sendo necessárias modificações.	NÃO	Teste de Performance de Longo-Termo: NÃO foi realizado, não foi definido ciclo de vida útil, ou mesmo probabilidade de danos de tempestade foi considerado.	NÃO foi realizada verificação quanto à funcionalidade do desenho, portanto não foi realizada a validação do desenho ou definidas modificações.	SIM. As análises granulométricas apresentadas no Projeto Executivo, atendendo a Resolução CONAMA 344/04, determinaram que após uma camada de solo marinho existe uma camada predominantemente formada por areia, que apresenta condições para o fim proposto. Necessário um volume de 120.000 m ³ . Deve ser efetuado o acompanhamento da quantidade do material retirado, considerando dois aspectos: Evitar a dragagem em profundidades que comprometam a estabilidade da praia; e Segregar o lodo da camada inicial. A draga indicada é do tipo estacionária de sucção e recalque. Deve ser realizada sondagem para verificação das condições atuais e de espessura da camada do material de dragado.	A metodologia construtiva apresentada no Projeto considera a execução do enrocamento antes da implantação do aterro hidráulico.	O orçamento estimativo para a execução do projeto de recomposição da orla foi realizado. Custo estimado de R\$7.674.196,42. Entretanto, não foram consideradas as perdas devido variações de batimetria, que podem chegar até 10% do total.	NÃO	NÃO. Entretanto é importante a realização de novas sondagens para constatação da situação atual, e de estabilidade da zonas marginais adjacentes, tanto na foz do rio Piçarras como na parte de empréstimo próxima da praia, segundo as especificações das Normas Técnicas Brasileiras.	NÃO foi realizada verificação do desenho estrutural, portanto não foi realizada a validação do desenho ou definidas modificações.
				Realizado apenas estudo da penetração de ondas: ondas ao largo (Distribuição de Gumbel) para definição da onda do projeto, para o dimensionamento dos espigões de retenção.		Espigões a serem implantados perpendicularmente à praia, atingindo a cota batimétrica -2,0m. Peso dos blocos de rocha dimensionados através da fórmula de Hudson, conforme a onda de projeto. Talude para o tronco: $\theta = 1 : 1,5$. Talude para o cabeço: $\theta = 1 : 2,0$. Largura da crista: 4,0 m. Forma geométrica do enrocamento o mais próximo da cúbica. Os volumes de enrocamento para a execução das duas camadas foram obtidos por cubagem das seções transversais dos trechos respectivos que foi totalizado um volume global de 10.610 m ³ , sem considerar perdas devido a variação de batimetria ou durante a execução da obra.					

Figura 30 (cont.): Análise do Projeto de Recuperação Praial – PROSUL (2007).

G			H				I		J		
CONSTRUTIBILIDADE, OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E CUSTO DO CICLO DE VIDA			SELEÇÃO E PREPARO DO PLANO FINAL, E ESPECIFICAÇÕES				CONSTRUÇÃO DO PROJETO		MONITORAMENTO DO PROJETO		
VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS E CUSTOS	CONSTRUTIBILIDADE, ETC., OK?	INVESTIGAÇÃO DE OUTRA ALTERNATIVA?	OTIMIZAÇÃO DE PLANOS ALTERNATIVOS?	SELEÇÃO PLANO FINAL	REALIZAÇÃO PRÓXIMO NÍVEL DE ESTUDO?	PREPARO PLANO FINAL E ESPECIFICAÇÕES	REALIZAÇÃO CONTRATO DE PROPAGANDA E INDENIZAÇÕES	REALIZAÇÃO CONFERÊNCIA PRÉ CONSTRUÇÃO	CONSTRUÇÃO DO PROJETO	MONITORAMENTO	AValiação
NÃO. Caberá a Contratada tomar conhecimento das condições locais que podem influir nos preços e prazos de execução da obra. A construção dos dois espigões de retenção será efetuada através de transporte terrestre. O método de construção adotado resume-se ao núcleo e a carapaça que serão construídos por basculamento direto das pedras trazidas pelos caminhões, podendo ser utilizado guindastes ou escavadeiras hidráulicas para colocação das pedras da armadura principal.	NÃO foi verificado. Caberá a Contratada proceder a uma verificação geral de todos os elementos fornecidos do projeto: locação, dimensões, amarrações, alinhamentos, cotas, etc., bem como todas as verificações que se fizerem necessárias durante as obras, a fim de evitar erros na construção. A contratada deverão comunicar por escrito à Fiscalização, qualquer engano, dúvida ou omissão observados nos desenhos, especificações e demais elementos fornecidos para à execução das obras, cabendo à Fiscalização analisar e decidir sobre qualquer alteração daí consequente e discutir com a Contratada as respectivas implicações.	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	Especificações da Construção: A colocação das pedras nos espigões será efetuada de modo a se obter a maior concordância possível com as seções de projeto, respeitando as transições indicadas. A execução do enrocamento deverá ser feita de acordo o método discriminado no Projeto Executivo. O acesso ao espigão será feito por meio da Avenida existente e nas proximidades da Av. Getúlio Vargas no trecho final da orla a ser recuperada. A plataforma de trabalho deverá estar na cota + 2,20m (IBGE) e sua largura será de 3,00m de acordo com as seções projetadas.	NÃO	NÃO	SIM. Realizada apenas a etapa emergencial. Adicionados 120.000 m ³ , ao longo de 800 m de orla; densidade da obra de 150 m ³ /m. Empregada uma granulometria de sedimentos considerada incompatível (areia fina) com este tipo de projeto de recuperação praial.	NÃO	NÃO
	A escolha da pedreira será de responsabilidade da Contratada, bem como a exploração da pedreira, a seleção das pedras, seu transporte e colocação na obra, ficando a Fiscalização da obra com o direito de recusar qualquer enrocamento que esteja fora das especificações do projeto. Será de responsabilidade da Contratada todo o controle de alinhamento, taludes, cotas e quaisquer outros elementos de topografia, necessários à implantação e execução das obras. Os taludes e o arranjo das pedras das camadas do Núcleo e Carapaça serão obrigatoriamente acompanhados por mergulhador, durante a sua execução, independentemente do acompanhamento sub-aquático a cargo da Fiscalização.					Em caso de ocorrência de ressacas extremas, com ondas fora dos valores que serviram de base para elaboração do projeto, poderão ser tolerados deslocamentos de pedras maiores que os especificados, desde que a execução da obra esteja sendo feita de acordo com a metodologia e especificações aprovadas pela Fiscalização. Admite-se um acréscimo de 10%, no máximo, sobre os volumes teóricos de projeto. A contratada deverá manter um registro dos volumes de pedras empregadas, por tipo especificado, com a identificação do local onde foi utilizada.				Apesar da vida útil da obra ser de 10 anos, nenhum plano de manutenção foi realizado.	Verificado, por Gardelin (2010), que o aterro apresentou curta longevidade com perda sedimentar de cerca de 45% após um ano do término da obra.
											A região do aterro hidráulico teve perda média de 48% do volume subaéreo e 40% da largura da praia emersa após dois anos de seu término (Prado, 2011).

Figura 30 (cont.): Análise do Projeto de Recuperação Praial – PROSUL (2007).

PROJETO	A		B		VALIDAÇÃO DA NECESSIDADE DO PROJETO	C					D		
	ESTABELECIMENTO PROBLEMAS E PROCESSOS ASSOCIADOS		QUANTIFICAÇÃO CONDIÇÕES SEM O PROJETO			IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE ALTERNATIVAS					SELEÇÃO DA ALTERNATIVA		
	PROBLEMAS	OBJETIVO DO PROJETO	CONDIÇÕES EXISTENTES	CONDIÇÕES FUTURAS		ANÁLISE FUNCIONAL SIMPLES E IDENTIFICAÇÃO ALTERNATIVAS	COMPLETA MITIGAÇÃO DOS PROBLEMAS?	ABANDONO OU MODIFICAÇÃO DO PROJETO?	criação de novo projeto?	PARTICIPAÇÃO FEDERAL JUSTIFICADA?	ALTERNATIVA		
PROJETO BÁSICO 2011	Redução significativa da faixa de areia e da vegetação característica de restinga; Comprometimento da infraestrutura e dos equipamentos públicos localizados na faixa da orla. Retração de 50m da faixa de areia, entre 1983 e 1998, devido a um acentuado processo erosivo que provocou severos prejuízos ao setor econômico. A faixa de areia de B. Piçarras apresenta perda natural de 15 m ³ /m ao ano, mas entre 2009 e 2010 essa taxa aumentou para 50 m ³ /m de areia ao ano. Redução de 70% do estoque de areia subaéreo no evento de ressaca de Set/2010.	Restauração da faixa praial numa extensão de 2.000m , desde o rio de Piçarras até o futuro espigão em frente a Rua Getúlio Vargas. Implantação de 2 estruturas para retenção do transporte sedimentar longitudinal ao Norte da praia, para evitar perda de areia. Aumento das dimensões da praia, melhoria estética, restauração e revitalização das partes recreacionais das praias. Proteção da infraestrutura existente no entorno da orla através da diminuição dos processos erosivos.	NÃO foi realizada a quantificação das CONDIÇÕES EXISTENTES E FUTURAS , caso o projeto não fosse realizado.	CONDIÇÕES	SIM. ESSENCIAL A EXECUÇÃO DO PROJETO PARA PREVENÇÃO E CONTROLE DE EROSÃO MARINHA. Grande dependência da atividade do turismo de veraneio para economia local. Crescimento na arrecadação do município, principalmente após o primeiro projeto de recuperação e em dados de volume do estoque de areia da praia e retração da linha de costa.	SIM. IDENTIFICAÇÃO APENAS DE ALTERNATIVAS DE JAZIDAS. Alternativa I: Rio Itajaí-Açu e afluentes. Alternativa II: Enseada de Itapocorói - Em frente ao Município de Penha. Alternativa III: Enseada de Itapocorói - Em frente a Praia de Piçarras.	Devido a não realização de análise simples prévia NÃO foi possível a validação do cumprimento dos estabelecimentos.					SIM. Projeto desenvolvido em parceria público privada, entre a Prefeitura de Piçarras e Governo Federal (Recursos Defesa Cível Nacional). Iniciativa Privada Rohde Nielsen, Dredging & Marine Contractor.	Em relação as áreas de empréstimo, alternativa IV considerada a mais viável. Para cada área de empréstimo foram analisados o custo estimado por m ³ , o tempo de execução, as formas de transporte do material para a praia, e os impactos econômicos e ambientais associados. Realizada nova campanha de sondagem, na qual verificou-se a disponibilidade de areia com granulometria similar a original, em volumes superiores ao necessário, em diversos pontos da Enseada de Itapocorói, excluídas as áreas próximas a parcséis e ilhas, numa distância mínima de 500m do ponto mais extremo.
	CONSTATADO UM MAIOR DETALHAMENTO DO PROBLEMA PARA UMA DEFINIÇÃO CLARA DOS OBJETIVOS DO PROJETO: DADOS DE RETRAÇÃO, REDUÇÃO DO ESTOQUE SUB-AÉREO.			<i>Condições esperadas caso não seja realizado o projeto: Continuidade do processo erosivo e comprometimento da vegetação de restinga e infraestrutura. Comprometimento da economia, retração econômica e perda de atratividade.</i>	<i>O turismo e a praia de Piçarras são os grandes atrativos e provedores da economia do município, na geração da receita através de impostos e tributos.</i>								

Figura 31: Análise do Projeto de Recuperação Praial – PMBP (2011).

E						F					
DESENVOLVIMENTO E TESTE DESENHO FUNCIONAL						DESENVOLVIMENTO E TESTE DESENHO ESTRUTURAL					
SELEÇÃO DESENHO FUNCIONAL	TESTE DESENHO FUNCIONAL	DESENHO FUNCIONAL OK OU NECESSÁRIO MODIFICAR?	SELEÇÃO DE OUTRA ALTERNATIVA?	PERFORMANCE E DESENHO FUNCIONAL, O & M, E CONSTRUTIBILIDADE	DESENHO FUNCIONAL OK OU NECESSÁRIO MODIFICAR?	DESENVOLVIMENTO DESENHO ESTRUTURAL	TESTE DESENHO FUNCIONAL, O & M, E CONSTRUTIBILIDADE	AVERIGUAÇÃO DESENHO ESTRUTURAL E ACESSIBILIDADE DE CUSTOS?	MODIFICAÇÃO DO DESENHO ESTRUTURAL?	RETESTE DESENHO ESTRUTURAL INCLUINDO O & M	DESENHO ESTRUTURAL OK?
A área delimitada para servir como empréstimo totaliza 24,578 km ² . Deste total, menos de 1/5 será utilizado para efeito de dragagem, haja visto que serão selecionadas as áreas que possuem areia com granulometria e características físicas idênticas as da praia original. Nas áreas de dragagem a profundidade máxima de escavação da draga será de 2,5m abaixo da cota de fundo.	NÃO	NÃO foi realizada verificação do desenho funcional. Assumiu-se que o desenho estava ok, não sendo necessárias modificações.	NÃO	Teste de Performance de Longo-Termo: NÃO foi realizado, não foi definido ciclo de vida útil.	NÃO foi realizada verificação quanto à funcionalidade do desenho, portanto não foi realizada a validação do desenho ou definidas modificações.	SIM. Projeto baseado nos mesmos conceitos elaborados em 1998 pela Delata Mariner Consultants em conjunto com a LePadron Planejamento e Consultoria Técnica. Extensão da praia a ser recuperada de 2,1km. Utilização de areia similar à nativa, com D50 de 200 a 300 µm, podendo variar até 500 µm. Área de empréstimo a uma distância de 3,5 a 4,0m da costa a uma prof. de 10 m. A diferença entre o perfil atual e o perfil da tempestade de Vellinga foi de cerca de 165m ³ /m. O projeto de recuperação baseia-se neste volume e na necessidade de criação de uma praia com pelo menos 30m de largura em sua crista. A crista da praia foi estabelecida a 1m acima do nível de água teórico de +2,0m DHN. A parte superior do talude desta praia deverá ser de 1:20, preenchendo o requisito mínimo de talude de 1:17. Taludes abaixo de 0,0m DHN são de 1:30; desta forma obtém-se volume total de 165m ³ /m.	SIM	SIM. Analisados para cada ALTERNATIVA o custo estimado por m ³ , o tempo de execução, as formas de transporte do material para a praia, e os impactos econômicos e ambientais associados.	NÃO	NÃO	NÃO foi realizada verificação do desenho estrutural, portanto não foi realizada a validação do desenho ou definidas modificações.
Como na área delimitada existem inúmeros parcéis de pedra, será necessário fazer campanhas batimétricas afim de detectar os pontos onde seja possível a remoção de material respeitados os afastamentos estabelecidos.						As estruturas de retenção de areia podem ser do tipo feito com pedras de tamanhos variados. O núcleo da estrutura pode ser feito de pedras, de 75 a 500 kg. O núcleo e a base são separados do solo marinho por uma manta geotêxtil filtrante. A crista da estrutura de retenção de areia feita de pedras deve ser colocada a pelo menos 2m acima do perfil transversal projetado. Com uma altura de onda significativa máxima de 3m combinadas a uma estabilidade aumentada por causa da crista do talude e do ataque paralelo das ondas, uma camada de armadura rochosa de 1 a 3 ton seria suficiente.					

Figura 31 (cont.): Análise do Projeto de Recuperação Praial – PMBP (2011).

G			H					I		J	
CONSTRUTIBILIDADE, OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E CUSTO DO CICLO DE VIDA			SELEÇÃO E PREPARO DO PLANO FINAL, E ESPECIFICAÇÕES					CONSTRUÇÃO DO PROJETO		MONITORAMENTO DO PROJETO	
VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS E CUSTOS	CONSTRUTIBILIDADE, ETC., OK?	INVESTIGAÇÃO DE OUTRA ALTERNATIVA?	OTIMIZAÇÃO DE PLANOS ALTERNATIVOS?	SELEÇÃO PLANO FINAL	REALIZAÇÃO PRÓXIMO NÍVEL DE ESTUDO?	PREPARO PLANO FINAL E ESPECIFICAÇÕES	REALIZAÇÃO CONTRATO DE PROPAGANDA E INDENIZAÇÕES	REALIZAÇÃO CONFERÊNCIA PRÉ CONSTRUÇÃO	CONSTRUÇÃO DO PROJETO	MONITORAMENTO	AValiação
O período estimado para a execução dos serviços de dragagem, engordamento e construção dos espigões, incluindo-se nestes, os prazos necessários para a mobilização e desmobilização, é de 6 (5) meses. A vantagem da execução em prazo curto é o pequeno tempo de exposição da fauna e flora marinhos as perturbações causadas ao ambiente.	NÃO foi verificado.	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	Além da construção das estruturas de retenção de areia, deve-se considerar também a drenagem da água da chuva. Atualmente existem tubos de drenagem no muro de contenção, responsáveis pela drenagem da água da chuva das ruas. Devido a crista do talude da praia preenchida estar localizada a +3 m DHN, alguns destes tubos serão bloqueados. Tais tubos deverão ser reposicionados.	Programas Ambientais e Medidas Compensatórias: Retorno do Habitat Natural; Despejos de Águas Pluviais e Servidas; Coleta de Resíduos; Programa de Monitoramento da Praia de Piçarras; População de Entorno; devem ser realizados.	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
						ACQUAPLAN contratada pelo Processo Licitatório 51/2011/PMBP de 22/06/2011 e Contrato 086/2011/PMBP de 01/07/2011, visando a elaboração do EAS para a Implementação das Obras de Drenagem Litorânea, Controle da Erosão Marinha e Alimentação Artificial da Praia de Piçarras, Balneário Piçarras, SC. O escopo dos serviços foi baseado no Termo de Referência 51/2011/PMBP de 22/06/2011, parte integrante do Processo Licitatório 51/2011/PMBP de 22/06/2011.					

Figura 31 (cont.): Análise do Projeto de Recuperação Praial – PMBP (2011).

APÊNDICE B – ROTEIRO PARA IMPLANTAÇÃO DE OBRAS COSTEIRAS

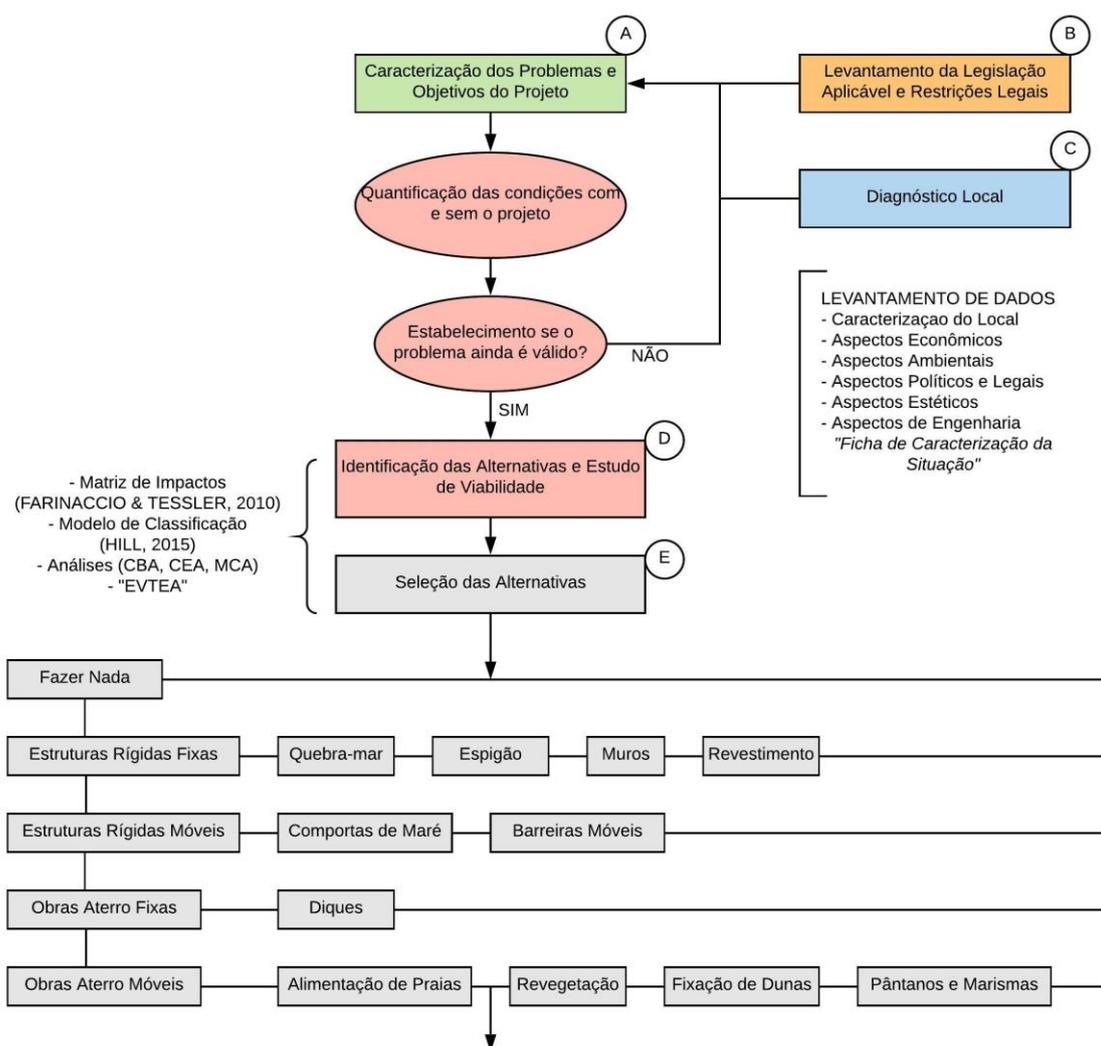


Figura 32: Roteiro de Estudos Prévios para Implantação de Medidas de Adaptação Costeira.

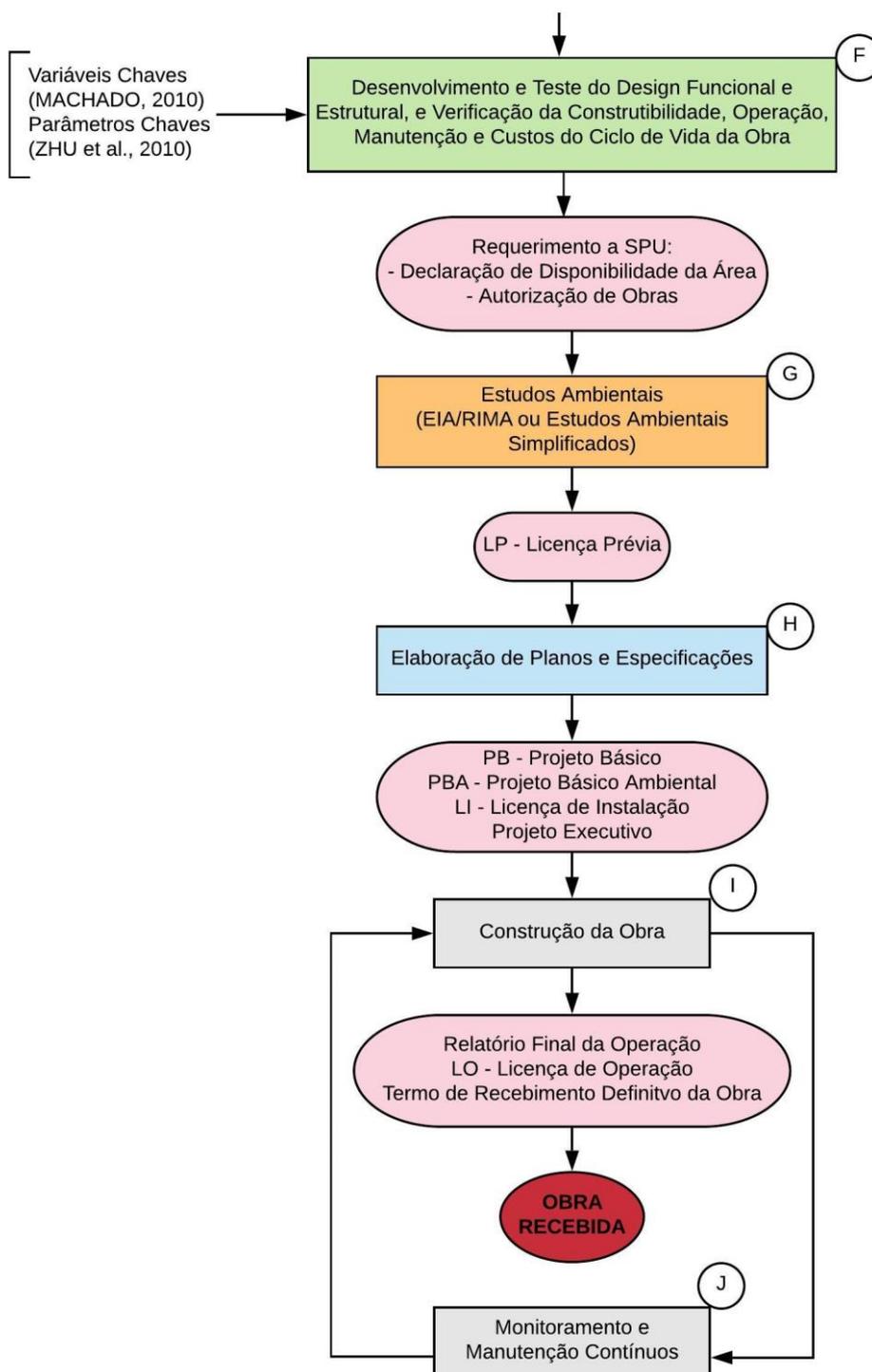


Figura 32 (cont.): Roteiro de Estudos Prévios para Implantação de Medidas de Adaptação Costeira.

ANEXO I – PRINCIPAIS MODELOS DE CLASSIFICAÇÃO DE OBRAS DE ENGENHARIA COSTEIRA

Tabela 8: Principais tipos de estruturas costeiras e suas características. Modificada de OSPAR (2009).

Categorias das Estruturas	Descrição
<i>Estruturas "Rígidas"</i>	
Quebra-mar	Estrutura de proteção <i>offshore</i> paralela à costa, normalmente construídas com concreto ou rocha, que visam à redução da altura de ondas por reflexão e atenuação.
Dique	Elevação da costa artificial e longitudinal, consistindo em um núcleo coberto macio (areia, argila, etc) com uma camada de grama, por exemplo, ou asfalto. Alguns diques são cobertos por dunas artificiais.
Gabiões	Armação de arame de metal preenchido de rochas, cerca de 1 metro por 1 metro quadrado. Gabiões são empilhados para formar paredes simples.
Geotêxtil	Tecidos permeáveis que são capazes de conter materiais enquanto a água flui através deles. Os tubos geossintéticos são largos tubos constituídos de tecido geotêxtil preenchidos por uma mistura de material dragado (por exemplo, areia) ou por uma mistura de concreto ou argamassa.
Espigão	Estruturas perpendiculares à costa. Normalmente construídos em grupos, chamados "campo de espigões". Seu objetivo é o trapeamento e a retenção da areia através da interrupção do transporte de sedimentos longitudinal, alimentando os compartimentos da praia entre eles. Espigões podem ser feito de madeira ou rocha, interrompendo a deriva litorânea alimentando assim a praia a montante da estrutura.
Revestimento	Revestimentos, comumente designados enrocamentos, são coberturas de materiais resistentes colocadas diretamente em declives existentes, barragens ou diques para proteção da área contra ondas e correntes extremas. Estes podem ser divididos permeáveis ou impermeáveis; em flexíveis (normais) ou rígidos.
Paredão	O paredão é tipicamente uma estrutura massiva, concreta, cujo peso providencia estabilidade contra o escorregamento e o solapamento. Utilizado para fixação do limite da praia, tendo como propósito principal a prevenção contra inundações em eventos meteorológicos extremos, protegendo as faixas edificáveis próximas às mesmas. Outras funções compreendem a resistência à ação de ondas e arrimo de contenções de aterros ou praias artificiais.
Guia-corrente	Estrutura para estabilização de canais navegáveis em desembocaduras dos rios e de canais de maré.

Tabela 8 (cont.): Principais tipos de estruturas costeiras e suas características. Modificado de OSPAR (2009).

Categorias das Estruturas	Descrição
Estruturas "Leves"	
Recifes Artificiais	Recife artificial absorve a energia das ondas (favorecendo a defesa costeira), favorecendo simultaneamente um habitat para organismos marinhos e oportunidades para atividades recreativas.
Drenagem da Praia	Drenagem da praia diminui o volume de água superficial durante <i>backwash</i> , permitindo que a água se infiltre na praia, rebaixamento do lençol freático. A drenagem também proporciona areia mais dourada e mais "seca", mais apreciada para atividades recreacionais.
Alimentação Artificial	Alimentação artificial consiste no suprimento de areia com material compatível obtido de áreas de empréstimo no sistema praiial para mitigar um déficit sedimentar, devido à retração da linha de costa ou para avançá-la em direção ao mar.
Reperfilamento de Praia	Reperfilamento artificial da praia quando as perdas de sedimentos não são graves o suficiente para justificar a adição de grandes volumes de sedimentos. Reperfilamento é realizado usando sedimento de praia existente.
Fixação de Dunas	Dunas podem ser construídas em dunas frontais existentes, na face em direção ao mar, no topo ou na face em direção à terra. Estas também podem ser reconstruídas após modificações de dunas frontais existentes pela mineração, escavação de dutos ou remoção de poluentes. As dunas fixadas consistem em barreiras contra a erosão e as inundações das marés meteorológicas, podendo ser fonte de areia para as praias erodidas.
Criação de Pântanos	Criação de pântanos com espécies pioneiras, como <i>Spartina sp.</i> A vegetação aumenta a estabilidade do sedimento devido aos efeitos de ligação das raízes, aumentando a resistência ao cisalhamento do vento e diminuindo a probabilidade de erosão. Também fornecem proteção custo-efetivo contra inundações por absorver a energia das ondas.
<i>Bypassing</i> de areia	<i>Bypassing</i> consiste na transferência de sedimentos de modo a contornar obstruções às transferências por deriva litorânea, como em canais onde a dragagem de manutenção ou molhes removem sedimentos do sistema. Estas operações podem ser realizadas com materiais a montante da praia ou com material de fontes alternativas, como canais de navegação ou jazidas de areia emersas.
Plantio e / ou estabilização da vegetação	Colonização de solos costeiros por vegetação cujas raízes ligam o sedimento, tornando-o mais resistente à erosão eólica. A vegetação constitui em obstáculo ao vento, aumentando assim o crescimento das dunas.

Quadro 8: Modelo funcional adaptado por Machado (2010), utilizando os modelos desenvolvido por Klein *et al.* (2005) e Farinaccio (2008).

Tipo estrutural	Função	Similaridade ambiental	Efeitos no Balanço de Sedimentos
1. Reflexão de ondas	Proteção de benfeitorias (ruas, casas, passarelas, etc.) contra a ação das ondas, refletindo ou dissipando a energia das ondas	Costões rochosos, afloramentos rochosos, ilhas	Positivo, formação de tombolo ou protuberância na sua retaguarda, devido ao fenômeno da difração. Negativo como resultado da turbulência da onda e interação e reflexão da onda na base da estrutura. Escavamento da base das estruturas. Rebaixamento do perfil praiial.
1.1 Muros verticais; 1.2 Muros inclinados; 1.3 Quebra-mares 1.4 Espigões;			
2. Retenção de sedimentos	Reter, trapear sedimentos disponíveis para o transporte longitudinal ou transversal na porção submersa e subaérea da praia	Promontórios, ilhas, vegetação, deposição de sedimentos na face praiial	Positivo, a barlar da estrutura, mas pode ser negativo a barlar da estrutura
2.1 Espigões 2.2 Quebra-mares 2.3 Rebaixamento do lençol freático 2.4 Telas, cercas, revegetação			
3. Adição de sedimentos	Adicionar ou manter sedimentos dentro da célula costeira	Transporte de sedimentos longitudinal e transversal a praia	Nulo na célula costeira; negativo na área da jazida; e positivo a sotamar
3.1 Alimentação artificial 3.2 <i>Bypassing</i> 3.3 <i>Backpassing</i> 3.4 <i>Overpassing</i>			
4. Infraestrutura	Fornecer equipamentos de infraestrutura básica, públicos ou privados		Positivo: Acreção a barlar. Negativo: Erosão a sotamar. Dragagem: Dependendo do sedimento provoca danos ambientais e mudança na hidrodinâmica costeira.
4.1 Terminais Portuários 4.2 Aterros 4.3 Emissários submarinos 4.4 Píer ou plataforma de embarque 4.5 Guia-Correntes 4.6 Dragagem			
5. Lazer e Turismo	Fornecer equipamentos de lazer, públicos ou privados		
5.1 Atracadouros 5.2 Marinas 5.3 Píer ou Plataforma de Pesca			

Tabela 9: Análise comparativa entre as estratégias de Acomodação, Proteção e Recuo (Bello, 2016).

	Acomodação	Proteção	Recuo
Modo de Operação	Melhora a resiliência das populações costeiras, aumentando a sua capacidade em conviver com os impactos do evento.	Reduz a vulnerabilidade ao impacto, através da diminuição da probabilidade da ocorrência do evento.	Reduz a vulnerabilidade ao impacto, limitando seus efeitos potenciais, diminuindo seus possíveis impactos.
Medidas	Nos casos de adaptação é necessário elaborar planos para situações emergenciais, modificar a estrutura das construções ou redefinir o uso do solo em áreas vulneráveis, destinando-as à aquicultura, por exemplo.	A proteção pode ser feita com obras rígidas como: muro, quebra-mar, espigão, entre outras. Pode-se também optar por obras não estruturais como: engorda de praia e restauração ou criação de dunas.	O recuo pode ser de forma preventiva, impedindo construções próximas de áreas vulneráveis. Ou de forma mitigativa, com o deslocamento dos primeiros metros de construções próximas a linha de costa, com ou sem a revitalização da orla abandonada.
Requerimentos Chaves	Habilidade e disposição para efetuar mudanças no estilo de vida.	Níveis elevados de tecnologia, na maioria dos casos.	Disponibilidade de terra sobressalente ou comunidades de acolhimento para o recuo.
Efeitos nos Ecossistemas Costeiros	Permite que os ecossistemas costeiros se adaptem naturalmente.	Pode levar a uma perda de ecossistemas costeiros através da compressão costeira ou criar habitats.	Permite que os ecossistemas costeiros se adaptem naturalmente.
Implicações Econômicas	Possui potenciais benefícios econômicos compensatórios, uma vez que a terra inundada pode ser usada para novos fins de geração de renda. Requer custos econômicos como os incorridos na implementação de mudanças de uso da terra, modificações de edifícios e criação de infraestrutura de alerta confiável.	Benefícios econômicos devido a prevenção da perda de renda e danos físicos aos recursos naturais e artificiais. Mas os custos de construção e manutenção de estruturas de proteção, além de receita perdida para quaisquer mudanças culturais, sociais e ambientais podem ser enormes.	A prevenção de perda de vidas possui valor inestimável. No entanto, retirar comunidades populosas de terras agrícolas altamente produtivas ou investimentos costeiros valiosos pode ser muito oneroso.
Impacto Sócio cultural	Pode criar condições de vida menos desejáveis ou requerer mudanças de estilos de vida que são difíceis de implementar.	As medidas de proteção podem causar efeitos negativos nas zonas costeiras adjacentes às estruturas de proteção.	O aumento da pressão sobre a infraestrutura nas comunidades de acolhimento pode desagradar os anfitriões, criando hostilidades.

Tabela 10: Ilustra a gama de estratégias de adaptação costeiras e as opções de adaptação disponíveis para os gestores costeiros. (Berry, 2013).

Adaptação da linha de costa não fixada				
Estratégias	Conservação do Ecossistema	Recuo Gerenciado	Intervenção Limitada	Fazer nada
Exemplos	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão da área protegida • Restrições de construção • Recuos • Engenharia do Ecossistema e Ecológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Reposicionamento de edifícios • Abandono da terra para o mar • Mudança e aquisição (aterros) • Recuo 	<ul style="list-style-type: none"> • Barreiras de vegetação • Barreiras de habitat ex: criação de <i>wetlands</i> e dunas 	<ul style="list-style-type: none"> • Espere e veja • Sem estruturas de proteção • Abandonar a terra e os edifícios para o mar

Da esquerda para a direita, por coluna, a capacidade de manter a resiliência ecológica e a capacidade de resposta ao aumento do nível do mar diminuem.

Adaptação da linha de costa fixada			
Estratégias	Acomodação	Proteção	
Exemplos	Projetos de construção com as seguintes características: <ul style="list-style-type: none"> • Móveis • Flutuantes • Eleváveis • Duráveis 	Estruturas Leves	Estruturas rígidas
		<ul style="list-style-type: none"> • Alimentação de praia • Revegetação • Drenagem praial 	<ul style="list-style-type: none"> • Paredões • Revestimentos • Gabiões • Espigões • Quebra mares

ANEXO II – METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE PROJETOS CEM (2002)

Este anexo demonstra o Processo de Planejamento e Design de Obras Costeiras, adaptado do modelo desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros Militares dos Estados Unidos, descrito no CEM (2002). A legenda corresponde às etapas do planejamento.

Legenda:

(A) Estabelecimento dos problemas e dos processos associados, incluindo os objetivos e necessidades do projeto;

(B) Quantificação das condições existentes e futuras, caso não seja realizado o projeto;

(C) Identificação e análise das alternativas de estruturas costeiras;

(D) Seleção da alternativa com o melhor custo x benefício;

(E) Desenvolvimento e teste do design funcional¹;

(F) Desenvolvimento e teste do design estrutural²;

(G) Verificação da possibilidade de construtibilidade³, operação e manutenção, e custo do ciclo de vida;

(H) Seleção do projeto final, preparo de planos e especificações;

(I) Construção do projeto;

(J) Monitoramento e avaliação do desempenho do projeto.

1: refere-se à eficácia da obra em atender suas funções;

2: refere-se à resistência da obra frente à condições ambientais extremas;

3: refere-se aos meios, métodos e materiais envolvidos na construção da obra.

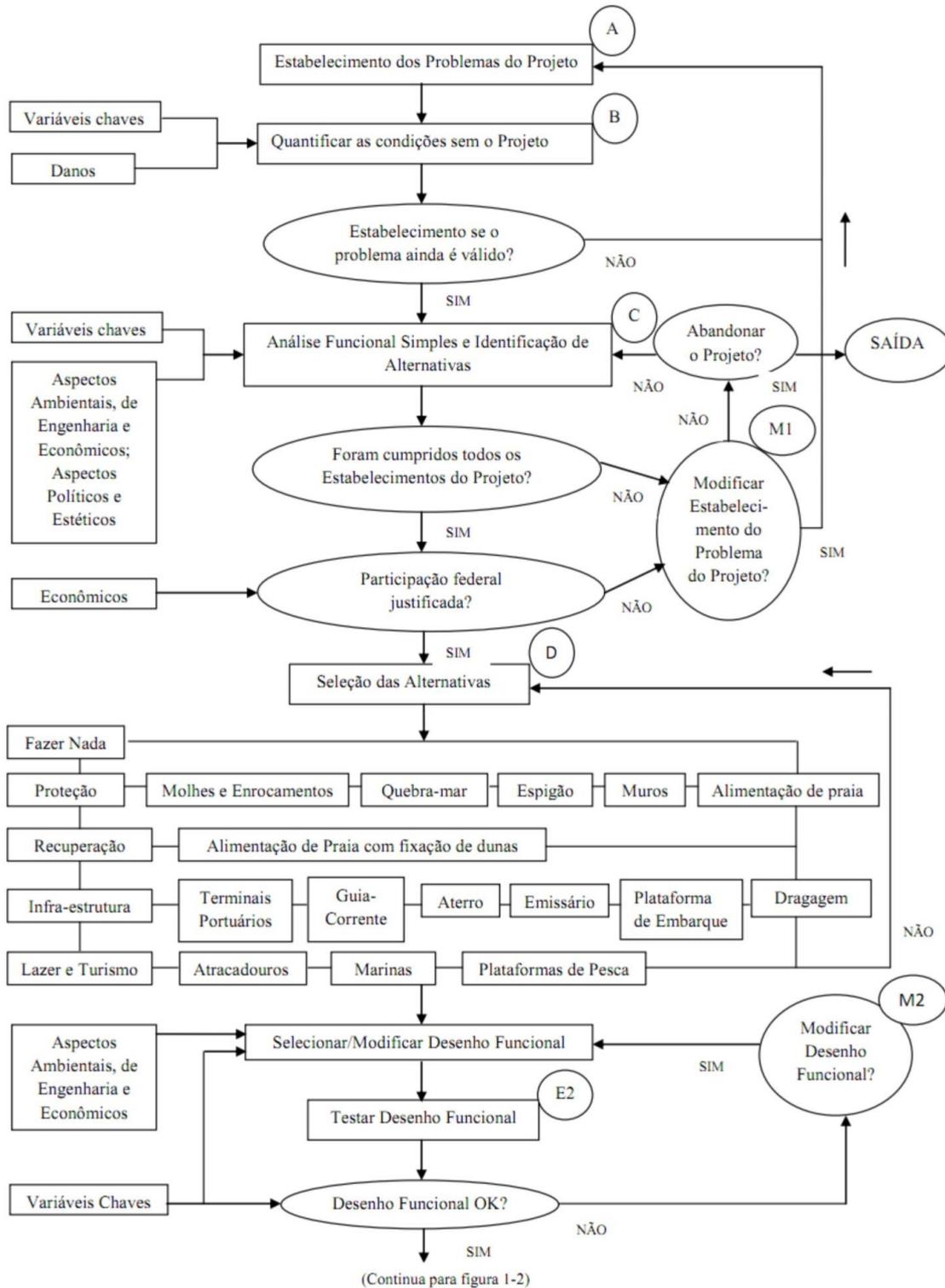


Figura 33: Processo de Planejamento e Desenho de Projetos Costeiros. Fonte: Machado (2010, modificado de CEM, 2002).

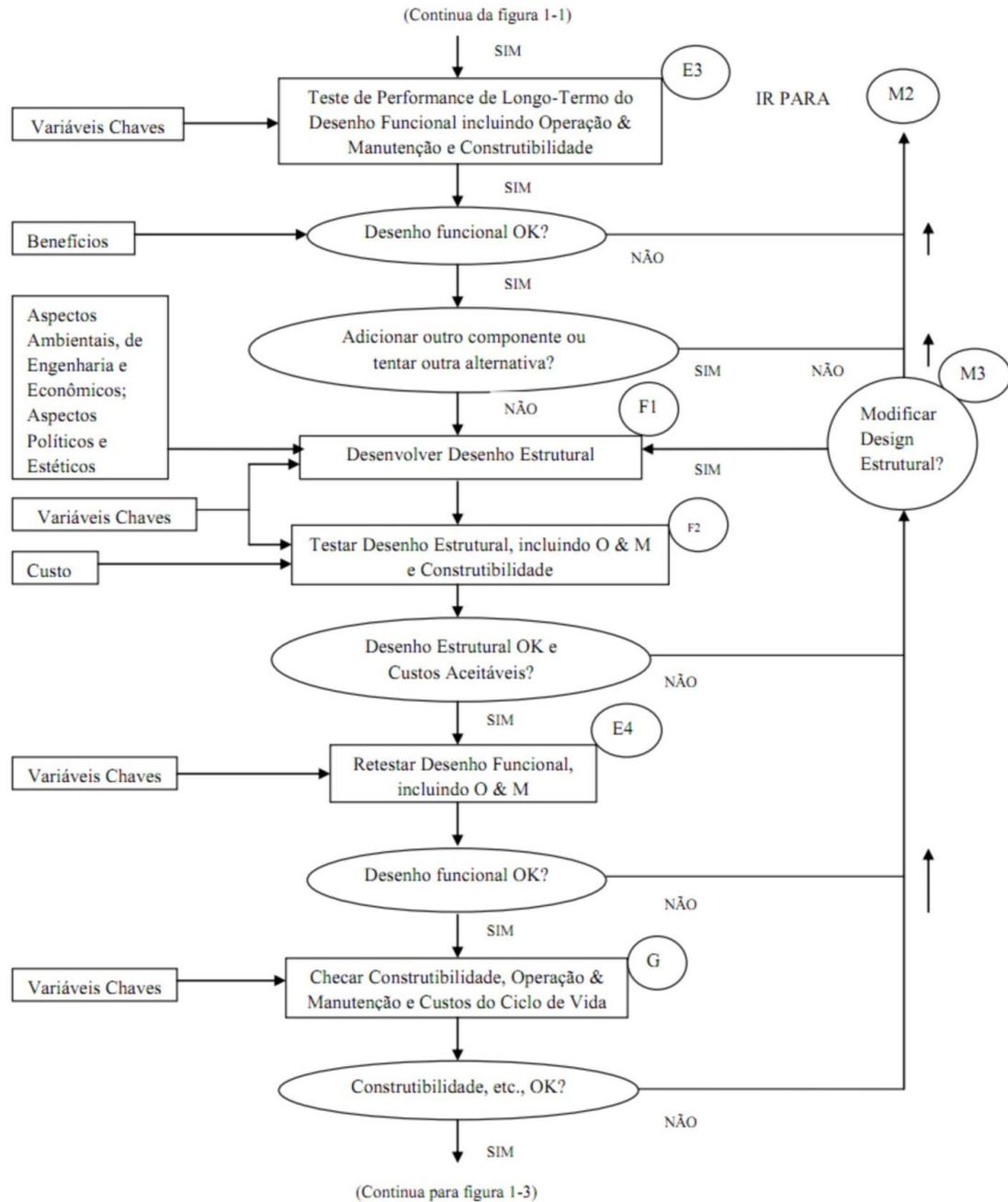


Figura 33 (cont.): Processo de Planejamento e Desenho de Projetos Costeiros. Fonte: Machado (2010, modificado de CEM, 2002).

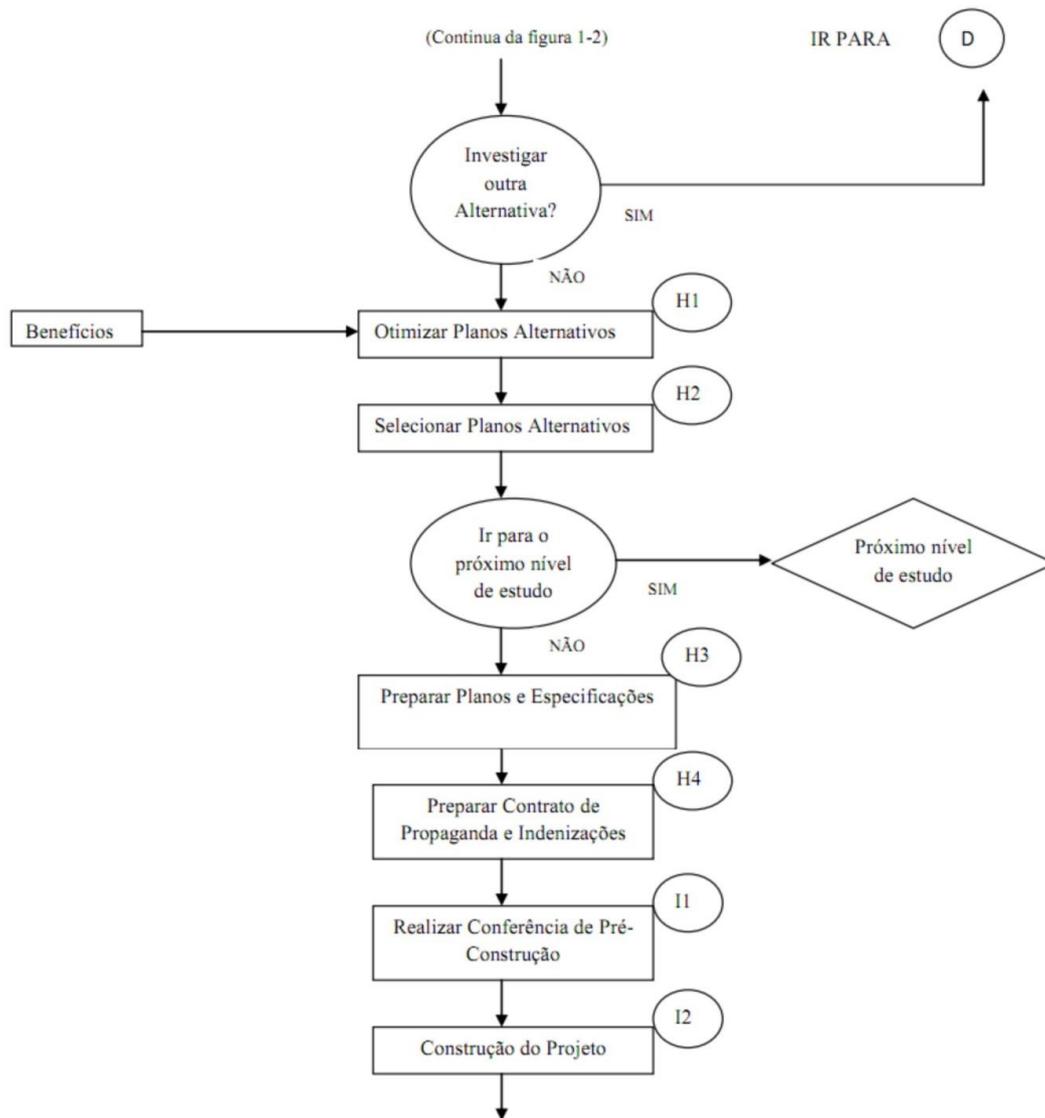


Figura 33 (cont.): Processo de Planejamento e Desenho de Projetos Costeiros. Fonte: Machado (2010, modificado de CEM, 2002).

ANEXO III – PERFIS PRAIAS – MONITORAMENTO DE MACROESCALA

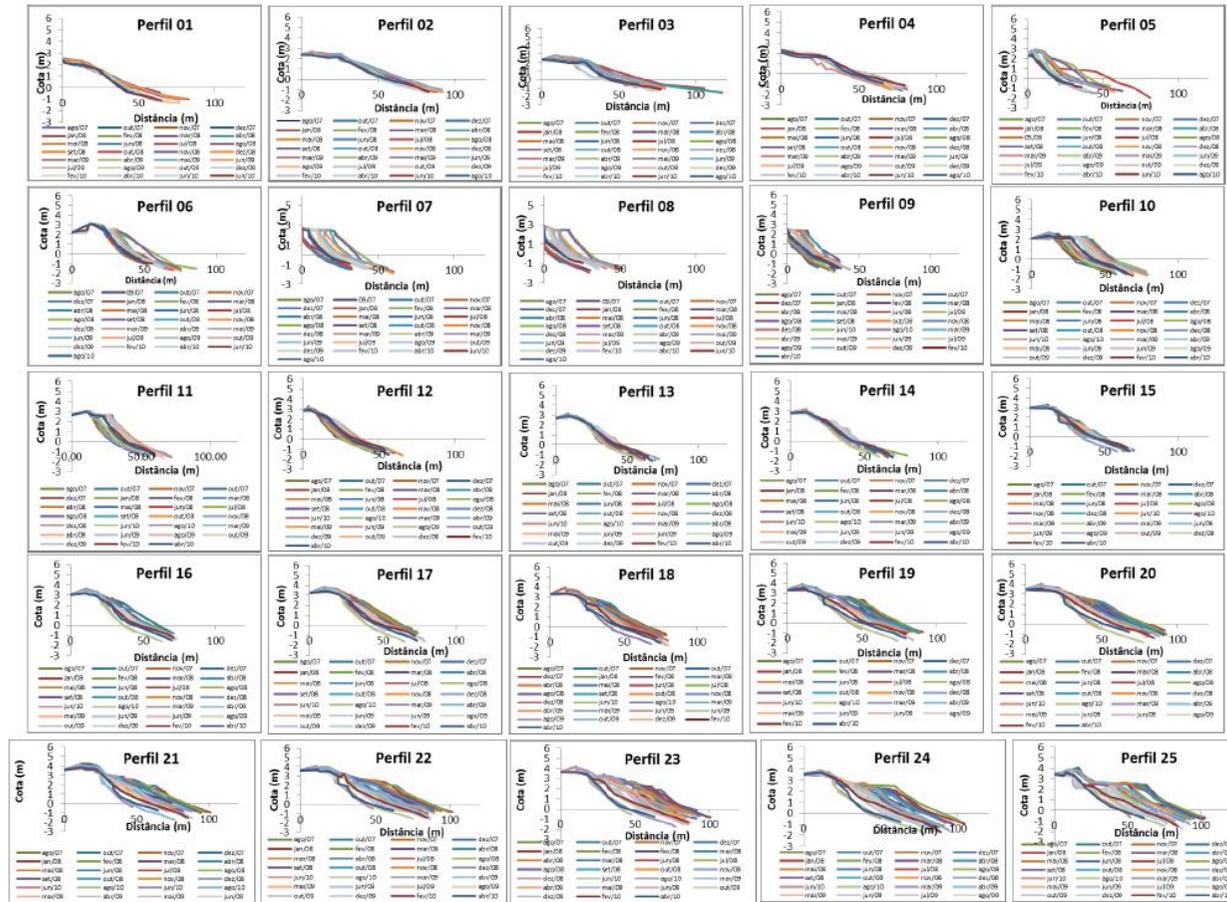


Figura 34: Perfis praias (perfil 01 ao perfil 25) obtidos durante o monitoramento de macroescala (agosto de 2007 a agosto 2010). Fonte: Prado (2011).

ANEXO IV – ORÇAMENTO ESTIMATIVO DOS PROJETOS DE PIÇARRAS

Tabela 11: Orçamento estimativo do aterro emergencial. Fonte: Prosul (2007)

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO		
				UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)	TOTAL 2009 (€)*
ATERRO EMERGENCIAL				R\$	1.512.104,56	€ 661.952,81
1.0	Mobilização					
1.1	Equipamentos	Vb	1	-	68.732,03	30088,77
2.0	Dragagem e aterro hidráulico com espalhamento	m ³	144.699	9,5	1.374.640,50	601775,28
3.0	Desmobilização					
3.1	Equipamentos	Vb	1.0	-	68.732,03	30088,77

* Os dados originais foram convertidos para os preços de 2009 (em Euros [€]) com uma taxa de inflação de 20,8243% e uma taxa de câmbio de €1 = R\$2,76.

Tabela 12: Orçamento estimativo para o projeto de recomposição da orla. Fonte: Prosul (2007).

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO		
				UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)	TOTAL 2009 (€)*
1	MOBILIZAÇÃO				R\$ 340.000,00	€ 148.841,53
1.1	Equipamento	-	1	-	300.000	131330,761
1.2	Mão de obra	-	1	-	40.000	17510,768
2	CONSTRUÇÃO DOS ESPIGÕES DE RETENÇÃO (1 e 2) Extração, Classificação, Carga, Transporte (DTM até 40km) e Assentamento de Blocos de Rocha				R\$ 962.837,79	€ 421.500,73
2.1	50 a 250kg	t	12.488,70	50	624.435,00	273358,412
2.2	250 a 650kg	t	1.367,53	51	69.744,03	30531,788
2.3	450 a 750kg	t	2.234,01	52	116.168,52	50855,000
2.4	900 a 1500kg	t	2.723,04	56	152.490,24	66755,531
3	DRAGAGEM, ATERRO HIDRÁULICO E ESCAVAÇÕES				R\$ 6.031.340,63	€ 2.640.335,18
3.1	Dragagem e aterro hidráulico com espalhamento	m ³	429.886,45	14	6018410,30	2634674,68
3.2	Cava de assentamento do molhe	m ³	1.847,19	7	12930,33	5660,500257
4	DESMOBILIZAÇÃO				R\$ 340.000,00	148.841,53
4.1	Equipamento	-	1	-	300000	131.330,76
4.2	Pessoal	-	1	-	40000	17510,76812
TOTAL DO PROJETO					R\$ 7.674.178,42	€ 3.359.518,97

* Os dados originais foram convertidos para os preços de 2009 (em Euros [€]) com uma taxa de inflação de 20,8243% e uma taxa de câmbio de €1 = R\$2,76.

Tabela 13: Orçamento estimado para as obras de engordamento e recuperação da praia de Piçarras, Balneário Piçarras, SC (ACQUAPLAN, 2011).

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO		
					UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)	TOTAL 2009 (€)*
1	SERVIÇOS TÉCNICOS PARA VIABILIZAÇÃO DAS OBRAS					R\$ 230.797,87	R\$ 72.204,19
1.1	Levantamento topobatimétrico e planimétrico cadastral	200000	m ³	0,26	0,34	68000	21273,53
1.2	Sondagens para identificação de jazida	30	pontos	530	689	20670	6466,53
1.3	Projetos executivos de obras de proteção costeira	1	unidade	109329,13	142127,87	142127,87	44464,14
2	CANTEIRO DE OBRAS					R\$ 206.223,84	€ 64.516,30
2.1	Barracão de obras em tabuas de madeira, cobertura, piso, inclusive instalações hidrossanitárias e elétricas	60	m ³	193,47	251,51	15090,6	4721,03
2.2	Aquisição e colocação de placa de obra	12	m ³	217,67	282,97	3395,64	1062,31
2.3	Tapuma de chapa de madeira compensada	480	m ³	25,86	33,62	16137,6	5048,58
2.4	Serviços técnicos de locação e controle de execução	6	unidade mês	22000	28600	171600	53684,37
3	OBRAS DE ENGORDAMENTO E RECUPERAÇÃO DA PRAIA					R\$ 8.876.775,80	€ 2.777.063,80
3.1	Mobilização e desmobilização draga autotransportadora	1	Unidade	200000	260000	260000	81339,96
3.2	Dragagem material arenoso fino a médio com draga autotransportadora	506500	m ³	12,5	16,25	8230625	2574918,11
3.3	Movimentação de linhas e buster	506500	m ³	0,1	0,13	65845	20599,34
3.4	Espalhamento mecânico e aterro com trator esteira	134980	m ³	2,21	2,87	298305,8	93323,78
3.5	Recomposição de vegetação de restinga	4000	m ³	5,5	7,15	22000	6882,61
TOTAL PROJETO						R\$ 9.313.797,51	€ 2.913.784,29

* Os dados originais foram convertidos para os preços de 2009 (em Euros [€]) com uma taxa de deflação de 15,8138% e uma taxa de câmbio de €1 = R\$ 2,76.

Tabela 14: Orçamento estimado para a execução de espigões na praia de Piçarras, Balneário Piçarras, SC (ACQUAPLAN, 2011).

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	PREÇO		
					UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)	TOTAL 2009 (€)*
1	SERVIÇOS TÉCNICOS PARA VIABILIZAÇÃO DAS OBRAS					R\$ 52.000,00	€ 6.267,99
1.1	Projetos executivos de obras de proteção costeira	1	unid	40000	52000	52000	16267,99
2	CANTEIRO DE OBRAS					R\$ 136.023,84	€ 42.554,51
2.1	Barracão de obras, cobertura, piso, instalações hidrossanitárias	60	m ³	193,47	251,51	15090,6	4721,03
2.2	Aquisição e colocação de placa de obra	12	m ³	217,67	282,97	3395,64	1062,31
2.3	Tapuma de chapa de madeira compensada	480	m ³	25,86	33,62	16137,6	5048,58
2.4	Serviços técnicos de locação e controle de execução	6	unid mês	13000	16900	101400	31722,58
3	EXECUÇÃO DO ESPIGÃO					R\$ 1.949.749,16	€ 609.971,23
3.1	Construção						
3.1.1	Extração e classificação de blocos de rocha						
3.1.1.1	Pedras de 75kg a 500kg	9013,95	m ³	24,82	32,27	290880,17	91000,70
3.1.1.2	Pedras de 1000kg a 3000kg	9343,41	m ³	27,07	35,19	328794,60	102862,07
3.1.2	Carga e transporte de blocos de rocha						0,00
3.1.2.1	Pedras de 75kg a 500kg	9013,95	m ³	18,5	24,05	216785,50	67820,48
3.1.2.2	Pedras de 1000kg a 3000kg	9343,41	m ³	23,13	30,07	280956,34	87896,07
3.1.3	Lançamento dos blocos de rocha nos molhes						0,00
3.1.3.1	Pedras de 75kg a 500kg	9013,95	m ³	11,3	14,69	132414,93	41425,48
3.1.3.2	Pedras de 1000kg a 3000kg	9343,41	m ³	20,74	26,96	251898,33	78805,39
3.2	Tubo metálico. Fornecimento e assentamento	300	m ³	1236,39	1607,31	370917,00	116039,90
3.3	Embasamento de material granular	346,79	m ³	86,05	111,87	29841,28	9335,72
3.4	Dreno com manta geotextil 300g/m3	2873,6	m ³	8,77	11,4	25201,47	7884,18
3.5	Base de brita graduada	395,12	m ³	55,83	72,58	22059,55	6901,24
TOTAL PROJETO						R\$ 2.137.773,00	€ 668.793,73

* Os dados originais foram convertidos para os preços de 2009 (€) com taxa de deflação de 15,8138% e uma taxa de câmbio de €1 = R\$ 2,76

ANEXO V – LEGISLAÇÃO AMBIENTAL – ÁREAS COSTEIRAS

A- ESFERA FEDERAL

Constituição Federal de 05/10/1998

ART. 23 - VI	É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: Proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;
ART. 225	Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações;
ART. 225 - §1º IV	Exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;
ART. 225 - §2º	Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.
ART. 225 - §4º	A Floresta Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar, o Pantanal Mato-Grossense e a Zona Costeira são patrimônio nacional, e sua utilização far-se-á, na forma da lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais.

Política Nacional do Meio Ambiente – Leis

Lei Nº 6938, de 31/08/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente , seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
	ART 08 - Compete ao CONAMA: I - estabelecer, mediante proposta do IBAMA, normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, a ser concedido pelos Estados e supervisionado pelo IBAMA;
	ART 09 - Estabelece os instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente
	ART 10 - A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.
	ART 11 - Compete ao IBAMA propor ao CONAMA normas e padrões para implantação, acompanhamento e fiscalização do licenciamento previsto no artigo anterior, além das que forem oriundas do próprio CONAMA. § 1º Os pedidos de licenciamento, sua renovação e a respectiva concessão serão publicados no jornal oficial, bem como em periódico regional ou local de grande circulação, ou em meio eletrônico de comunicação mantido pelo órgão ambiental competente.
	ART 12 - As entidades e órgãos de financiamento e incentivos governamentais condicionarão a aprovação de projetos habilitados a esses benefícios ao licenciamento, na forma desta Lei, e ao cumprimento das normas, dos critérios e dos padrões expedidos pelo CONAMA. Parágrafo único - As entidades e órgãos referidos no "caput" deste artigo deverão fazer constar dos projetos a realização de obras e aquisição de equipamentos destinados ao controle de degradação ambiental e à melhoria da qualidade do meio ambiente.
Lei nº 10.165, de 27/12/2000	Altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Institui a Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental - TCFA.

Terrenos de Marinha - Leis, Decretos, Medidas Provisórias, Portarias e Instruções Normativas Federais

Lei nº 7.652, de 03/02/1988	Dispõe sobre o registro da Propriedade Marítima e dá outras providências.
Lei nº 8.617, de 04/01/1993	Dispõe sobre o mar territorial, a zona contígua, a zona econômica exclusiva e a plataforma continental brasileiros, e dá outras providências.
Lei nº 12.815, de 05/06/2013	Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários.
Lei nº 9.744, de 21/12/1998	Altera a Lei no 7.652, de 3 de fevereiro de 1988, que dispõe sobre o Registro da Propriedade Marítima.
Lei nº 9.636, de 15/05/1998	Dispõe sobre a regularização, administração, aforamento e alienação de bens imóveis de domínio da União, altera dispositivos dos Decretos-Leis nos 9.760, de 5 de setembro de 1946, e 2.398, de 21 de dezembro de 1987, regulamenta o § 2º do art. 49 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, e dá outras providências.
Lei nº 6.766, de 19/12/1979	Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências
Lei nº 10.932, de 03/08/2004	Altera o art. 4º da Lei no 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que "dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências".
Decreto Lei nº 2.490, de 16/08/1940	Estabelece normas para o aforamento dos terrenos de marinha e dá outras providências.
Decreto nº 3.725, de 10/01/2001	Regulamenta a Lei no 9.636, de 15 de maio de 1998, que dispõe sobre a regularização, administração, aforamento e alienação de bens imóveis de domínio da União, e dá outras providências.
Decreto nº 28.840, de 08/11/1950	Declara integrada ao território nacional a plataforma submarina, na parte correspondente a esse território e dá outras providências.
Decreto nº 74.557, de 12/09/1974	Cria a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e dá outras providências.
PORTARIA SPU nº 07, de 31/01/2001	Dispõe sobre a necessidade de comprovação do efetivo aproveitamento do imóvel para fins de cadastramento de terras ocupadas.
Lei nº 4.504, de 30/11/1964	Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências.
Decreto Lei nº 3.438, de 17/07/1941	Esclarece e amplia o decreto-lei nº 2.490, de 16 de agosto de 1940.
Decreto Lei nº 24.643, de 10/07/1934	Decreta o Código de Águas.
Instrução Normativa SPU nº 01, de 31/01/2001	Dispõe sobre a demarcação dos terrenos de marinha, dos terrenos marginais e das terras interiores.
Medida Provisória nº 1.567-6, de 08/08/1997	Dispõe sobre a regularização, administração, aforamento e alienação de bens imóveis de domínio da União, altera dispositivos dos Decretos-Leis nºs 9.760, de 5 de setembro de 1946, e 2.398, de 21 de dezembro de 1987, regulamenta o § 2º do art. 49 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, e dá outras providências.

Unidades de Conservação - Leis, Decretos e Resoluções Federais

Lei Nº 4.771, de 15/09/1965	Institui o Código Florestal.
	ART 02 e 3 - Definem as áreas de Preservação Permanente.
	ART 04 - Define os casos em que se autorizam a supressão de vegetação de preservação permanente.
Lei nº 6.902, de 27/04/1981	Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental e dá outras providências.
Lei nº 9.985, de 18/06/2000	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.
DECRETO nº 5.566, de 26/10/2005	Dá nova redação ao caput do art. 31 do Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002, que regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC.
Lei nº 11.428, de 22/12/2006	Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.
	ART 14 - A supressão de vegetação primária e secundária no estágio avançado de regeneração somente poderá ser autorizada em caso de utilidade pública, sendo que a vegetação secundária em estágio médio de regeneração poderá ser suprimida nos casos de utilidade pública e interesse social, em todos os casos devidamente caracterizados e motivados em procedimento administrativo próprio, quando inexistir alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto.
Lei nº 12.651, de 25/05/2012	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais.
DECRETO nº 99.274, de 06/06/1990	Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.
	ART 19 - O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 04, de 18/09/1985	Dispõe sobre a definição e o estabelecimento de reservas ecológicas.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 10, de 14/12/1988	Dispõe sobre a regulamentação das Áreas de Proteção Ambiental - APAs.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 13, de 06/12/1990	Dispõe que as atividades que possam afetar a biota da Unidade de Conservação serão definidas pelo órgão responsável por cada Unidade de Conservação, juntamente com os órgãos licenciadores e de meio ambiente.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 303, de 20/03/2002	Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 369, de 28/03/2006	Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente - APP.
DECRETO nº 8974, de 24/01/2017	Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes, incluindo o tema de Adaptação à Mudança do Clima.

Licenciamento Ambiental - Leis e Resoluções Federais

Lei nº 9.537, de 11/12/1997	Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências.
	ART 4 - São atribuições da autoridade marítima elaborar normas para execução de obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das águas sob jurisdição nacional, no que concerne ao ordenamento do espaço aquaviário e à segurança da navegação, sem prejuízo das obrigações frente aos demais órgãos competentes;
Lei nº 9.636, de 15/05/1998	Dispõe sobre a regularização, administração, aforamento e alienação de bens imóveis de domínio da União.
	ART 11 § 4º - Constitui obrigação do Poder Público federal, estadual e municipal, observada a legislação específica vigente, zelar pela manutenção das áreas de preservação ambiental, das necessárias à proteção dos ecossistemas naturais e de uso comum do povo, independentemente da celebração de convênio para esse fim.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 01, de 23/01/1986	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA .
RESOLUÇÃO CONAMA nº 05, de 15/06/1988	Dispõe sobre o licenciamento das obras de saneamento para as quais seja possível identificar modificações ambientais significativas.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 06, de 24/01/1986	Dispõe sobre a aprovação dos modelos de publicação de licenciamento em quaisquer de suas modalidades, sua renovação e a respectiva concessão e aprova os novos modelos para publicação.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 06, de 16/09/1987	Dispõe sobre regras para o licenciamento ambiental de obras de grande porte - setor de energia elétrica.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 09, de 03/12/1987	Dispõe sobre a realização de Audiências Públicas no processo de licenciamento ambiental.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 10, de 06/12/1990	Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classe II. Em seu Art. 3º estabelece que a critério do órgão ambiental competente, o empreendimento poderá ser dispensado da apresentação do EIA - RIMA, devendo apresentar um Relatório de Controle Ambiental - RCA no lugar.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 237, de 19/12/1997	Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.
	ART 2 - A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 281, de 12/07/2001	Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.
LEI nº 8.666, de 21/06/1993	Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Seção III: Das Obras e Serviços.
LEI nº 12.462, de 04/08/2011	Institui o Regime Diferenciado de Contratações Públicas - RDC.
Lei nº 9.605, de 12/02/1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

Controle da Poluição Marinha – Decretos, Resoluções e Instruções

Decreto Legislativo nº 10, de 31/03/1982	Aprova o texto da Convenção sobre Prevenção da Poluição Marinha por alijamento de resíduos e outras matérias, concluída em Londres, a 29 de dezembro de 1972.
Decreto Legislativo nº 87.566, de 16/09/1982	Promulga o texto da convenção sobre Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e Outras Matérias, concluída em Londres, a 29 de dezembro de 1972.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 344, de 25/03/2004	Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências
RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, de 17/03/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências
RESOLUÇÃO CONAMA nº 420, de 28/12/2009	Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 430, de 13/05/2011	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
RESOLUÇÃO CONAMA nº 454, de 01/11/2012	Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.
INSTRUÇÃO NORMATIVA MMA nº 04, de 21/06/2000	Aprova os procedimentos administrativos para a emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos, em corpos d'água de domínio da União, conforme o disposto nos Anexos desta Instrução Normativa.
PORTARIA MT nº 461, de 15/12/1999	Dispõe sobre os serviços de dragagem portuária e hidroviária dos canais de acesso, dos berços de atracação, das bacias de evolução e de fundeio, até a desobstrução e a regularização da navegabilidade marítima e hidroviária interior como navegação de Apoio Portuário
Decreto Lei nº 2.398, de 21/12/1987	Dispõe sobre foros, laudêmios e taxas de ocupação relativas a imóveis de propriedade da União, e dá outras providências.

NORMAM

NORMAM-11 / DPC	Normas da Autoridade Marítima para Obras, Dragagem, Pesquisa e Lavra de Minerais Sob, Sobre e às Margens das Águas sob Jurisdição Brasileira.
NORMAM-15 / DPC	Normas da Autoridade Marítima para Atividades Subaquáticas.
NORMAM-25 / DPC	Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos.

B- ESTADO DE SANTA CATARINA – APLICAÇÃO GERAL

Política Nacional do Meio Ambiente - Leis e Resoluções Estaduais

Lei nº 5.793, de 16/10/1980	Dispõe sobre a proteção e melhoria da qualidade ambiental e dá outras providências.
Lei nº 14.675, de 13/04/2009	Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.

Licenciamento Ambiental - Resoluções Estaduais

Resolução CONSEMA nº 001/2006; 002/2006	Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental pela Fundação do Meio Ambiente – FATMA e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento.
Resolução CONSEMA nº 18, de 10/12/2008	Aprova o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos e atividades localizadas em municípios que tenham declarado o Estado de Calamidade Pública, por meio de expedição de Autorização Ambiental - AuA, e estabelece outras providências.
Resolução CONSEMA nº 13 de 14/12/2012	Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental no Estado de Santa Catarina e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento.
Resolução CONSEMA nº 14 de 14/12/2012	Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental de impacto local para fins do exercício da competência do licenciamento ambiental municipal e dispõe da possibilidade dos Conselhos Municipais do Meio Ambiente definirem outras atividades de impacto local não previstas nas Resoluções do CONSEMA. Ajusta a listagem das atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental aprovadas por meio das Resoluções CONSEMA 01/2006, 02/2006 e 004/2008.
Resolução CONSEMA nº 52, de 05/12/2014	Estabelece critérios gerais para exercício do licenciamento ambiental municipal de atividades, obras e empreendimentos que causem ou possam causar impacto de âmbito local em todo o Estado de Santa Catarina.
Resolução CONSEMA nº 98, de 05/05/2017	Aprova, nos termos do inciso XIII, do art. 12, da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências.

Gerenciamento Costeiro - Leis, Decretos e Resoluções Estaduais

Lei nº 13.533, de 13/11/2005	<p>Institui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro - PNGC.</p> <p>ART 03 - O PNGC deverá prever o zoneamento de usos e atividades na Zona Costeira e dar prioridade à conservação e proteção</p> <p>ART 05 - § 1º Os Estados e Municípios poderão instituir, através de lei, os respectivos Planos Estaduais ou Municipais de Gerenciamento Costeiro.</p>
DECRETO nº 5.010, de 22/12/2006	Regulamenta a Lei no 13.553, de 16 de novembro de 2005, que institui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro e estabelece outras providências
Lei nº 14.465, de 23/07/2008	Altera dispositivo da Lei nº 13.553, de 2005, que institui o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro. <i>Altera SDS para SPG.</i>
DECRETO nº 3.010, de 20/04/2005	Institui a Comissão Estadual para o Desenvolvimento do Projeto Orla.
DECRETO nº 4.015, de 20/04/2006	Altera redação, acrescenta e renumera dispositivos do Decreto nº 3.077, de 20 de abril de 2005, que institui a Comissão Estadual para o Desenvolvimento do Projeto Orla e estabelece outras providências.
DECRETO nº 1.591, de 12/08/2008	Constitui o Comitê Gestor Integrado para o Planejamento Territorial da Região Costeira do Estado de Santa Catarina e estabelece outras providências.

ANEXO VI – PARÂMETROS CHAVES – OBRAS COSTEIRAS

Quadro 9: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Alimentação Praia, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Alfredini (2005), Brower e Dean (2002), Campebell e Benedet (2004), Dean (1997, 2002) e USACE (2002b).

Parâmetros Funcionais do Projeto
Determinação da área de alimentação é de difícil eficácia em regiões de mar aberto, ao largo da zona de arrebenção. Depositada diretamente na zona de espraçamento, sendo a areia transportada pelo jato da praia;
A transposição do material da própria praia de uma área de deposição a barlar para a de erosão a sotamar consiste na obra de transpasse de obstáculos ao transporte litorâneo;
As zonas de alimentação e despejo devem situar-se fora das áreas de influência das correntes de refluxo das embocaduras, para evitar perdas;
Deve-se considerar o conceito de profundidade de fechamento, que corresponde aquela em relação a qual, para profundidades superiores, o transporte de sedimentos litorâneos não é significativo;
De acordo com modelos de Campbell, de 20 a 40% do volume total de sedimentos adicionado a praia é perdido durante a acomodação do sedimento ao perfil de equilíbrio natural.
Estimativa da quantidade depende da vazão do transporte de sedimentos litorâneos; intervalo entre alimentações; volume de areia e granulometria para formar o perfil de praia estabilizado, dependendo da finalidade; sobre enchimento devido a erosão natural e a remoção das frações mais finas;
Frequência de alimentação ligada à permanência do material, podendo ser contínua ou intermitente;
Realização de testes de teorias e técnicas disponíveis para o desenho e previsão do desempenho do projeto;
Parâmetros Estruturais do Projeto
Investigação geotécnica da área de estudo; para estimar a natureza, extensão do pacote sedimentar e suas propriedades;
Estimativa do volume da alimentação, ou seja, volume de sedimento adicionado por unidade de comprimento de praia (m^3/m) depende do clima de ondas, da taxa erosiva, dentre outros fatores. Nos EUA $250 m^3/m$ é considerado viável, sendo que a estimativa de volume pode ser realizada através da fórmula de Campbell;
Determinação da profundidade de fechamento é considerada base para cálculo do perfil de equilíbrio;
Estimativa da taxa erosiva histórica, pois esta afeta o desempenho do projeto;
Um dos principais parâmetros é a altura da berma; pois o aumento da altura desta estrutura resulta na redução substancial da altura de onda e dos danos a propriedades devido a tempestades severas; entretanto é esteticamente desfavorável;
Identificação da elevação, espessura, e propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas do solo, profundidade da base/fundamento, e nível do lençol de água.
Especificações do material de empréstimo: identificação do tipo, localização, quantidade, e qualidade do material;
Investigação da localização, quantidade, tamanho, qualidade, custo, durabilidade, viabilidade e tipo de sedimento;
Determinação do grau de selecionamento e da porcentagem de sedimentos finos da jazida, e da localização e área da jazida;
Levantamento de restrições ambientais e regulamentacionais;

Quadro 9 (cont.): Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Alimentação Praial, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Alfredini (2005), Brower e Dean (2002), Campepbell e Benedet (2004), Dean (1997, 2002) e USACE (2002b).

Parâmetros de Construção do Projeto
Parâmetro chave de construção do projeto é a avaliação da viabilidade das áreas de empréstimo (jazida), segundo a localização e o tipo de material;
Recursos destinados ao projeto limitam os custos deste e o volume de areia a ser adicionado;
Lançamento pode ser pontual, em pontos discretos para ser uniformemente distribuído mais adequadamente. A distribuição pode ser contínua, sendo cada faixa alimentada até atingir a largura prevista; ou combinado;
Granulometria deve ser compatível; areias supridas devem ter dimensões superiores ou iguais às areias originais, equivalendo a declividades de praias maiores ou iguais a natural, para serem estáveis nas condições hidrodinâmicas reinantes;
Fonte pode ser marítima em praias afogadas e depósitos ao longo de desembocaduras; ou terrestre, em baías, lagunas e campo de dunas;
Escolha da fonte condiciona tipo de equipamento;
Devem ser consideradas as repercussões ambientais nas áreas de empréstimo e depósito;
A escolha depende de fatores técnicos, características e volumes dos materiais, fatores econômicos, distância de transporte, obras e equipamentos e fatores ambientais;
Transporte mecânico terrestre, correspondendo a equipamentos de terraplanagem, que é mais econômico, mas com rendimento reduzido e condicionado pelo acesso;
Transporte hidráulico, correspondendo a equipamento de dragagem e condutos, indicados para grandes volumes, e particularmente conveniente quando associado a serviços de dragagem em curso em áreas portuárias próximas;
Quantificação do perfil de desenho e de avanço para definição do modelo de construção;
Monitoramento do projeto inicial para identificação dos pontos positivos e das deficiências da concepção do projeto, possibilitando o aprimoramento do desenho de projetos de alimentação subsequentes, e decisões quanto à possibilidade de realimentação;
Desenvolvimento e manutenção de um programa de conscientização pública;

Quadro 10: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Paredão e Revestimento Longitudinal, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Tanimoto (1994), Alfredini (2005), CEM (2002), Goda (2009) e Herbich (1992).

Parâmetros Funcionais do Projeto
O principal parâmetro de desenho é a cota de coroamento, a qual deve ser o mais alta possível para minimização de galgamento de ondas de tempestade e do espraiamento da onda; garantindo a segurança de pessoas e propriedades detrás da estrutura;
Perfis transversais: De talude: recomenda-se perfil suave (1:4 a 1:10); Com concha defletora, indicado contra galgamento; Verticais, indicado para atracções, entretanto promove reflexão de ondas; Compostos ou Mistos;
Rugosidade e permeabilidade do paramento inclinado promovem maior eficiência na dissipação de energia da onda e redução do galgamento;
Proteção da fundação externa;
Estruturas suportadas por pilares e por gravidade; o peso providencia estabilidade contra forças de deslizamento e evita o "tombamento" (overturning);
Comprimento com extensão equivalente a área de proteção;
Parâmetros Estruturais do Projeto
Deve-se prover uma berma no pé do talude para criar reservas de pedra, para admitir acomodações moderadas;
Abertura de vala suficientemente profunda enchida com enrocamento para constituir a fundação da obra;
Filtro para adequada transição entre o enrocamento e a areia; suporta a armadura, permite a passagem de água pela estrutura e previne a saída de sedimentos; sendo comum a aplicação de filtros de geotêxtil;
Impermeabilização na parte detrás (tardoz) do paredão, minimizando infiltração por galgamento;
Parâmetros de Construção do Projeto
Materiais utilizados incluem enrocamento, peças maciças de concreto, estacas prancha de concreto, metálicas ou de madeira, sacos de geotêxtil;
Nos revestimentos de alto da praia, atingidos somente por ondas nas preamares excepcionais, podem ser muretas de 1,5 a 2,0 m de altura (de concreto ou de alvenaria da pedra), gabiões, sendo também usados enrocamento, blocos ou placas de concreto arrumadas, estacas prancha (de madeira ou metálicas) para fundação.

Quadro 11: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Quebra-mar, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Dally e Pope (1986), Papa e Dean (1986), Ahrens (1987), Hattori e Sakai (1994), Juhl e Preguiça (1994).

Parâmetros Funcionais do Projeto
Princípio de funcionamento é principalmente hidráulico; dissipação de energia das ondas ocorre devido à turbulência na arrebentação das ondas e por atrito sobre o talude;
Crista de altura suficiente para minimizar galgamentos;
Armadura (carapaça ou manto);
Superestruturas de concreto, e.g. conchas defletoras, reduzem galgamentos, reduzindo a altura e o volume da crista, permitindo a passagem de veículos e tubulações sobre a crista;
Estruturas permeáveis são mais efetivas na redução do espraio da onda, na reflexão de ondas, e eventualmente na redução da pressão atuando sobre a estrutura;
A reflexão varia em função da porosidade e da rugosidade da superfície, as quais aumentam a transmissão e a dissipação, respectivamente;
A reflexão e o galgamento de estruturas são inversamente proporcionais a rugosidades e permeabilidades. Maiores rugosidades e permeabilidades implicam em menores galgamentos, devido a maiores efeitos de dissipação de energia. Em perfis suaves, são encontrados maiores galgamentos e reflexão. Sendo que quanto menor a crista, maior o galgamento, e menor a reflexão;
A altura das ondas pode ser reduzida pelo aumento da fricção e da permeabilidade dos quebra-mares. Assim, a energia da onda incidente pode ser dissipada antes de atingir a costa;
A longevidade do projeto é proporcional ao comprimento do projeto e inversamente proporcional a 2,5 vezes a energia das ondas;
Parâmetros Estruturais do Projeto
Na definição da localização devem ser considerados a dimensão da área a ser abrigada, o grau de abrigo de berços e bacias portuárias para operação de movimentação de cargas e manobras dos navios e influência no transporte de sedimentos litorâneos. Estudo das deformações das ondas através de topobatimetria é indicado para definição da melhor localização da obra;
Parâmetros incluem clima de ondas para definição de altura, período e rumo das ondas, regime de marés para definição de níveis d'água notáveis, regime de correntes para avaliação das características do transporte de sedimentos litorâneo e condições de fundação (capacidade de carga do rio);
Maciços constituídos em camadas graduadas de blocos. Camada da armadura ou carapaça, maior que primeira camada ou intermediária, maior que camada do núcleo e camada junto ao leito.
Filtro entre camadas visando evitar perda de finos do núcleo acarretando acomodações excessivas das camadas; excessiva penetração da energia das ondas devido à permeabilidade do maciço;
Bermas hidráulicas para prevenção da erosão do pé do maciço e pré-arrebentação das ondas; ou geotécnicas ou de equilíbrio, visando à estabilidade do maciço;
Em relação à flexibilidade estrutural, admite certa porcentagem de dano na armadura com ondas superiores às de projeto;
Blocos de armadura de concreto utilizado em frente à parede vertical para redução do impacto das ondas na parede, galgamento das ondas, e reflexão de ondas por dissipação de energia de ondas; enquanto os blocos artificiais para quebra-mares de talude são usados para proteger as camadas internas;
A primeira fórmula para o desenho de quebra-mares foi desenvolvida por Castro's (1933), seguida por trabalhos de Iribarren's (1938, 1950, 1954, 1965). Importantes no estabelecimento da relação entre o peso da unidade da armadura, a declividade, a altura de ondas incidentes e forma e peso específico da unidade de armadura.

Quadro 11 (cont.): Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Quebra-mar, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Dally e Pope (1986), Papa e Dean (1986), Ahrens (1987), Hattori e Sakai (1994), Juhl e Preguiça (1994).

Parâmetros Estruturais do Projeto
O pré-dimensionamento do peso dos blocos de armadura pode ser realizado através da aplicação da fórmula de Hudson, sendo esta a mais utilizada na Engenharia Costeira. Entretanto, esta apresenta certas limitações, tais como, apenas uso de ondas regulares, não consideração ao período de ondas e duração de tempestades, não descrição do nível de danos, sendo aplicável somente a estruturas permeáveis e que não sofrem galgamento. A equação de Van Der Meer é a mais indicada devido à distinção entre águas rasas e profundas, e entre ondas mergulhantes e ascendentes.
Parâmetros de Construção do Projeto
Materiais utilizados incluem blocos de enrocamentos ou concreto; ou blocos especiais; sendo dimensionadas para o aproveitamento ótimo do volume disponível de blocos;
Materiais utilizados para o enchimento incluem concreto que tem sido gradativamente substituído por cascalhos e areia; mistura de areia, geotêxteis e paralelepípedos;
Composição do maciço pode ser de enrocamento, misto com infra-estrutura de enrocamento e armadura com blocos de concreto, ou de blocos de concreto (pré-moldados e onerosos para grandes volumes). Geralmente o peso máximo situa em 10 a 15t;
Em relação à obtenção dos blocos: enrocamentos através de equipamentos de pedreiras; blocos de concreto através de equipamentos de um canteiro de obra pré-moldado;
Transporte e colocação dos blocos podem ser efetuados por via flutuante, utilizando chatas, rebocadores, cábreas, barcaças especiais, ou por via seca, utilizando via férrea, caminhões basculantes, guindastes e tratores;
Manutenção relativamente fácil da estrutura nos períodos de calmaria após fortes tempestades;
Devem ser evitados danos às camadas de infra-estrutura por não serem dimensionadas para resistir à ação direta das ondas;
Método de drenagem do solo (dreno de areia) pode ser requerido para adensamento de solos inconsolidados;
A construção de quebra-mares de talude é recomendada quando a área a ser protegida está em grandes profundidades e o fundo é constituído de solo inconsolidado;

Quadro 12: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Espigões e Campo de Espigões, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Alfredini (2005), CEM (2002), Özölçer et al. (2006), Schoones et al. (2006) e Fitzgerald (2010).

Parâmetros Funcionais do Projeto
Os três parâmetros chaves para o desenho funcional são: estimativa do balanço entre o transporte longitudinal líquido e bruto, permeabilidade da estrutura e bypassing;
A amplitude da maré, parâmetros de ondas (altura, período e direção), o transporte de sedimentos bruto e líquido e o tamanho de grão são parâmetros hidrodinâmicos e sedimentares chaves. A combinação destes fatores produz condições de espaçamento e plataforma ótimas;
A permeabilidade, elevação e porosidade da estrutura, juntamente com a variação da maré devem ser estimadas. A elevação da seção transversal na zona de espraiamento controla o processo de over-passing, o comprimento e a elevação da berma da praia controlam o shore-passing, e os materiais estruturais utilizados controlam o through-passing;
Comprimento e permeabilidade são dependentes da fração do transporte litorâneo a ser interceptada e da profundidade de implantação. Diferentes permeabilidades produzem diferentes perfis de equilíbrio;
Espigões muito permeáveis apresentam baixa eficiência de retenção de areia. Estes possuem menor impacto na linha de costa, entretanto são mais vulneráveis à remoção de depósitos em eventos extremos, colmatando com o tempo;
Espigões muito curtos interceptam o transporte de jato de praia na zona de arrebentação;
Espigões muito longos ou completamente impermeáveis podem bloquear efetivamente o transporte de sedimento.
Espigões muito curtos com alta permeabilidade podem não bloquear sedimento suficiente para ser efetivo. Portanto, estes devem ser longos o suficiente para manter a largura da praia requerida, sem causar redução indevida da deriva litorânea;
Realização da conversão de energia cinética em potencial defletindo o escoamento;
Profundidades grandes, além da linha de arrebentação, apresentam função de dissipação da energia de ondas. Usualmente correspondem a cerca de 50% da largura média da zona de arrebentação e espraiamento;
Devem ter o mesmo comprimento, excetuando os espigões extremos;
Declividade condiciona a extensão do espigão, estruturas mais extensas em declividades mais suaves;
Altura variável, dependente da fração do transporte sólido a ser interceptada, classificados em altos ou baixos, quanto mais alto, maior a eficiência de retenção e dependente do padrão de ventos;
Altura do espigão deve ser limitada a pouco acima do nível da praia; alturas ajustadas a volumes de alimentação e desenho de altura de berma são também benéficas. A altura de ondas deve levar em consideração o galgamento de ondas e a quantidade de transmissão de sedimentos sobre a estrutura;
Orientação perpendicular com relação à linha de costa usualmente utilizada, principalmente em ambientes de ondas incidentes sem direção dominante;
Indicado espigões ligeiramente inclinados para barlar, em casos de incidências muito oblíquas e sem significativas inversões de direção, evitando-se deslocamentos com turbilhões erosivos nas extremidades;
Indicado adoção de transições seguindo os critérios de filtros entre as camadas de diferentes granulometrias para evitar acomodações excessivas e perdas de finos;

Quadro 12 (cont.): Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo Espigões e Campo de Espigões, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Alfredini (2005), CEM (2002), Özölçer et al. (2006), Schoones et al. (2006) e Fitzgerald (2010).

Parâmetros Estruturais do Projeto
Cota de coroamento deve corresponder no mínimo ao topo da berma de inverno, para evitar flaqueamento do enraizamento por erosão;
Cotas de coroamento são usualmente fixadas ao nível de baixa-mar na extremidade, gradualmente subindo ao nível de preamar na raiz, visando concentrar o escoamento de vazante.
Cotas de coroamento situam-se entre 0,5 a 1,2 m sobre a superfície plana;
Recomendável perfil transversal tipo composto em talude.
Não aconselhável o uso de parâmetros verticais, pois causam galgamentos das obras e podem descalçar as fundações, devido ao alto poder reflexivo das ondas;
Espaçamento entre espigões é definido geralmente como múltiplo do comprimento, normalmente entre 1 a 4 (até 10), frequentemente de 1,5 a 3 vezes; deve ser espaçado próximo uns dos outros, dependente da direção dominante das ondas incidentes em relação a praia;
Profundidades reduzidas, inferiores a primeira linha de arrebentação, comprimento aproximado entre 3 a 5 vezes o comprimento da onda dominante e o espaçamento entre quebra-mares da ordem de 1 comprimento de onda dominante;
Profundidades médias, na linha de arrebentação, comprimento aproximado entre 2 a 6 vezes o comprimento da onda dominante e o espaçamento entre quebra-mares da ordem de 1 comprimento de onda dominante;
A relação entre o comprimento de espigões e o espaçamento longitudinal deve ser respeitada. Para praias dissipativas é usualmente 1:4 enquanto em praias reflectivas é 1:2.
Configuração planimétrica retilínea é a mais utilizada. Configurações não tradicionais incluem espigões em forma de T. Espigões inclinados podem reduzir correntes de retorno ao longo do lado a sotamar quando inclinadas na direção do transporte líquido de sedimentos;
Podem ser utilizados espigões secundários ou paredões associados a espigões isolados, para mitigação de erosões secundárias;
Para o cálculo do peso dos blocos de enrocamento em espigões construídos em ponta de aterro recomenda-se a fórmula de Izbash;
Parâmetros de Construção do Projeto
Construção deve ser iniciada de sotamar para barlar, adicionando novos espigões quando a capacidade de retenção máxima for atingida iniciando o transpasse de sedimentos pela obra;
Redução do comprimento de espigões gradativamente a sotamar, formando um ângulo de cerca de 6° com a linha de costa natural, sendo recomendável que o último espigão esteja situado em área não sujeita a erosão, para auxiliar na prevenção da erosão;
Indicado a utilização combinada com alimentação artificial, para evitar erosão em praias adjacentes;
Material mais empregado é o enrocamento, compondo quebra-mares de talude; devido à alta disponibilidade e duração. Concreto e aço são materiais adequados para construções de espigões curtos na zona de surfe, porém estes materiais tendem a ser de alto valor. Espigões de madeira e geotêxteis são alternativas mais baratas e podem ser adaptadas a uma variabilidade de condições de praia, mas também tem aplicabilidade limitada a condições de águas rasas;
Estruturas de concreto, aço e em madeira têm a vantagem de se ajustarem ao perfil da praia, não sendo necessária a reconstrução ou reformar o espigão;
Em maiores profundidades recomenda-se o uso de blocos de concreto, para formação de recifes artificiais e caixões de concreto para formação de perfis verticais ou mistos;
Em áreas mais abrigadas, podem ser utilizadas estacas metálicas ou de madeira;

Quadro 13: Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo *Bypassing*, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Todd et al. (2005) e Silvester (1985).

Parâmetros Funcionais do Projeto
Estimativa do balanço sedimentar líquido sazonal/anual, para definição da quantidade a ser transpassada para manutenção do balanço de sedimentos;
Definição das características climáticas e do clima de ondas local para definição dos períodos de realização da dragagem e do tipo de dragagem. Dragagem periódica tem característica de coleta e a dragagem contínua de intercepção de sedimentos;
Resistência do sistema a eventos extremos determina a frequência da operação;
Natureza, localização e características texturais do sedimento, determinam o método físico a ser utilizado;
Determinação das áreas possíveis de dragagem e a distância de transporte para definição da mobilidade do sistema;
Localização da área de despejo apropriada, preferencialmente na zona de surfe, pois auxilia no restabelecimento natural do equilíbrio;
Avaliação dos efeitos prejudiciais a navegação;
Estimativa do assoreamento do canal, para determinação de medidas mitigatórias, como operações de dragagem;
Acessibilidade a métodos de construção e manutenção;
Flexibilidade de modificação ou adaptação do sistema;
Parâmetros Estruturais do Projeto
Condições de acesso à região de deposição devem ser determinadas; e a avaliação de custos, para escolha do tipo de sistema e dos equipamentos a serem utilizados;
Determinação das taxas de descargas por meio de dutos;
Extensão da área a ser dragada; e da bacia de deposição, quando existente;
Métodos construtivos sofisticados são requeridos para sistemas fixos, já que estes são montados sobre a estrutura;
Manutenção de sistemas em que são presentes estruturas em áreas submersas é dificultada;
Equipamentos de operação offshore podem ser requeridos para construção e manutenção de outros sistemas, como weir jetty;
Determinação da vulnerabilidade da utilização dos equipamentos frente a condições climáticas;
Localização exata da área a ser dragada, em caso de sistemas semi-móveis;
Estimativa da região e do volume depositado;
Determinação da capacidade de transporte do equipamento utilizado;
Disponibilidade e custos econômicos dos materiais de empréstimo devem ser considerados;

Quadro 13 (cont.): Parâmetros funcionais, de estruturação e construção para obras do tipo *Bypassing*, elaborados por Machado (2010), segundo trabalhos de Todd et al. (2005) e Silvester (1985).

Parâmetros de Construção do Projeto
Estimativa de custos de construção, operação e manutenção do sistema;
Transpasse de sedimentos pode ser realizado através do uso de sistemas fixos semi-móveis ou móveis; a escolha do tipo condiciona o equipamento a ser utilizado;
Sistema de transferência mais comum é a dragagem regular do canal de entrada, eventualmente com armadilhas para depósitos de sedimentos;
Equipamentos a serem utilizados para extração de sedimentos incluem dragas mecânicas, hidráulicas, estacionárias ou autotransportadoras, embarcações auxiliares, bombas, etc.
Equipamentos utilizados para deposição do material dragado incluem dutos, bombas de sucção, etc.
Componentes típicos de um sistema fixos são a bomba e o motor da bomba, e um alojamento para sua proteção. Este tipo de sistema propicia a transferência de pequenas quantidades de sedimentos limitada a regiões ao longo da costa, e necessita de uma forma de acesso a praia;
Utilização de dragas flutuantes propicia maiores quantidades de transferência de sedimentos, sem restrições de mobilidade. Entretanto, a área a ser dragada tem que ser razoavelmente protegida da ação das ondas e de fácil acesso;
Sistemas semi-móveis incluem bombas ou edutores. Componentes destes sistemas são os equipamentos de dragagem e um duto ou outros meios para descarga de areia. A utilização destes sistemas pode ser considerada em casos de transferência contínua ou periódica de sedimento.
Baixa flexibilidade no caso de instalações físicas de transposição de areia. No caso de interrupção do processo de transposição de areias, pode ocorrer erosão a sotamar;

Quadro 15: Potenciais fontes de conhecimento para os parâmetros requeridos no Quadro 14. Fonte: ZHU *et al.*, 2010.

Conhecimento Requerido	Potenciais Fontes de Conhecimento
Aumento Relativo do NMM	Cenários climáticos downscaled
Níveis de água extremos	Histórico do nível da maré Modelagem numérica
Clima de ondas (presente e futuro)	Bóias oceanográficas <i>Wave hindcasting</i> Sensoriamento Remoto
Batimetria <i>nearshore</i>	Cartas náuticas Ecosondas (simples ou multifeixes) DGPS
Regime de marés	Tábua de marés Medições em campo Medidor de maré
Histórico de enchentes	Histórico de dados de enchentes Modelagem numérica
Cobertura da terra	Fotografias aéreas Sensoriamento Remoto Saídas de campo
Topografia costeira	Estação total Teodolito DGPS
Nível de Proteção Costeira	Pesquisa Local Fotografias aéreas Análises de vulnerabilidade
<i>Settlement</i>	Investigação geotécnica
Características sedimentares	Análises de amostras
Disponibilidade de locais de dragagem	Perfil subaéreo Sonar <i>side scan</i> Mapeamento batimétrico
Balanço de sedimentos local	Análises do balanço de sedimentos
Largura de praia desejada	Decisão de design
Taxas históricas de erosão	Mapas históricos Fotografias aéreas Cartas náuticas e topográficas
Distribuição de habitats históricos	Mapas históricos Fotografias aéreas
Vegetação nativa	Pesquisa biológica
Velocidade de escoamento	Modelagem numérica
Descarga fluvial	Estações de medição dos rios (presente) Cenários (futuro)

Quadro 15 (cont.): Potenciais fontes de conhecimento para os parâmetros requeridos no Quadro 14.Fonte: ZHU *et al.*, 2010.

Conhecimento Requerido	Potenciais Fontes de Conhecimento
Observações e previsões meteorológicas (chuva, pressão atmosférica, nível de marés, altura de ondas, velocidade do vento, descarga fluvial)	Observações de superfície, medidores e sensores Sensoriamento Remoto Organizações Externas (NOAA, Observações WMO) Modelos Numéricos
Disseminação e limites de avisos efetivos	Estudo local Pesquisas de ciências sociais
Construção de <i>floating beds</i>	Agências de Desenvolvimento Conhecimento de esquemas de crescimento
Padrões de cultivo	Agências de Desenvolvimento Conhecimento de esquemas de crescimento

Quadro 17: Técnicas e ferramentas específicas para o monitoramento das medidas de adaptação.

Fonte: ZHU *et al.*, 2010.

Descrição geral	Técnicas e ferramentas específicas
Levantamento topográfico	Métodos terrestres Métodos tradicionais de nivelamento Estação total DGPS Teodolito Métodos aéreos Fotogrametria LiDAR SAR
Levantamento batimétrico	Métodos com base em navios Ecosonda (feixe simples) Ecosonda (múltiplos feixes) DGPS Métodos aéreos LiDAR
Posição da Linha de Costa	Fotografias aéreas Mapeamento da linha de costa Pesquisas topográficas e batimétricas
Ocorrência e magnitude de enchentes	Histórico do nível de marés e medição do rio Mapeamento da profundidade e extensão de eventos históricos
Integridade estrutural	Inspeções regulares (especialmente em maré baixa) Inspeção da drenagem do canal Inspeção de buracos, de animais roedores, etc. Testes regulares do fechamento de barreiras móveis
Levantamento ecológico	Fotografias aéreas Pesquisa e contagem de aves Pesquisa e contagem de peixes Pesquisa e contagem de invertebrados Pesquisa por quadrados fixos Pesquisas por quadrados randômicos
Mudanças morfológicas e correntes	Correntes: Pesquisas topográficas e batimétricas Velocidade da corrente: ADCP Correntômetros Mudanças morfológicas: Imagens e fotografias aéreas Mapeamento

Quadro 17 (cont.): Técnicas e ferramentas específicas para o monitoramento das medidas de adaptação. Fonte: ZHU *et al.*, 2010.

Descrição geral	Técnicas e ferramentas específicas
Conformidade com a legislação	Inspeções de construção
Acreção intertidal e erodibilidade	<p>Acreção: Tabelas de erosão e sedimentação (Bourmans & Day, 1993) Trapeamento de sedimentos Traçadores de sedimentos Pesquisas topográficas</p> <p>Erodibilidade: Mensuramento da erosão <i>in situ</i></p> <p>Monitoramento do fluxo: Traçadores Correntômetros eletromagnéticos Correntômetros acústicos (ADCP e <i>Doppler</i>)</p>
Absorção de tecnologia	Inspeções de construção Pesquisas na comunidade