

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**IMPACTOS DA OBRA DE ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL EM
UMA PRAIA DE ENSEADA**

BRUNA CALLONI

ORIENTADOR – Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Junior

Porto Alegre – 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**IMPACTOS DA OBRA DE ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL EM
UMA PRAIA DE ENSEADA**

BRUNA CALLONI

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Luis Nicolodi – Instituto Oceanográfico, Universidade Federal do Rio Grande.

Prof. Dr. Felipe Mendonça Pimenta – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Dr. Carla de Abreu D'Aquino – Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina.

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para a obtenção
do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2014

CIP - Catalogação na Publicação

Calloni, Bruna
Impactos da Obra de Alimentação Artificial em uma
Praia de Enseada / Bruna Calloni. -- 2014.
73 f.

Orientador: Elírio Ernestino Toldo Jr..

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto
Alegre, BR-RS, 2014.

1. Modelagem Numérica. 2. Alimentação Artificial.
3. Delft3D. 4. Balneário Camboriú. I. Toldo Jr.,
Elírio Ernestino, orient. II. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho como uma singela homenagem a quem dedicou sua vida para
seus filhos, minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Junior, por aceitar me orientar durante a realização deste projeto, mesmo com as adversidades e orientação à distância, possibilitando a conquista do meu título de mestre.

Às empresas Acquadinâmica Modelagem e Análise de Risco Ambiental, Acquaplan Tecnologia e Consultoria Ambiental e Mar Tethys Levantamentos Oceanográficos e Estudos Ambientais, agradeço por permitirem a utilização dos dados obtidos para a realização do projeto de modelagem, bem como a publicação dos resultados como tema desta dissertação.

Agradeço Thadeu e Thelma por toda a confiança em mim depositada e compreensão no período de finalização e entrega da dissertação. Também os agradeço juntamente à Marina e ao Daniel pelas trocas de experiências e coleguismo que temos no ambiente de trabalho, além dos divertidos momentos de descontração.

Amigos, obrigada por estarem sempre por perto, por me fazerem sentir uma pessoa especial e abençoada por ter vocês presentes na minha vida.

Minha mãe, como sempre serei eternamente grata ao amor incondicional, compreensão, carinho, amizade e apoio que me ofereces. Tentarei por todos os dias da minha vida retribuí-la à altura e enchê-la de orgulho pelas minhas conquistas, que também são tuas.

Meus queridos irmãos e cunhadas agradecerei sempre por possibilitarem o excelente relacionamento de amizade e companheirismo que temos e por toda a ajuda que sempre me ofereceram.

Por fim e principalmente, agradeço à pessoa que esteve ao meu lado durante todas as etapas desta conquista, incansavelmente, oferecendo-me ajuda, conforto, carinho, diversão e consolo quando mais precisei, Gabriel. Muito obrigada pela compreensão e suporte de sempre e acima de tudo pelo amor e admiração que sabes que são recíprocos.

RESUMO

Desde 1960, a cidade de Balneário Camboriú, localizada no litoral centro-norte do estado de Santa Catarina, vem sofrendo intensa urbanização de forma não planejada, resultando em problemas que apresentam um impacto negativo ao turismo, principalmente relacionados à superlotação no verão e ao sombreamento da praia no período da tarde, devido à grande quantidade de edifícios altos na beira mar. Buscando ampliar o espaço físico da orla, a Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú está desenvolvendo o projeto de alimentação artificial da Praia Central do município, que prevê uma nova largura da faixa de areia de 100 m. Este trabalho descreve, através da análise dos processos físicos, os possíveis impactos advindos da implementação da obra de aterro hidráulico, utilizando o modelo numérico Delft3D. O trabalho de investigação foi separado em três tópicos: (1) propagação de ondas, (2) processos hidrodinâmicos e (3) variações morfológicas, em dois cenários: atual e posterior à alimentação artificial. Os resultados da modelagem de propagação de ondas demonstraram maior energia na porção norte da enseada, sendo a porção sul mais abrigada. Comparando os cenários observa-se uma diminuição na energia de onda em águas rasas devido à nova configuração da costa, principalmente na porção norte da enseada. Os resultados do modelo hidrodinâmico, mostraram que posteriormente a alimentação da praia, as correntes sofrem intensificação na nova zona de arrebentação de ondas, a qual se desenvolverá numa região em que, no cenário atual, as velocidades das correntes litorâneas são muito baixas. A análise dos potenciais impactos na morfologia litorânea demonstrou que as variações morfológicas ocorrerão devido à reorganização do ambiente diante da nova configuração batimétrica da enseada, sendo que a formação dos bancos longitudinais se deslocará em direção ao mar. Não foram observadas áreas de erosão entre o cenário atual e o cenário futuro, demonstrando que a enseada deverá se comportar como um sistema fechado. De modo geral a modelagem numérica demonstrou que os processos futuros reproduzirão aqueles que ocorrem no cenário atual, porém, estarão mais afastados, a cerca de 100 metros à frente, em direção ao mar.

Palavras-Chave: Modelagem Numérica, Delft3D, Alimentação Artificial, Balneário Camboriú.

ABSTRACT

Since 1960, Balneário Camboriú, located on the north-central coast of Santa Catarina, Brazil, has been suffering from an unplanned intense urbanization, resulting in negative impacts on tourism, mainly related to overcrowding during the summer and shading on the beach in the afternoon due to lots of tall buildings in the seafront. Aiming to enlarge the area available for recreational beach use, the city government of Balneário Camboriú is developing the nourishment project of the city's Central Beach, which provides a new sand stretch width of 100 m. This paper describes, through the analysis of physical processes, the possible impacts of the nourishment, using the numerical model Delft3D. The analysis distinguishes three steps: (1) wave propagation, (2) hydrodynamic processes, and (3) morphological variations, in two different scenarios: before and after the beach nourishment. The results of the wave propagation modeling shows the occurrence of greater energy in the northern portion of the bay, with a more sheltered southern portion. Comparing the scenarios it is observed a decrease in wave energy in shallow water due to the new configuration of the coast, especially in the northern part of the bay. Results from the hydrodynamic model indicate that after the beach nourishment the currents are intensified in the new waves surf zone, which will be developed in a region where, in the present scenario, the alongshore currents velocities are very low. The analysis of the potential impacts on coastal morphology showed that morphological changes will occur due to the reorganization of the place because of the new bay bathymetric configuration, since the longitudinal banks formation will move towards the sea. No erosion areas between the present and future scenario were observed, proving that the bay shall behave as a closed system. Overall the numerical modeling showed that future processes will reproduce those that occur in the present scenario, however the process will occur about 100 meters ahead, towards the sea.

Key Words: Numerical Model, Delft3D, Nourishment, Balneário Camboriú.

SUMÁRIO

Sobre a Estrutura desta Dissertação	10
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 Área de Estudo	14
1.2.1 Clima de Ondas.....	15
1.2.2 Marés.....	19
1.2.3 Correntes Atuantes na Enseada de Balneário Camboriú	19
1.2.4 Clima	20
1.2.5 Sedimentologia	20
1.2.6 Características Morfológicas	21
1.2.7 Motivações para a Alimentação Artificial da Praia Central de Balneário Camboriú	22
1.3 Alimentação Artificial de Praias.....	25
1.3.1 Métodos de implementação da alimentação artificial	26
1.3.2 Métodos de projeto	26
1.3.3 Projeto de alimentação artificial de Balneário Camboriú	32
1.4 Modelo Numérico Delft3D	35
1.4.1 Módulo Delft3D-FLOW	36
1.4.2 Módulos Delft3D-MOR e Delft3D-SED	39
1.4.3 Módulo Delft3D-WAVE	42
1.5 Referências	43
CAPÍTULO 2 – CORPO PRINCIPAL	47
ABSTRACT	48
1. INTRODUCTION	49
1.1 Study Area	50
1.2 Beach Nourishment Project.....	52
2. METHODS.....	53
2.1 Numerical Model Delft3D	53
2.2 Grids and Bathymetry.....	54
2.3 Model Input Data.....	55

2.3.1	River Discharge	55
2.3.2	Tidal Data	55
2.3.3	Wave Data	56
2.3.4	Numerical Model Calibration and Validation	58
2.3.5	Modeled Scenarios	59
3.	RESULTS	59
3.1	Beach nourishment effects in wave propagation	59
3.2	Beach nourishment effects in hydrodynamics	62
3.3	Beach-nourishment effects on the coastal morphology	65
4.	DISCUSSION	66
5.	CONCLUSIONS	67
6.	LITERATURE CITED	68
	CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	ANEXO 1 – Carta de Submissão do Artigo	73

Sobre a Estrutura desta Dissertação:

A presente dissertação está estruturada na forma de integração de artigo científico, de acordo com a norma 103 do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul PPGGEO-UFRGS.

O artigo foi submetido à publicação em periódico composto de corpo editorial independente, desta forma os resultados, análises e discussões desta pesquisa são apresentados diretamente no artigo escrito pela autora durante o desenvolvimento do mestrado. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

O Capítulo 1 refere-se à introdução sobre o tema da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e o estado da arte sobre o tema de pesquisa.

O Capítulo 2 refere-se ao corpo principal da dissertação, apresentando o artigo “Beach nourishment predicting impacts at an embayed beach”, submetido ao periódico Journal of Coastal Research – JCR.

No Capítulo 3 são apresentadas as considerações finais referentes a presente dissertação.

No Anexo 1 é apresentada a carta de confirmação de recebimento do artigo pelo periódico Journal of Coastal Research – JCR.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

Praias arenosas são consideradas ambientes altamente dinâmicos, sujeitos a alterações morfológicas em curtos intervalos de tempo, decorrentes de variações nas condições energéticas atuantes na região (Komar, 1976; Wright & Short, 1984). Do ponto de vista socioeconômico, as praias representam importantes áreas recreacionais em torno das quais se desenvolvem cidades, balneários, atividades turísticas, comerciais e industriais. São muitas as cidades litorâneas cuja economia é baseada no turismo das praias e por estes motivos vêm recebendo os efeitos do crescimento demográfico, os quais resultam em praias cada vez mais lotadas, na proliferação de condomínios litorâneos e outras construções à beira mar e no aumento do uso de obras de engenharia costeira tradicional (Hoeffel, 1998).

Neste contexto insere-se a praia de Balneário Camboriú, localizada no litoral centro-norte do estado de Santa Catarina, onde o turismo relacionado às praias é a principal atividade econômica. Desde 1960, a cidade vem sofrendo intensa urbanização, porém de forma não planejada, resultando em diversos problemas ambientais (Temme et al., 1997). O grande desenvolvimento da cidade não foi conduzido de forma ordenada, nomeadamente na faixa costeira, com a construção de vias e edificações, sem respeitar os limites do sistema praial, acarretando problemas aos residentes e frequentadores (Beaumord & Diehl, 2006; Polette & Raucci, 2003). Problemas como a superlotação no verão e o total sombreamento da praia no período da tarde, devido à grande quantidade de edifícios altos na beira mar, apresentam um impacto negativo ao turismo (Menezes, 2008).

Em virtude destes problemas, a Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú está desenvolvendo o projeto de alimentação artificial da Praia Central do município, analisado pelo presente estudo. Esse projeto, com previsão de execução para o ano de 2015, tem por objetivo conter possíveis problemas erosivos, bem como alargar a faixa de areia para 100 metros, ampliando o espaço físico da área de lazer desenvolvendo assim o setor do turismo.

Obras de alimentação artificial de praias geralmente são aplicadas como forma de conter a erosão, porém uma aplicação relativamente nova desta técnica está relacionada ao aumento da faixa de areia com propósitos de recreação. Contudo, estas obras podem provocar alterações nos padrões hidrodinâmicos e, conseqüentemente, no transporte de sedimentos, causando transformações na morfodinâmica do local.

Modelos numéricos podem ser utilizados como ferramentas para o conhecimento da dinâmica costeira anterior e posteriormente a implementação de obras, sendo fundamental para trabalhos de engenharia costeira, de forma a prever futuras consequências e possibilitar o possível planejamento de medidas mitigadoras.

Este diagnóstico apresenta o estudo de modelagem numérica que tem por objetivo analisar os possíveis impactos advindos da alimentação artificial prevista para ser realizada na praia central de Balneário Camboriú. Para atingir o referido objetivo, foi empregado o modelo numérico Delft3D para o estudo dos processos hidrodinâmicos, propagação de ondas e mudanças morfológicas na região da praia central, em um cenário atual e, também, em um cenário futuro, posterior à alimentação artificial.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de modelagem numérica de processos costeiros (ondas, correntes, transporte de sedimentos e erosão-sedimentação) no intuito de avaliar o desempenho do projeto de alimentação artificial proposto para a Praia Central de Balneário Camboriú e seus respectivos impactos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Gerar dados de ondas em águas rasas, a partir de dados de ondas em águas profundas, com duração de 10 anos, para possibilitar a caracterização do clima de ondas na área de estudo e fornecer dados para as simulações de modelagem numérica.
- Simular e descrever a distribuição e comportamento do campo de ondas, correntes e padrões de transporte de sedimentos da Praia Central de Balneário Camboriú, em cenário atual (pré-alimentação artificial da praia).
- Realizar simulações em condição de cenário futuro (pós-alimentação artificial da praia) a fim de comparação e avaliação de possíveis alterações no campo de ondas, correntes e padrões de transporte de sedimentos, decorrentes da execução da obra de engenharia costeira proposta.

1.2 Área de Estudo

A Praia Central de Balneário Camboriú (Figura 1) está localizada no litoral centro-norte de Santa Catarina, distante 85 km da capital do estado, Florianópolis. Segundo Pezzuto et al. (2006), possui 5.840 m de extensão, largura média de 17 m e orientação NW-SE. A enseada é delimitada por dois promontórios rochosos, a Ponta das Laranjeiras ao sul, separando-a da Praia das Laranjeiras e a Ponta da Preguiça ao norte, fazendo divisa com a Praia dos Amores.

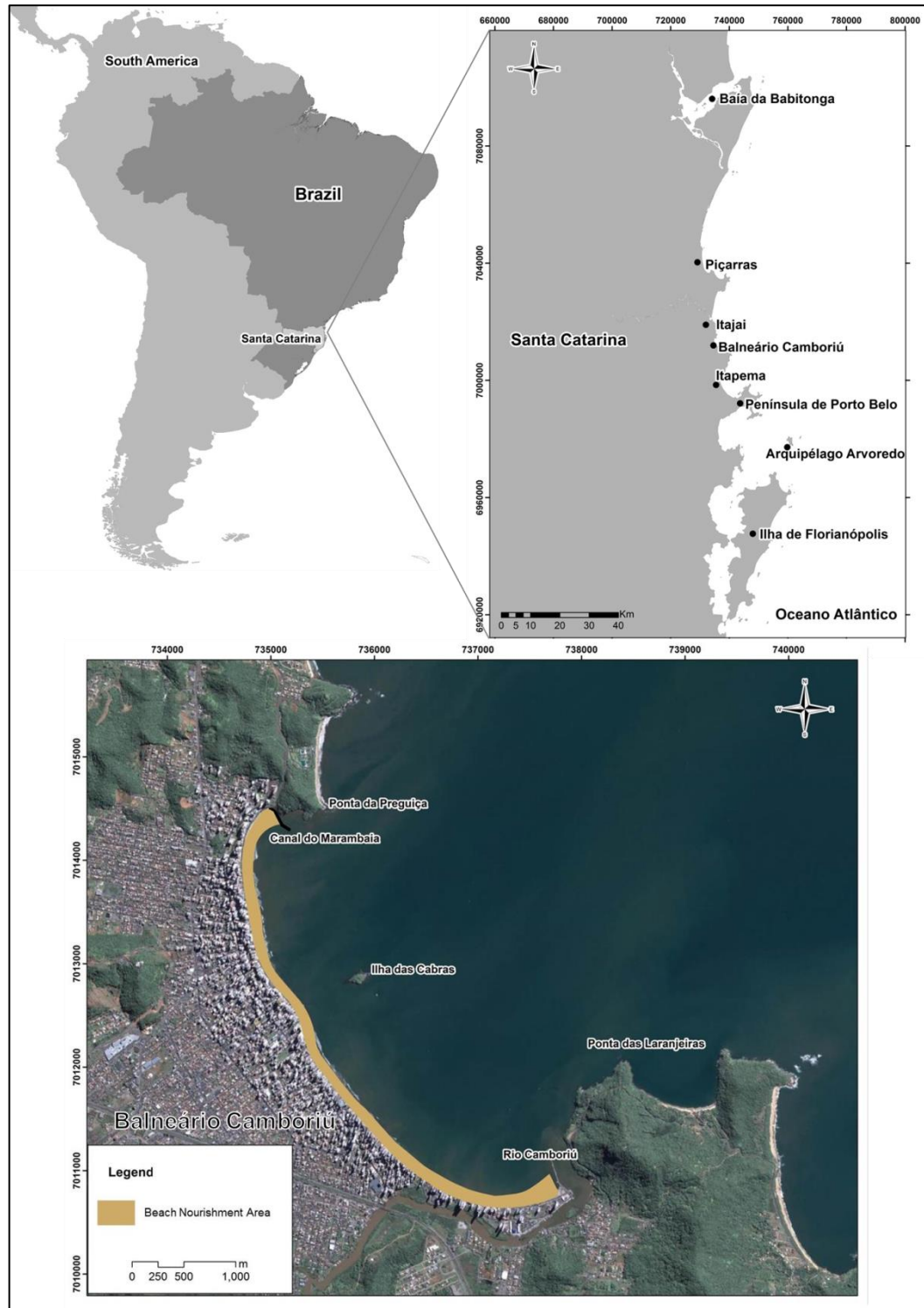


Figura 1. Localização da área de estudo com detalhe na faixa de alimentação artificial da Praia Central de Balneário Camboriú.

Apresenta uma forma de arco, com uma pequena ilha (Ilha das Cabras) em sua porção central, a cerca de 400 m da costa. Apesar do seu tamanho reduzido, desempenha um papel importante na distribuição de sedimentos na enseada, sendo que uma saliência é formada atrás da ilha (Bruijn et al., 2004).

Observa-se a presença das desembocaduras de duas drenagens litorâneas na enseada, o canal do Marambaia no extremo norte e o rio Camboriú na porção sul (Temme et al., 1997). O Canal do Marambaia não está associado a uma bacia de drenagem litorânea, sendo utilizado para despejo de dejetos orgânicos e despejo de águas pluviais (Schettini et al., 1996; Pezzuto et al., 2006; Menezes, 2008), desta forma o mesmo não contribui com o escoamento de sedimentos e não influencia as correntes litorâneas locais. Já o rio Camboriú apresenta extensão de aproximadamente 40 km, drena uma bacia de aproximadamente 200 km² (Siegle, 1999), com vazão média calculada de 3,0 m³/s (Silva & Schettini, 1997) e é utilizado como via de acesso a atracadouros e marinas localizados próximos a sua foz, sendo necessária a manutenção do canal desobstruído para a entrada das embarcações (INPH, 2000).

Junto à desembocadura do rio Camboriú, no ano de 2004, foi construído um molhe extenso, com 451 m (Menezes, 2008), objetivando bloquear a entrada de sedimentos no canal, manter o canal de navegação e impedir que possível água de esgoto despejada no rio adentre a área de banho da enseada (INPH, 2000).

1.2.1 Clima de Ondas

O clima de ondas na região sul do Brasil está condicionado ao padrão de ventos do Atlântico Sul, relacionados à posição dos centros de baixa e alta pressão. Este padrão é bastante complexo e variável, ocasionando a geração de ondas de todas as direções ao longo do ano (Gobbi, 1997).

O estudo de Araújo et al. (2003), apresenta uma descrição estatística das condições de ondas na costa do sul do Brasil a partir de uma série temporal de um ano de dados aquisitados com um ondógrafo direcional posicionado a 35 km da costa da Ilha de Santa Catarina, a uma profundidade de 80 metros. O ponto de observação localiza-se a sudeste de Balneário Camboriú, porém ao longo da isóbata de 80 metros não há obstáculos rígidos significativos no trecho entre o ponto de observação e a posição ao largo da Praia Central de Balneário Camboriú. Desta forma, os resultados apresentados descrevem de forma satisfatória o padrão das ondas que chegam até o litoral de Balneário Camboriú.

Com relação à altura significativa de onda (H_s), os resultados para os meses de primavera e verão são semelhantes, com valor modal de 1,25 m. No outono o valor modal de H_s é 1,5 m e no inverno há maior distribuição de H_s , variando entre 1,25 a 2,5 m. Em todas as estações são observados eventos com H_s maiores que 4 metros. O inverno é a estação de maior energia e o verão de menor energia. Como demonstrado na Tabela 1, no inverno maiores valores de média e desvio padrão ocorrem devido aos ventos mais intensos e maior número de passagens de frentes frias.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão da altura significativa (H_s) para cada estação do ano. Modificado de Araújo et al. (2003).

Estação	H_s Média(m)	Desvio Padrão (m)
Primavera	1,57	0,51
Verão	1,46	0,50
Outono	1,67	0,49
Inverno	1,96	0,67

Os resultados descritos por Araújo et al. (2003) demonstram a existência de espectros de ondas multi-modais, principalmente nas estações de verão e inverno. Essa condição significa a presença simultânea de ondas com períodos maiores (marulhos) e de ondas com períodos menores (vagas), o que se justifica por ser uma região localizada em latitude subtropical, sujeita a ação frequente de sistemas frontais na geração de ondas.

Na primavera, vagas de leste são dominantes. No verão observa-se a ocorrência de vagas de leste e marulhos de sul. No outono os marulhos de sul são predominantes, porém também ocorrem vagas de leste. No inverno os marulhos de sul prevalecem sobre as vagas de leste. Os valores mais frequentes de altura significativa (H_s), período (T_p) e direção (Dir) em cada estação estão representados na Tabela 2. De forma geral, os principais regimes de onda são: (1) vagas de leste, com período de 8s e H_s média de 1,25m e (2) marulhos de sul, com períodos de 12s e H_s aumentando do verão para o inverno.

Tabela 2. Estados de mar típicos das estações do ano. Modificado de Araújo et al. (2003).

Estação	Vagas			Marulhos		
	Dir	T_p (s)	H_s (m)	Dir	T_p (s)	H_s (m)
Primavera	E	8	1,25	---	---	---
Verão	E	8	1,25	S	11-12	1,25
Outono	---	---	---	S	12	1,5-1,75
Inverno	E	8-9	1,25	S	12	1,75-2,0

As características das ondas são um reflexo do padrão de circulação atmosférico do Oceano Atlântico Sul (Araújo et al., 2003), onde se verifica a presença constante do Sistema Semi-Permanente de Alta Pressão do Atlântico Sul, e também, a ocorrência contínua e frequente de Sistemas Frontais Polares, geradores das chamadas frentes frias, que influenciam de forma efetiva os ventos ocorrentes e, como consequência, as ondas. (Alves & Melo, 2001).

De acordo com estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Hidrográficas (INPH, 2000), na Praia Central de Balneário Camboriú observa-se o efeito dominante de ondas de NE e E. As ondulações de SSE chegam com menor altura de ondas à região centro-norte de Santa Catarina, uma vez que esta região se encontra sombreada pela Ilha de Santa Catarina, pelo arquipélago de Arvoredo e pela Península de Porto Belo. A enseada de Balneário Camboriú, por ser semi-protegida, recebe ondas com redução ainda maior de H_s , em função da difração que ocorre na Ponta das Laranjeiras. Pode-se acrescentar que a energia das ondas é maior na porção norte da enseada, devido a maior exposição à energia das ondas vindas do quadrante sul e sudeste em comparação à porção sul da praia, protegida pela Ponta das Laranjeiras (Temme et al., 1997; Klein & Menezes, 2001; Klein et al., 2002; Menezes, 2008; Klein et al., 2010)

Em 1999 o INPH realizou uma campanha de medições de ondas em Balneário Camboriú, utilizando o aparelho S4, fabricado pela InterOcean (INPH, 2000). O aparelho foi fundeado na linha batimétrica de 11 metros, a 1 metro do fundo, na posição ilustrada na Figura 2. Foram registrados 20 minutos de ondas a cada 3 horas, durante o período de 26/10/99 até 08/11/99.

A análise dos registros de ondas forneceu os dados apresentados na Tabela 3, na qual são mostradas as alturas máximas das ondas ($H_{m\acute{a}x}$), as alturas significativas das ondas (H_s), o período médio das ondas (T_z), o período de pico das ondas (T_p), a direção das ondas em graus e a relação entre $H_{m\acute{a}x}$ e H_s . A rosa das alturas significativas das ondas, medidas durante os 14 dias de operação do S4, é apresentada na Figura 3.

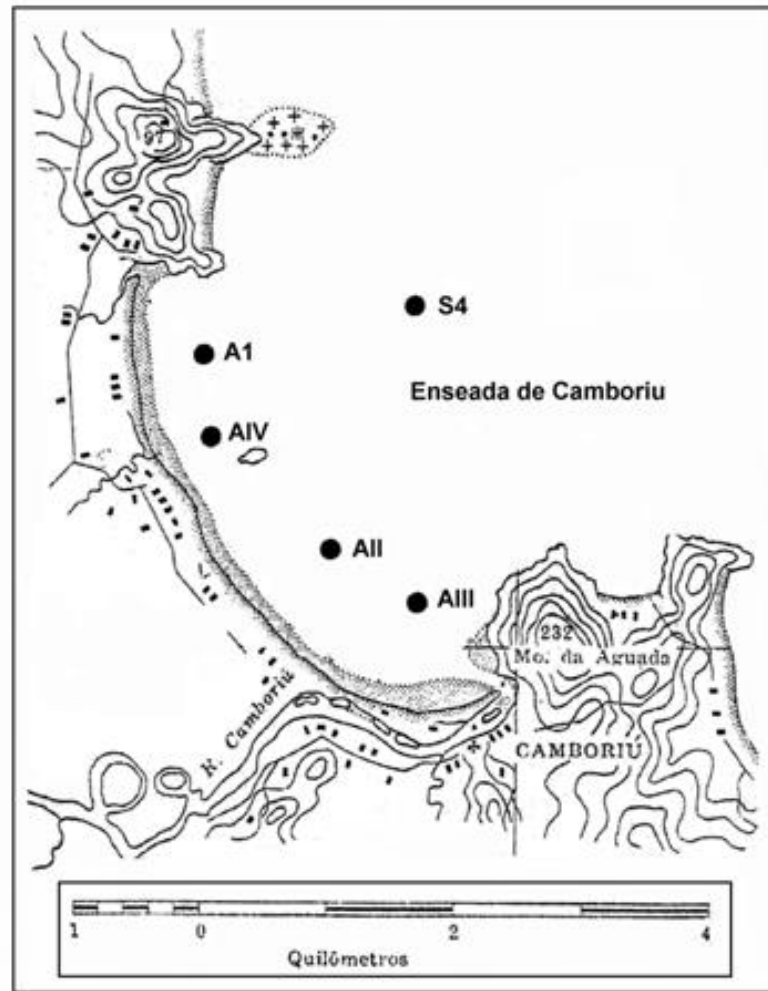


Figura 2. Localização dos aparelhos utilizados para medição de dados (INPH, 2000).

Tabela 3. Dados de ondas medidos em Balneário Camboriú. Período das medições: 26/10/1999 a 08/11/1999 (INPH, 2000).

Parâmetro	Hmáx(m)	Hs(m)	Tz(s)	Tp(s)	Dir(°)	Hmáx/Hs
Mínima	0,80	0,59	5,43	4,41	59	1,27
Média	1,92	1,26	6,86	8,12	79	1,53
Máxima	3,45	2,15	8,48	9,85	95	2,05

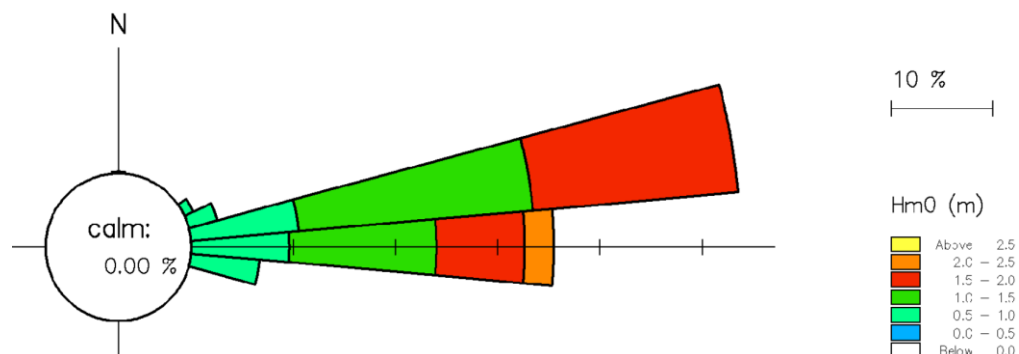


Figura 3. Rosa das alturas significativas das ondas. Período das medições: 26/10/1999 a 08/11/1999 (INPH, 2000).

1.2.2 Marés

A maré no Estado de Santa Catarina é constituída por micro-marés semidiurnas, com desigualdades de 0,8 a 1,2 metros, podendo ser influenciada por marés meteorológicas que ocasionam uma elevação de até 1 metro em relação ao nível médio relativo do mar (Schettini et al., 1996; Truccolo, 1998).

Para Balneário Camboriú, os níveis d'água medidos pelo INPH em 1999 (INPH, 2000) com o aparelho S4 durante o período de 26/10/99 até 08/11/99, foram de 1,16m, -0,49m e 0,19m, respectivamente para máximo, mínimo e médio, em relação ao nível de redução da DHN do Porto de Itajaí, envolvendo todas as componentes das marés meteorológicas e astronômica.

A influência da maré na enseada não é muito grande, uma vez que a sua amplitude é pequena e as correntes induzidas podem ser negligenciadas. Apenas no extremo sul da enseada, onde as alturas de onda são pequenas, a maré é mais importante. A influência meteorológica no nível do mar é muito importante, uma vez que a praia tem uma inclinação muito suave, portanto entre a maré alta e baixa a largura da praia muda significativamente. Na maré alta, a praia é bastante estreita (cerca de 10 m) (Bruijn et al., 2004).

1.2.3 Correntes Atuantes na Enseada de Balneário Camboriú

Em estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Hidrográficas na Praia Central de Balneário Camboriú (INPH, 2000), foram descritas as medições de correntes realizadas com o aparelho S4, fundeado na linha batimétrica de 11 metros, a 1 metro do fundo (Figura 2) com registros realizados durante o período de 26/10/99 até 08/11/99. A velocidade média de correntes marítimas na enseada foi de 7,32 cm/s e direção média de 345,4° em relação ao norte verdadeiro. A rosa de correntes relativa às medições com o S4 está apresentada na Figura 4. Além deste, foram também posicionados 4 aparelhos S4 (AI, AII, AIII, AIV) para a medição de correntes. Estes equipamentos foram posicionados em região mais próxima da costa, à linha batimétrica de 5 metros. A partir destes dados foi possível analisar que em cerca de 60% das observações as correntes ocorreram no sentido dos quadrantes WNW a NNE. Cerca de 75% das velocidades se concentraram abaixo de 10 cm/s e a máxima foi de 30,4 cm/s na direção de 29 graus.

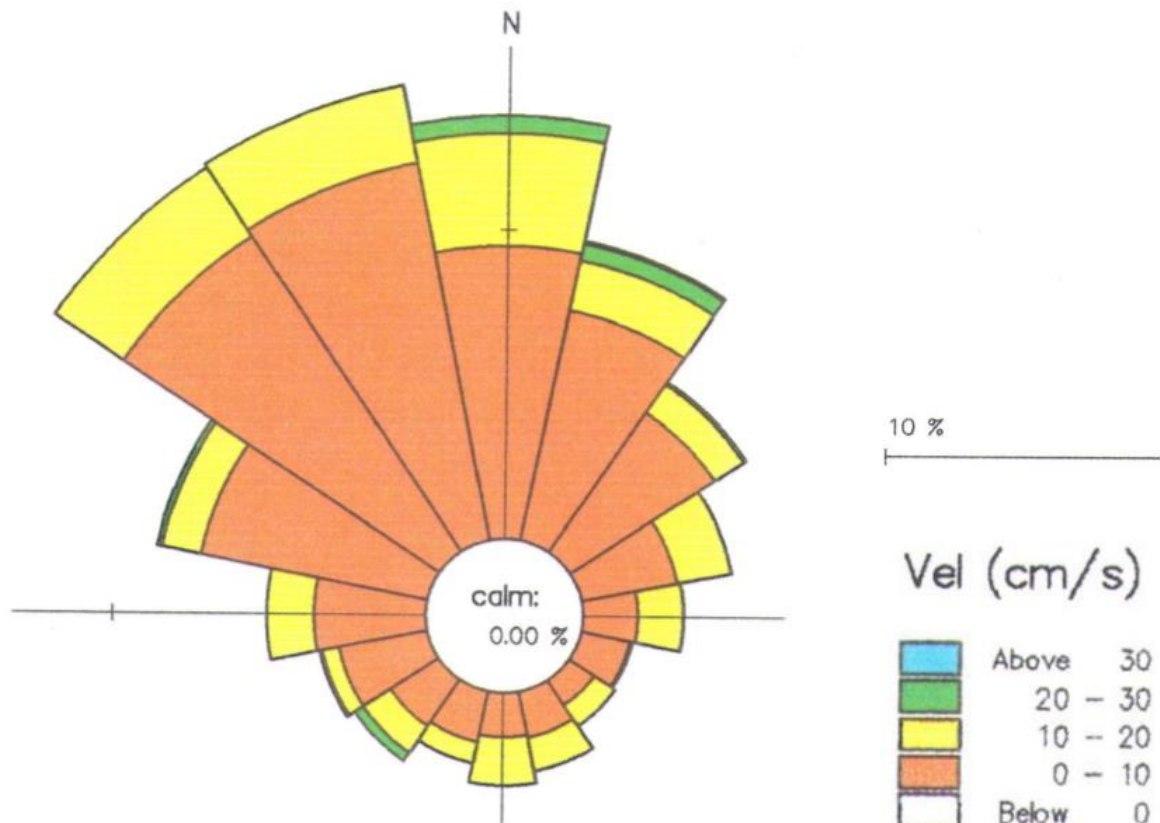


Figura 4. Rosa de correntes relativa às medições com o S4 (INPH, 2000).

1.2.4 Clima

A circulação atmosférica em Santa Catarina é dominada por um sistema semifixo de alta pressão, o Anticiclone do Atlântico Sul, que apresenta direção predominante do vento de nordeste com velocidade média anual de 5m/s. Principalmente durante o inverno, o sistema é caracterizado pela ocorrência de ventos de direção sul associados a frentes frias originadas do Anticiclone Móvel Polar e as velocidades atingem 8m/s. Com a chegada de mais frentes frias, a ocorrência de tempestades e de marés meteorológicas é mais comum (Truccolo, 1998). Devido a sua orientação de NW-SE, a Praia Central de Balneário Camboriú é exposta principalmente aos ventos do nordeste (Bruijn et al., 2004).

1.2.5 Sedimentologia

Em estudo apresentado por INPH (2000), foram analisadas 38 amostras de sedimentos coletadas ao longo da enseada, podendo-se observar que o diâmetro médio de grão de toda a área estudada é menor que 0,20 mm e que não há uma diferença perceptível entre o tamanho de grão da praia de norte ao sul. Porém, estudos mais recentes (Bruijn et al., 2004) demonstram tamanho médio de grão próximo de 0,16 mm no norte, 0,14 mm no meio e valores mais baixos no sul, próximos de 0,10 mm, o que se justifica uma vez que a região sul recebe maior

quantidade de sedimentos finos oriundos do rio Camboriú. Segundo Temme et al. (1997), o ambiente é composto por areia fina a muito fina, com diâmetro médio de grão entre 0,1 mm e 0,2 mm.

Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos sedimentológicos realizados por Menezes (2008), onde o autor descreve que a Praia Central de Balneário Camboriú é composta por sedimentos de tamanho de areia fina a muito fina, bem a moderadamente classificados, não apresentando modificação significativa para quase totalidade da praia, exceto na porção sul da praia. Segundo o autor, estas variações texturais coincidem com o início da obra de alimentação artificial realizada no extremo sul da praia a partir de 2002, para o alargamento da faixa de areia. Os sedimentos utilizados na alimentação são provenientes do leito e desembocadura do rio Camboriú, os quais apresentam porcentagens elevadas de sedimentos finos.

De acordo com (Bruijn et al., 2004), a influência das áreas adjacentes na enseada pode ser negligenciada, pois não há transporte de sedimentos através dos promontórios, tanto no lado sul quanto norte, portanto pode ser considerada como um sistema fechado.

1.2.6 Características Morfológicas

Quanto à classificação morfodinâmica a Praia Central de Balneário Camboriú é considerada uma praia dissipativa semi-exposta (Klein & Menezes, 2001; Klein et al., 2005; Silveira et al., 2011; Bruijn et al., 2004), sendo que a zona de surfe varia de 5 a 100 m, sendo mais larga na porção norte da praia, com declividade de 0,85 a 2,80° (Menezes, 2008).

De acordo com o seu parâmetro relativo de maré (RTR) no valor de 1,66 é classificada como predominantemente dominada por ondas. No entanto, na porção sul da praia a maré exerce maior influência em comparação ao restante da enseada, portanto esta porção pode ser classificada como modificada por maré (Bruijn et al., 2004).

A parte central da praia é constituída de cúspides praias de 15 a 20 metros, sendo estas feições resultado da presença da Ilha das Cabras, que diminui a energia das ondas (Menezes, 2008). Tanto ondas de quebra mergulhante quanto deslizando podem ocorrer na enseada (Bruijn et al., 2004).

Quanto à sua estabilidade em planta, Klein et al., (2003) definiram que a parte norte e a sul da enseada estão em equilíbrio dinâmico, enquanto que a porção central está em equilíbrio estático. De acordo com Menezes (2008), a região central

da praia encontra-se em equilíbrio estático, mostrando que a praia já adquiriu sua estabilidade nesta região, devido à proteção pelo efeito de sombra exercida pela Ilha das Cabras sobre a praia adjacente e no restante encontra-se em equilíbrio dinâmico, sendo que a porção norte sofre processos erosivos e deposicionais episódicos, enquanto que o extremo oposto apresenta processos erosivos pela ausência de aporte de sedimentos arenosos através do rio Camboriú, após a construção de uma barragem neste rio nos anos 50.

A profundidade de fechamento diminui de 4 m na porção norte da enseada a 1,7 m porção sul, corroborando com o fato da maior energia de ondas na porção norte contribuir para um maior transporte sedimentos para as regiões mais profundas do perfil (Menezes, 2008).

O cálculo do balanço de sedimentos arenosos demonstrou que a enseada de Balneário Camboriú comporta-se como um sistema fechado, em equilíbrio, não havendo trocas de sedimentos consideráveis entre ela e os sistemas costeiros adjacentes, como o rio Camboriú, Canal do Marambaia e o continente (Menezes, 2008).

1.2.7 Motivações para a Alimentação Artificial da Praia Central de Balneário Camboriú

A economia de Balneário Camboriú é altamente dependente do turismo e a praia é a sua principal atração turística. No entanto, a cidade está enfrentando alguns problemas relativos à praia, tais como:

- **Superlotação da praia:**

No verão há um grande incremento populacional em Balneário Camboriú. De acordo com censo demográfico realizado pelo IBGE em 2010, a população fixa da cidade é de 108.089 habitantes, porém turistas de todo o Brasil e de países vizinhos se deslocam a esta região durante o verão, aumentando este número consideravelmente, para cerca de 1 milhão de habitantes (Beaumord & Diehl, 2006; Polette & Raucci, 2003).

Desta forma, o espaço físico limitado que esta praia com faixa de areia estreita apresenta é superlotado durante estes eventos de incremento populacional, como pode ser observado na Figura 5.



Figura 5. Superlotação da Praia Central de Balneário Camboriú durante o verão, período em que a cidade recebe turistas de todo o país e de países vizinhos (Foto: Jaime Batista da Silva).

- **Sombreamento:**

No período da tarde (dependendo da época entre aproximadamente 15:00 e 16:30 horas), ocorre o total sombreamento da praia devido à grande quantidade de edifícios altos ao longo de toda a beira mar, bloqueando a luz do sol a partir do norte até o oeste, como pode ser observado na Figura 6.



Figura 6. Sombreamento na praia causada pelos altos prédios construídos na beira-mar (Foto: Caio Cezar Nascimento).

- **Processos erosivos:**

Ao sul da enseada de Balneário Camboriú observam-se alguns pontos de erosão, que ocorrem nos chamados hotspots (Bruijn et al., 2004). A razão exata para essa erosão não é conhecida, mas algumas causas possíveis são sugeridas, tais como uma ligeira redução da disponibilidade de sedimentos vindos do rio Camboriú, devido à construção de uma barragem a montante na década de 1970; a divisão das correntes sobre os hotspots; e uma mudança nas ondas incidentes, devido a variações meteorológicas.

- **Variação na largura da praia**

A influência meteorológica na Praia Central de Balneário Camboriú é importante, uma vez que a praia tem uma inclinação muito suave, portanto entre a maré alta e baixa a largura da praia muda significativamente. Na maré alta, com a ocorrência de maré meteorológica a praia é bastante estreita (cerca de 10 m) (Bruijn et al., 2004), podendo até mesmo avançar pela praia, atingindo o calçadão e a avenida beira mar.



Figura 7. Influência de eventos de maré meteorológica na Praia Central de Balneário Camboriú, com o mar avançando sobre o calçadão e avenida beira mar (Foto: Marcos Porto).

- **Engarrafamentos no trânsito**

No período do verão, há enormes engarrafamentos na avenida ao longo da praia e nas ruas adjacentes, o que têm um impacto negativo sobre o apelo da cidade para os turistas.

Em virtude destes problemas, que fazem da cidade menos atrativa para os turistas, a Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú está desenvolvendo o projeto de alimentação artificial da Praia Central do município, analisado pelo presente estudo. Esse projeto, com previsão de execução para o ano de 2015, tem por objetivo conter possíveis problemas erosivos, bem como alargar a faixa de areia para 100 metros, ampliando o espaço físico da área de lazer desenvolvendo assim o setor do turismo. Desta forma, a praia será relativamente menos lotada durante o verão e, ao contrário da situação atual, não vai se tornar totalmente sombreada à tarde. Além disso, após a conclusão da obra, o município pretende ampliar avenida beira mar, o que deverá diminuir os problemas de engarrafamento na avenida.

1.3 Alimentação Artificial de Praias

A alimentação artificial consiste na adição de sedimento adequado, extraído de uma área de empréstimo, para restaurar ou aumentar a faixa de areia de uma praia e é a técnica menos intrusiva dentre as opções de obras de engenharia costeira (Dean, 2002; Dean & Dalrymple, 2004; Alfredini, 2005).

O alargamento da faixa de areia, através das obras de alimentação artificial, é utilizado para atender vários objetivos e funções, tais como (Dean & Dalrymple, 2004; Alfredini, 2005):

- Construir uma área de lazer adicional, aumentando a área de recreação;
- Aumentar o fator de proteção exercido pela faixa de areia quanto a tempestades (tanto através da redução da energia das ondas perto da costa, quanto da criação de uma praia artificial para ser erodida durante uma tempestade);
 - Fornecer, em alguns casos, habitat para espécies ameaçadas de extinção.
 - Agir sobre o balanço de sedimentos, tornando-o positivo ou nulo, de acordo com o objetivo de ampliação ou estabilização de praia.
 - Restabelecer o transporte longitudinal de sedimento interrompido por obstáculo.

De todas as medidas mitigadoras de erosão de praias, a alimentação artificial é o único método que introduz areia adicional ao sistema, abordando diretamente o déficit de sedimentos. Todas as outras procuram reorganizar a areia existente de maneira a beneficiar uma porção da praia. Desta forma, é a solução mais eficaz, benigna e aceitável para a mitigação da erosão praial, pois irá restaurar

a faixa de areia sem a possibilidade de causar efeitos adversos sobre as porções adjacentes (Capobianco et al, 2002; Dean & Dalrymple, 2004; Alfredini, 2005).

Uma questão importante a ser abordada em projetos de alimentação artificial de praias é a vida útil da obra, principalmente quando aplicada a ambientes que apresentam uma erosão acentuada, pois os processos físicos atuantes na região continuarão agindo, bem como os mecanismos que levam à erosão do ambiente (Dean, 2002). Já nos casos em que a praia não apresenta erosão e a alimentação artificial é empregada com o objetivo de ampliar a área de recreação, não deverá ocorrer grande perda do sedimento depositado, aumentando a vida útil do projeto.

1.3.1 Métodos de implementação da alimentação artificial

Dean (2002) descreve alguns métodos de alimentação artificial de praias, os quais podem ser mecânicos, através do uso de caminhões e esteiras transportadores, ou hidráulicos, através de dragagens.

- Alimentação artificial por dragagem: estima-se que no mínimo 95% dos projetos existentes tenham sido feitos utilizando este método. O sedimento é retirado de uma jazida (área doadora) utilizando-se uma draga, que leva e ou bombeia o sedimento até a praia a ser alimentada. Este método apresenta custo por m³ relativamente baixo, é normalmente utilizado em obras de grande escala e possibilita o uso de uma jazida até 20 km distante da obra em questão.

- Alimentação artificial por caminhão: o sedimento é transportado da jazida até a praia através de caminhões. A jazida deve se localizar no continente e devido à baixa capacidade de carga de um caminhão, obras de grande porte são inviáveis, sendo este método limitado à alimentação de pequenas áreas.

- Alimentação artificial por esteira transportadora: é um meio eficiente e barato de retirar o sedimento da jazida e depositar na praia a ser alimentada. Porém, a jazida deve ser muito próxima à área de depósito, sendo este o principal fator de limitação deste método, além disto, o transporte de grandes volumes é inviável.

1.3.2 Métodos de projeto

Mesmo nos dias de hoje, com todas as técnicas modernas, computadores e conhecimento, o sistema de transporte de sedimentos nos oceanos ainda não é perfeitamente claro e as previsões de transporte de sedimentos não são muito precisas. Um bom método de previsão é o método empírico de medição de perfis por alguns anos e extrapolação da tendência para uma situação futura. Para um

projeto de alimentação artificial, deve-se levar em conta uma percentagem adicional de erosão, devido às incertezas do método. Hoje, um dos melhores modelos semi-empíricos para a concepção de um projeto de alimentação de praia é o método de Dean (1977), que se baseia no trabalho empírico de Bruun. Através deste, o volume de areia necessário na alimentação pode ser determinado, com base no diâmetro médio do sedimento e na altura das ondas.

1.3.2.1 Perfil de equilíbrio

O método de Dean (1977) é um modelo de perfil de equilíbrio. Um perfil atinge o seu equilíbrio quando é exposto a condições constantes de onda e nível por um tempo suficientemente longo. No entanto, uma vez que na natureza as condições hidráulicas não são constantes, um perfil de equilíbrio absoluto não existe, portanto o termo "perfil de equilíbrio dinâmico" pode ser usado com uma maior segurança (Bruijn et al., 2004).

Bruun desenvolveu uma equação preditiva para um perfil de equilíbrio estudando praias ao longo da costa norte dinamarquesa e da costa da Califórnia, e propôs uma simples relação entre a profundidade, distância da costa e parâmetro de escala (depende das características do sedimento):

$$h = A \cdot x^{2/3} \quad (1)$$

h	=	profundidade da água [m]
A	=	parâmetro de escala do perfil [$m^{1/3}$]
x	=	distância da costa [m]

A hipótese Bruun foi apoiada e ampliada por Dean e a partir dela, uma relação entre o tamanho de grão e a declividade da praia pode ser obtida. É uma aproximação empírica, baseada na análise de diversos perfis naturais de praias. Bruun descobriu que o parâmetro de escala do perfil depende das características de estabilidade do material do leito, o que foi posteriormente relacionado à granulometria do sedimento, demonstrando que um maior diâmetro médio de grão implica em um valor maior de parâmetro de escala do perfil, portanto em um declive mais acentuado (Tabela 4).

Tabela 4. Declividade da praia em função do diâmetro médio de grão e parâmetro de perfil de escala (Bruijn et al., 2004).

Diâmetro médio (mm)	Parâmetro de escala do perfil - A ($m^{1/3}$)	Declividade
0,20	0,1	1:31
0,19	0,0968	1:33
0,18	0,0936	1:35
0,17	0,0904	1:37
0,16	0,0872	1:39
0,15	0,084	1:41

1.3.2.2 Influência do tamanho de grão no volume e forma da alimentação artificial.

Para obter um perfil de equilíbrio pós-obra similar ao perfil de equilíbrio original, o tamanho de grão tem que ser maior ou igual ao tamanho do grão do sedimento nativo. Granulometrias maiores induzem uma maior declividade no perfil de equilíbrio, enquanto um sedimento mais fino induz a formação de um perfil de equilíbrio com inclinação mais suave (Dean, 2002).

A Figura 8 demonstra diferentes perfis de praias alimentadas artificialmente, onde B é a diferença entre a altura da praia e o nível médio do mar, Δy_0 é a largura da praia emersa, h^* é a profundidade de fechamento, W^* é a distância de referência *offshore* associada à profundidade de quebra da onda (h^* do perfil original), A_N e A_F referem-se, respectivamente ao parâmetro de escala do perfil nativo e o parâmetro de escala do perfil de preenchimento.

Quando o tamanho de grão da área de empréstimo é maior que o da área a ser alimentada ($A_F > A_N$), a nova inclinação será mais acentuada do que a original. O novo perfil se encontra com o perfil original antes da profundidade de fechamento. Se o tamanho de grão do material de preenchimento é igual ou menor do que o material nativo, o novo perfil não intersecta o perfil original. A não intersecção dos perfis também pode ocorrer quando o tamanho de grão do material de preenchimento é maior do que o nativo. Este tipo de perfil estende-se sempre até depois da profundidade de fechamento. O terceiro perfil que pode ocorrer é o perfil submerso, o qual não se estende até a praia emersa e, portanto não fornece uma maior largura de faixa de areia seca. Este tipo de perfil é também não intersecta o perfil original e ocorre quando o material utilizado tem o diâmetro mais fino que o material nativo ($A_F < A_N$) (Dean, 2002; Bruijn et al., 2004).

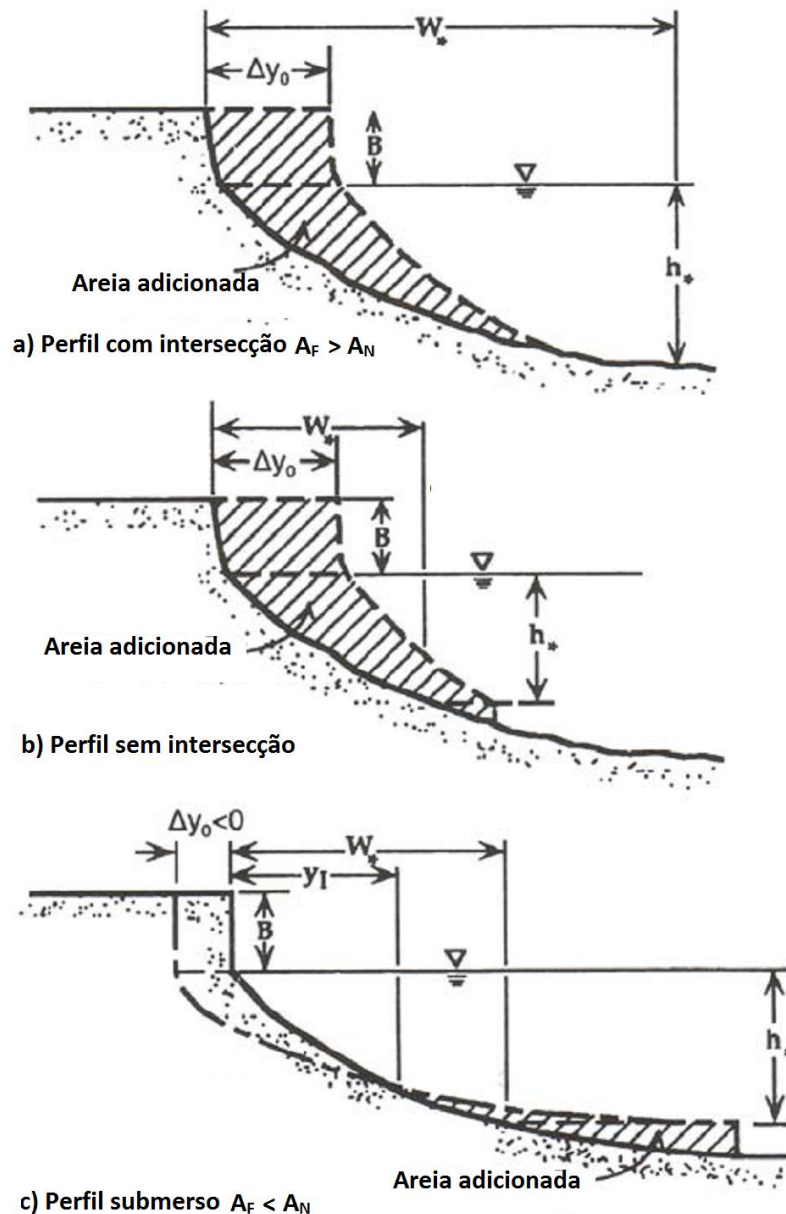


Figura 8. Perfil com intersecção, sem intersecção e submerso (modificado de: Dean, 2002)

1.3.2.3 Profundidade de fechamento

A profundidade de fechamento pode ser definida como a profundidade em que todas as alterações morfológicas podem ser negligenciadas. Se a alimentação artificial for executada até esta profundidade e com uma inclinação similar à inclinação do perfil de equilíbrio, a obra deve se manter estável. Isto significa que não há perdas de sedimento através da costa e que a largura da praia irá se manter ao longo do tempo, se as condições se mantiverem (Bruijn et al., 2004).

Infelizmente, a profundidade de fechamento não tem uma definição inequívoca e precisa. As seguintes considerações sobre a profundidade de fechamento devem ser feitas (Dean, 2002):

- A profundidade de fechamento é dependente do tempo e do espaço e geralmente aumenta com a escala de tempo;

- A profundidade de fechamento é uma fronteira morfodinâmica, e funciona bem como indicador empírico do limite do transporte de sedimento;
- A mudança energia incidente na praia gera mudanças na migração de barras, no perfil e na face da praia. Essas mudanças morfológicas estão diretamente ligadas às mudanças na profundidade de fechamento.
- Até o prazo de um ano a profundidade de fechamento fornece estimativas robustas do limite. Entre as escalas de anos e décadas ela continua a agir como um limite, mas com uma tendência crescente para a superestimação.

A profundidade de fechamento é baseada no parâmetro Shields e é definida por:

$$\frac{\rho v_b^2}{(\rho_s - \rho)gh_*} \approx 0,03 \quad (2)$$

Onde,

- h_* = Profundidade de fechamento [m]
 ρ = Densidade da água [Kg/m³]
 ρ_s = Densidade do sedimento [kg/m³]
 v_b = velocidade de fundo induzida por amplitude de onda [m/s]

1.3.2.4 Volume de preenchimento de praia

A quantidade de areia necessária para o projeto depende de vários parâmetros. O clima de ondas e a relação de tamanho entre a granulometria do sedimento nativo e o de preenchimento são dois exemplos importantes. O clima de ondas tem impacto sobre o local da profundidade de fechamento e, portanto, afeta o volume de alimentação. A relação entre os diâmetros dos grãos nos perfis é responsável pela diferença de inclinação entre a praia nativa e praia modificada. Com o uso de um sedimento mais grosso e conseqüentemente uma maior inclinação da praia, o volume da areia necessária para a alimentação diminui. Já quando se utiliza um material mais fino que o material encontrado naturalmente, a nova inclinação é muito mais suave que a original, portanto, o volume de sedimento a ser utilizado é maior (Bruijn et al., 2004).

A seguir, as equações para determinar o volume de alimentação são apresentadas. É feita uma distinção entre os perfis realizados com areia compatível, perfil com intersecção e perfil sem intersecção (Dean, 2002).

- Areia compatível

Se o sedimento utilizado e o natural apresentam o mesmo tamanho de grão o cálculo do volume é realizado utilizando a equação a seguir:

$$V = \Delta y_0 (h_* + B) \quad (3)$$

Onde,

- V = Volume de sedimento por m¹ de praia [m³/m]
 Δy_0 = Avanço da linha de costa [m]
 h_* = Profundidade de fechamento [m]
 B = Altura da berma em relação ao nível 0 [m]

- Perfil com intersecção

Quando $A_F > A_N$ o novo perfil de equilíbrio intersecta o perfil original. O volume necessário por metro linear de praia, em uma forma adimensional, $V' = V/BW$, pode ser calculado por:

$$V' = \frac{V}{BW_*} = \frac{\Delta y_0}{W_*} + \frac{3h_*}{5B} \left(\frac{\Delta y_0}{W_*} \right)^{\frac{5}{3}} \left(\frac{1}{\left[1 - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{2/3}} \right) \quad (4)$$

Onde,

- W_* = Distância que a profundidade de fechamento do perfil original se encontra da costa
 A_N = Parâmetro de escala do perfil natural
 A_F = Parâmetro de escala do perfil preenchido

- Perfil sem intersecção

Quando o perfil de equilíbrio após a obra não intersecta o perfil original, o sedimento utilizado é mais fino que o sedimento original ($A_F < A_N$), o perfil se estende após a profundidade de fechamento e o volume é calculado a partir da seguinte equação:

$$\frac{V}{BW_*} = \frac{\Delta y_0}{W_*} + \frac{3h_*}{5B} \left\{ \left[\frac{\Delta y_0}{W_*} + \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} \right]^{5/3} - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{3/2} \right\} \quad (5)$$

1.3.2.5 Redução da largura da praia devido à ação do perfil de equilíbrio

O perfil formado logo após a obra de alimentação é normalmente mais íngreme que o perfil de equilíbrio. Com o tempo, o sedimento é trabalhado ao longo do perfil, resultando em uma praia mais estreita (Figura 9), o que deve ser calculado no processo de projeto da obra. A redução na largura da praia é a diferença entre a largura logo após a obra e a largura de equilíbrio.

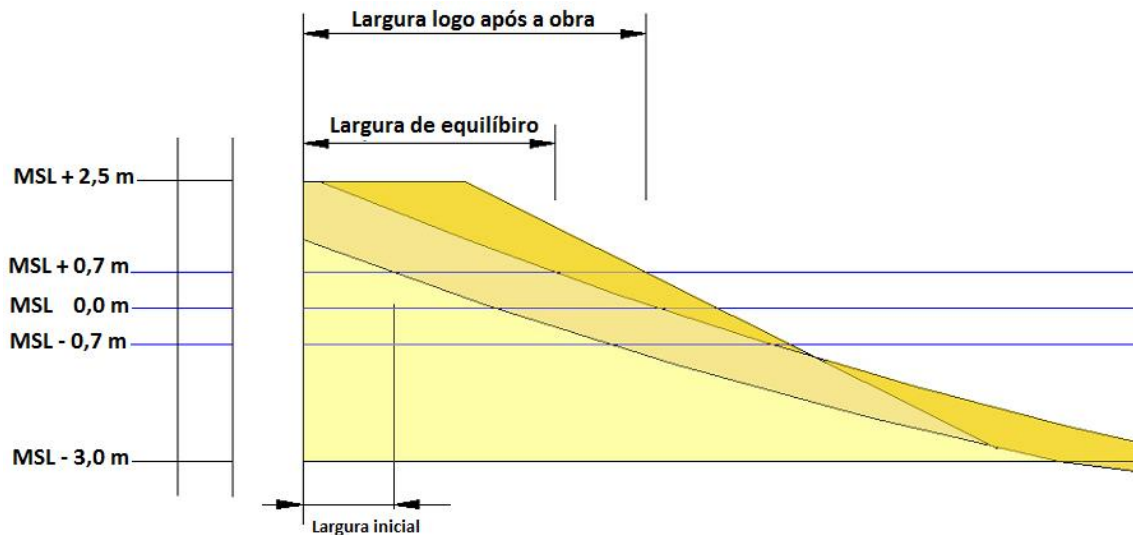


Figura 9. Processo do perfil de equilíbrio (modificado de: Bruijn et al., 2004).

1.3.3 Projeto de alimentação artificial de Balneário Camboriú

A alimentação artificial de Balneário Camboriú contemplará toda a extensão da Praia Central, desde os molhes localizados na porção sul até o Canal do Marambaia ao norte (Figura 1), totalizando uma extensão de aproximadamente 5.500 m sendo utilizado um volume de 2.400.000 m³ de sedimentos. A largura do aterro hidráulico será de 118 m, dos quais 18 m são reservados à infraestrutura urbana e 100 m à faixa de areia da praia, com berma na cota de 2,5 m, sendo considerado um talude de 1:20. Desta forma, planeja-se atingir a profundidade aproximada de 3 m, a qual foi definida como a profundidade ativa do perfil.

O Instituto Hidráulico Dinamarquês (DHI) desenvolveu o projeto de alimentação, descrito em INPH (2000), de acordo com a metodologia proposta por Dean (1977). Para tal, foram adicionados 100 metros de largura de faixa de areia à praia existente e calculada a largura da praia após o processo de equilíbrio. Oito perfis praias (S0, S10, S20, S30, S35, S40, S50, S55) (Figura 10) foram analisados e a Tabela 5 mostra os resultados da aplicação da metodologia de Dean para três diferentes granulometrias ($D_m = 0,2$ mm; $D_m = 0,3$ mm; $D_m = 0,4$ mm) adotadas para testar diferentes alternativas de areia de empréstimo. As larguras da praia

antes e depois da alimentação foram assumidas no nível (MSL) de + 0,7 m e os parâmetros considerados nos cálculos do DHI são apresentados na Tabela 6.

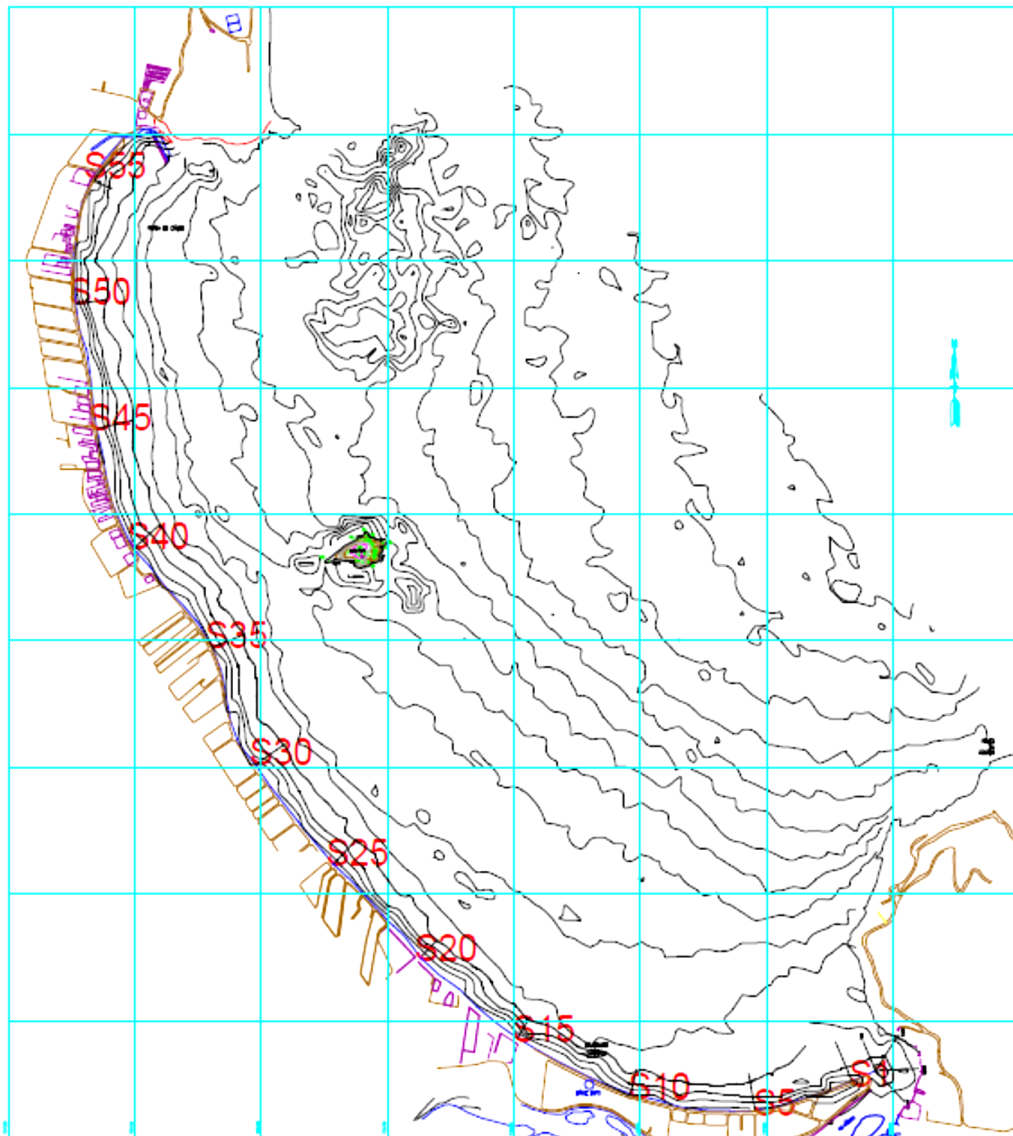


Figura 10. Localização dos perfis analisados através da metodologia de Dean (INPH, 2000).

Tabela 5. Resultados da aplicação da metodologia de Dean (modificado de: INPH, 2000).

Perfil	S0	S10	S20	S30	S35	S40	S50	S55	Média (m)
Largura atual da praia (m)	35,7	32,5	46,0	52,5	40,5	62,0	34,5	64,0	46
Largura logo após a alimentação (m)	135,75	142,5	126,0	134,5	136,5	138,0	136,5	134,0	136
Largura final com $D_m=0,4$ mm (m)	110,3	102,4	83,6	93,5	89,5	97,0	87,4	91,0	95
Largura final com $D_m=0,3$ mm (m)	108,1	93,5	71,8	81,9	76,7	83,0	70,3	76,0	83
Largura final com $D_m=0,2$ mm (m)	99,6	75,7	46,2	51,4	45,8	45,2	31,9	0,0	50

Tabela 6. Parâmetros iniciais considerados nos cálculos realizados pelo DHI para a aplicação da metodologia de Dean (modificado de: INPH, 2000).

Parâmetro	Valor
Declividade Inicial	1:20
Largura de praia adicional	100 m
Altura da berma (B)	2,5 m
Profundidade de fechamento (h*)	3,0 m
Diâmetro mediano do sedimento adicionado (Dm)	0,2 mm; 0,3 mm; 0,4 mm

O volume de preenchimento é o resultado da aplicação das equações 3, 4 e 5, considerando a praia estável após a alimentação, sendo a diferença de volume entre os perfis logo após a alimentação e o atual (Figura 11).

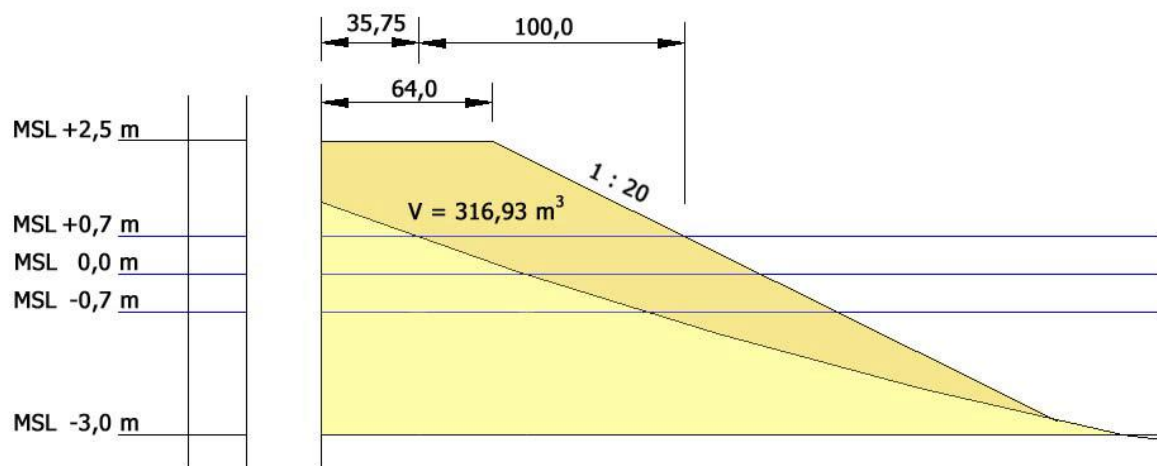


Figura 11. Exemplo da alimentação artificial em seção para o perfil S0 (INPH, 2000).

Na Tabela 5 observa-se que a largura média da praia atual em no nível (MSL) + 0,7 m é aproximadamente 46 m. Após a alimentação, a largura média final é de 50 m utilizando diâmetro de grão de 0,2 mm, 83 m utilizando diâmetro de grão de 0,3 mm e 95 m com diâmetro de grão de 0,4mm. Desta forma, os resultados da aplicação da metodologia de Dean demonstraram que a alimentação da praia sofrerá adaptações induzidas pelo clima de ondas do local, até que atinja um novo perfil de equilíbrio. O sedimento com diâmetro mediano de 0,3 mm fornece uma largura média de praia em equilíbrio de 83 m, no nível (MSL) + 0,7 m. Portanto, como o objetivo é aumentar a praia para uma largura de aproximadamente 100 m, a recomendação da DHI é de que o sedimento utilizado na alimentação da praia

apresente granulometria próxima de 0,3 mm, o que deverá garantir a estabilidade da praia e uma largura final de aproximadamente 80 a 85 metros.

Deve-se ressaltar que nos cálculos foi assumida uma profundidade de fechamento constante no valor de -3,0m. Porém, a ação das ondas é variável ao longo de toda a enseada e a profundidade de fechamento varia de acordo com a altura de ondas incidentes. Menezes (2008) determinou a profundidade de fechamento para 15 perfis distribuídos ao longo da enseada, com valores de 4 m, 3,3 m e 1,7 m, para os setores norte, médio e sul, respectivamente. Desta forma, como o aterro atingirá uma profundidade de aproximadamente 3 m, este intersectará a profundidade de fechamento nas porções centrais e sul da praia, porém não atingirá a profundidade de fechamento ao norte.

1.4 Modelo Numérico Delft3D

O sistema de modelagem Delft3D, desenvolvido por pesquisadores do *Delft Hydraulics* (Holanda), tem como objetivo predizer o comportamento de meios líquidos e a dispersão de matéria nesses meios. Este sistema é composto de módulos com ferramentas de pré-processamento, processamento e pós-processamento, possibilitando a implementação do sistema de modelagem em diferentes tipos de ambientes. O sistema compreende os seguintes módulos: 1) Hidrodinâmico (FLOW); 2) Ondas (WAVE); 3) Transporte de sedimentos (SED); 4) Morfologia (MOR); 5) Qualidade da água (WAQ); 6) Ecologia (ECO). O módulo Delft3D-FLOW módulo é o centro do enquadramento dos módulos (Figura 12) e destina-se a simular marés inconstantes e/ou fluxos originados de fatores meteorológicos. Ao chamar os outros módulos, processos adicionais (por exemplo, de propagação da energia das ondas e transporte de sedimentos) podem ser simultaneamente (online) realizados.

As simulações podem ser realizadas de um modo unidimensional (1D), em que a média é considerada nas direções vertical e horizontal, um modo bidimensional horizontal ou vertical (2DH e 2DV, respectivamente) ou em um modo tridimensional (3D). A precisão, bem como o esforço computacional, aumenta significativamente com cada dimensão adicional.

As descrições apresentadas a seguir, de cada um dos módulos utilizados no presente estudo, foram extraídas dos manuais do usuário do Delft3D-FLOW (WL | DELFT HYDRAULICS, 2011a) e do Delft3D-WAVE (WL | DELFT HYDRAULICS, 2011b).

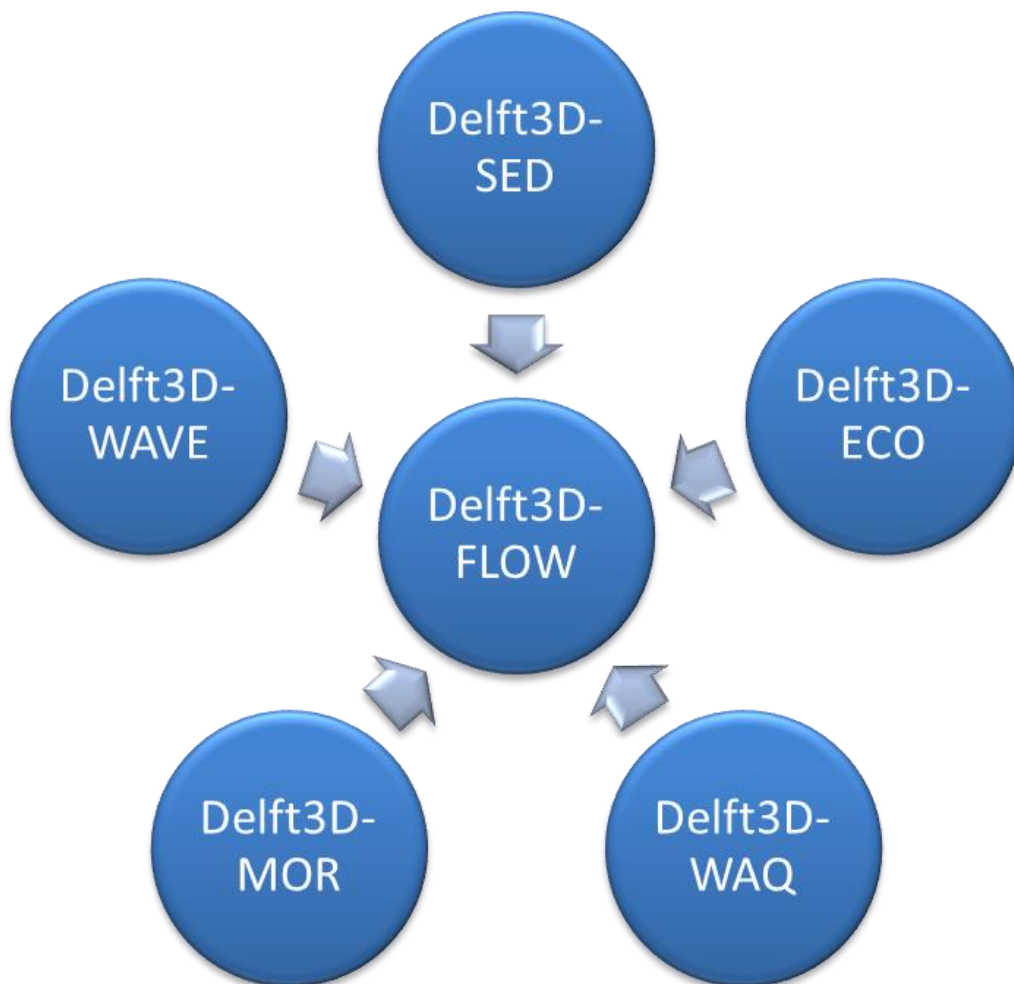


Figura 12. Esquematização dos módulos do sistema de modelagem Delft3D. O módulo Delft3D-FLOW é o centro do sistema.

1.4.1 Módulo Delft3D-FLOW

O Delft3D-FLOW é o módulo central na abordagem de simulações *online*. Ele resolve as equações não lineares de águas rasas, que são derivadas das equações tridimensionais de Navier Stokes para o fluxo incompressível da superfície livre, em duas (média da profundidade) ou três dimensões. O sistema consiste nas equações do *momentum* horizontal, a equação de continuidade e as equações de transporte.

O módulo FLOW simula fluxos não estacionários bidimensionais (2DH, integrado na vertical) ou tridimensionais (3D) e fenômenos de transporte resultantes de variação da maré e forças meteorológicas, incluindo o efeito da diferença de densidade resultante da diferença de temperatura e salinidade. Este módulo pode ser usado para prever a hidrodinâmica de mares rasos, áreas costeiras, estuários, lagoas, rios e represas.

Em ambientes sem estratificação vertical, pode ser aplicado o modelo integrado na vertical (2DH), sendo que as equações consideram valores médios da

coluna d'água. Já o modelo 3D é aplicado em locais onde existe estratificação vertical, que pode ser gerada por vento, turbulência de fundo, força de Coriolis, gradiente batimétrico e diferença de densidade. É aplicada em estudos onde se objetiva conhecer o comportamento de fluxos em lagos e costas com diferença de temperatura, descargas de rio de água doce, estuários e locais com fluxo vertical de nutrientes.

1.4.1.1 Os processos físicos

O modelo resolve o sistema de equações em duas e três dimensões. Este sistema consiste na equação da quantidade de *momentum* na direção horizontal, a equação de continuidade e nas equações de transporte de propriedades conservativas em coordenadas curvilíneas ortogonais ou em coordenadas esférica. Em coordenadas curvilíneas, o nível da superfície livre e batimetria estão relacionados a um plano horizontal (plano de referência), ao passo que em coordenadas esféricas o plano de referência segue a curvatura da Terra.

O movimento é forçado pela maré e descarga fluvial nas fronteiras abertas, pela tensão de cisalhamento do vento na superfície livre, gradientes de pressão devido à ação do vento na superfície livre, gradientes de pressão devido a inclinações na superfície livre (campo barotrópico) e por gradiente de densidade (campo baroclínico). Termos de fonte e de sumidouros estão incluídos na formulação para modelar a entrada (aporte fluvial e precipitação) e saída (evaporação) de água no sistema.

Desta forma, o modelo Delft3D-FLOW inclui na sua formulação numérica os seguintes fenômenos físicos:

- Efeitos barotrópicos;
- Efeitos baroclínicos;
- Efeito da rotação da Terra (força de Coriolis);
- Fluxos turbulentos de massa e momento (modelos de fechamento turbulento);
- Transporte de propriedades conservativas (sal, calor, etc);
- Efeito da maré em fronteiras abertas;
- Tensão de cisalhamento do vento na superfície livre;
- Dissipação de energia devido ao atrito com o fundo;
- Tensão de cisalhamento nas bordas;
- Variação da pressão atmosférica na superfície livre;

- Fluxo de calor através da superfície livre;
- Vazão afluente e efluente (por exemplo, descarga fluvial);
- Regiões que ficam secas devido à ação da maré;
- Evaporação e precipitação;
- Difusão de momento na direção vertical devido a ondas internas;
- Forças geradas pela maré;
- Fluxos através de estruturas hidráulicas.

1.4.1.2 Equações governantes

- A equação da continuidade:

(6)

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d + \zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = Q$$

1
2
3

Onde,

$\sqrt{G_{\xi\xi}}$ = coeficiente usado na transformação de coordenadas curvilíneas para retangulares [m];

$\sqrt{G_{\eta\eta}}$ = coeficiente usado na transformação de coordenadas curvilíneas para coordenadas retangulares [m];

ζ = nível d'água acima do plano de referência [m];

d = nível d'água abaixo do plano de referência [m];

t = tempo [s];

ξ, η = coordenadas horizontal e curvilínea;

U, V = velocidade média da coluna d'água na direção x- e y- [m/s];

Q = fonte ou sumidouro do fluxo por unidade de área [m/s].

Os termos numerados na Equação 6 representam:

1. Gradiente de nível d'água em função do tempo;
2. Gradiente de descarga específica na direção x;
3. Gradiente de descarga específica na direção y.

- Equação do *momentum* na direção horizontal:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - fv \quad (7) \\ = -\frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_\xi + F_\xi + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu_v + \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + M_\xi \end{aligned}$$

e,

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + fu \quad (8) \\ = -\frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + M_\eta \end{aligned}$$

Onde,

- u = velocidade do fluxo na direção ξ [m/s];
- v = velocidade do fluxo na direção η [m/s];
- ω = velocidade do fluxo na direção z [m/s];
- f = parâmetro de Coriolis [1/s];
- ρ_0 = densidade inicial da água [kg/m³];
- ν_v = coeficiente de viscosidade cinemática [m²/s].

As variações de densidade são desconsideradas, exceto nos termos que representam os gradientes de pressões baroclínicas (P_ξ e P_η). As forças F_ξ e F_η nas equações de *momentum* representam um desequilíbrio horizontal nas tensões de Reynolds. M_ξ e M_η representam as contribuições externas (descargas ou sumidouros de água e tensão de cisalhamento devido a ação de ondas).

1.4.2 Módulos Delft3D-MOR e Delft3D-SED

O módulo FLOW realiza chamadas alternadas aos módulos de transporte de sedimentos e morfologia a cada passo de tempo. Os módulos calculam tanto o transporte que ocorre em suspensão como o transporte junto ao fundo para sedimentos coesivos e não-coesivos. Para o cálculo do transporte de sedimento em suspensão é utilizada a equação da advecção-difusão (equação 8) integrada na vertical. Processos como a influência da concentração de sedimentos em suspensão na densidade e na turbulência também são considerados.

- Equação da advecção-difusão:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial t} + \frac{\partial uc^{(l)}}{\partial x} + \frac{\partial vc^{(l)}}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s^{(l)})c^{(l)}}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_{s,x}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_{s,y}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial y} \right) \\ - \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_{s,z}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

$$=0$$

Onde,

- $c^{(l)}$ = fração da concentração de sedimento (l) [kg/m³];
 u, v e w = componentes de velocidade de fluxo nas 3 direções: x, y e z [m/s];
 $\varepsilon_{s,x}^{(l)}, \varepsilon_{s,y}^{(l)}$ e $\varepsilon_{s,z}^{(l)}$ = coeficientes de viscosidade da fração de sedimentos (l) em suspensão [m²/s];
 $w_s^{(l)}$ = velocidade de decantação da fração de sedimento (l) [m/s].

Para partículas não coesivas a velocidade de deposição segue o método de Van Rijn (1993). A formulação a ser usada depende do diâmetro do sedimento em suspensão:

$$w_{s,0}^{(l)} = \left\{ \begin{array}{ll} (s^{(l)} - 1)gD_s^{(l)2}, & 65 \mu\text{m} < D_s \leq 100 \mu\text{m} \\ \frac{10v}{D_s} \left(\sqrt{\frac{1+0.02(s^{(l)}-1)gD_s^{(l)3}}{v^2}} - 1 \right), & 100 \mu\text{m} < D_s \leq 1000 \mu\text{m} \\ 1.1 \sqrt{(s^{(l)} - 1)gD_s^{(l)}}, & 1000 \mu\text{m} < D_s \end{array} \right\} \quad (9)$$

Onde,

- $s^{(l)}$ = densidade relativa da fração de sedimento(l);
 $D_s^{(l)}$ = diâmetro médio da fração de sedimento(l);
 v = coeficiente de viscosidade cinemática da água.

Para o cálculo do transporte junto ao fundo a equação padrão de Van Rijn (2000) é utilizada. Neste trabalho, o transporte junto ao fundo é calculado utilizando um método de aproximação desenvolvido por Van Rijn et al. (2003), quando o impacto das ondas no transporte de sedimentos é incluído. De acordo com este método, a magnitude do transporte junto ao fundo é calculada como:

- Equação de transporte junto ao fundo:

$$|S_b| = \eta 0.006 \rho_s w_s d_{50} M^{0.5} M_e^{0.7} \quad (9)$$

Onde,

S_b	=	transporte junto ao fundo [kg/m/s];
η	=	disponibilidade relativa da fração de sedimento [-];
ρ_s	=	densidade do sedimento [kg/m ³];
w_s	=	velocidade de decantação do sedimento [m/s];
M	=	número de mobilidade do sedimento devido a ondas e correntes [-];
M_e	=	número de mobilidade do sedimento excedente [-].

Sendo que o número de mobilidade do sedimento e excedente são calculados através das seguintes equações:

$$M = \frac{v_R^2 + U_{on}^2}{(s - 1)gd_{50}} \quad (9)$$

$$M_e = \frac{(\sqrt{v_R^2 + U_{on}^2} - v_{cr})^2}{(s - 1)gd_{50}} \quad (10)$$

Onde v_{cr} é a velocidade média da coluna d'água crítica para o início da parametrização da curva de Shields (m/s), v_R é a magnitude de uma velocidade média da coluna d'água equivalente calculada a partir da velocidade no fundo, assumindo um perfil de velocidade logarítmico (m/s), U_{on} é a velocidade orbital junto ao fundo na direção *onshore* (m/s) e s é a densidade relativa da fração (-).

O transporte de sedimento em suspensão que resulta da assimetria de ondas também está incluída no vetor de transporte junto ao fundo, utilizando um método de aproximação proposto por Van Rijn (2001):

$$S_{s,w} = \gamma U_A L_T \quad (11)$$

Onde:

$S_{s,w}$	=	transporte em suspensão relacionado a onda [kg/m/s];
-----------	---	--

γ	=	coeficiente <i>lag</i> de fase [-];
U_A	=	valor de velocidade de assimetria [m/s];
L_T	=	carga de sedimento em suspensão = $0.007\rho_s d_{50}M_e$ [kg/m ²];

A constante erosão/deposição de sedimentos modifica o fundo do ambiente, o que gera uma mudança no padrão hidrodinâmico, modificando a dinâmica de transporte de sedimentos, este efeito pode ser levado em consideração nos cálculos, embora aumente o custo computacional.

Para estimar as variações morfológicas ocorrentes no ambiente de estudo normalmente é preciso simular cenários com uma duração de meses, anos ou até décadas. Entretanto, o recurso computacional seria muito elevado, tornando assim, inviável a simulação de um período tão grande. Portanto, o modelo Delft3D disponibiliza uma ferramenta multiplicadora chamada MORFAC. Tal ferramenta consiste em um fator de aceleração morfológica e extrapola um valor obtido em uma escala de tempo curta (tempo de modelagem) para uma escala de tempo maior (tempo real), facilitando assim a visualização das variações morfológicas.

1.4.3 Módulo Delft3D-WAVE

Neste módulo é implementado o modelo de terceira geração SWAN, que leva em consideração os processos de refração, propagação, interação onda-onda, dissipação de onda gerada pelo vento por atrito com o fundo, quebra induzida pelo fundo e quebra pela corrente. As ondas são descritas com a densidade espectral bidimensional da ação de onda $N(\sigma, \theta)$, invés de densidade espectral de energia $E(\sigma, \theta)$, uma vez que na presença de correntes a densidade da ação é preservada ao contrário da densidade de energia. A densidade da ação é igual à densidade de energia dividida pela frequência relativa (σ).

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (12)$$

No SWAN a evolução do espectro de ondas é descrito pela equação do balanço da ação espectral, a qual é formulada como:

$$\frac{\partial N(\sigma, \theta)}{\partial t} + \frac{\partial C_{g,x} N(\sigma, \theta)}{\partial x} + \frac{\partial C_{g,y} N(\sigma, \theta)}{\partial y} + \frac{\partial C_{\theta} N(\sigma, \theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial C_{\sigma} N(\sigma, \theta)}{\partial \sigma} = \frac{S(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (13)$$

Onde,

$N(\sigma, \theta)$	=	densidade de ação de onda;
$E(\sigma, \theta)$	=	densidade de energia de onda;

x, y	=	distância em x e y [m];
$C_{x,y,\sigma,\theta}$	=	velocidade de propagação para x, y, σ , θ [m/s];
σ	=	frequência relativa [Hz];
θ	=	direção de onda [graus];
$S(\sigma, \theta)$	=	fonte/sumidouro em termos de densidade de energia.

O primeiro termo do lado esquerdo da Equação 13 representa a taxa local de variação de ação no tempo, o segundo e terceiro termos representam a propagação de ação no espaço (com velocidades de propagação $C_{g,x}$ e $C_{g,y}$ nos eixos x e y, respectivamente). O quarto termo representa refração induzida pela profundidade e por correntes (com velocidade de propagação C_θ no eixo θ), enquanto o quinto termo representa a mudança da frequência relativa devido a variações na profundidade e nas correntes. O termo S, no lado direito da equação do balanço da ação espectral é o termo fonte em relação à densidade de energia representando os efeitos de geração, dissipação e interação não-linear onda-onda. A integração da equação do balanço da ação é implementada no SWAN através de um esquema implícito *upwind*.

1.5 Referências

- ALFREDINI, P., 2005. Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. 1ed. São Paulo, SP: Ed. Blucher, 688p.
- ALVES, J.H.G.M.; MELO, E., 2001. Measurement and modeling of wind waves at the northern coast of Santa Catarina, Brazil. Brazilian Journal of Oceanography, v.49, p.13-28.
- ARAUJO, C. E. S., FRANCO, D., MELO, E, & PIMENTA, F., 2003. Wave regime characteristics of the Southern Brazilian coast. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Paper No. 97. 15p.
- BEAUMORD, A.C.; DIEHL, F., 2006. Environmental Threats in the Central and Northern Coast of Santa Catarina State: an Overview. Journal of Coastal Research. SI 39 (Proceeding of ICS 2004), p. 1017-1020.
- BRUIJN, H.J.; JAGER, R.R.; LANGEDIJK, J.M.P.A.; PERK, L.M., 2004. Beach Nourishment and Artificial Surf Reef. The Netherlands: Delft University of Technology (TU Delft). 166p. Relatório Técnico.

CAPOBIANCO, M.; HANSON, H.; LARSON, M.; STEETZEL, H.; STIVE, M.J.F.; CHATELUS, Y.; AARNINKHOF, S.; KARAMBAS, T., 2002. Nourishment Design and Evaluation: Applicability of Model Concepts. *Coastal Engineering*. 47, p. 113-135.

DEAN, R. G., 2002. *Beach Nourishment: Theory and Practice*. Singapura: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., v. 18, 324 p.

DEAN, R. G., 1977. Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coast. *Ocean Engineering Technical Report*, n. 12, 45p.

DEAN, G.R.; DALRYMPLE, A.R., 2004. *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 489 p.

GOBBI, E. F., 1997. *Gerenciamento Costeiro: Análise de Casos do Litoral do Paraná sob a Perspectiva da Engenharia Costeira*. Tese de Doutorado em Engenharia Oceanica, COPPE/UFRJ. 312p.

HOEFEL, F.G., 1998. *Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: Uma Revisão Bibliográfica*. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 90p.

INPH (Instituto de Pesquisas Hidroviárias), 2000. *Estudos para o engordamento da praia de Balneário Camboriú - SC*. Rio de Janeiro: Divisão de Engenharia Hidráulica – DIENGH. 55p. Relatório Técnico.

KLEIN, A.H.F & MENEZES, J.T., 2001. Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. *Journal of Coastal Research*, 17(4), 812-835. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

KLEIN, A.H.F.; BENEDET FILHO, L.; SCHUMACHER, D.H., 2002. Short-term beach rotation processes in distinct headland bay beach systems. *Journal of Coastal Research*, 18(3), 442-458. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

KLEIN, A. H. F.; MOCELLIM O.; MENEZES, J. T.; BERRIBILLI, M.; VINTÉM, G.; DAFFERNER, G.; DIEHL, F. L.; SPERB, R. M. & SANTANA, G. G., 2005. Beach Safety Management on the Coast of Santa Catarina, Brazil. *Z. Geomorph. N.F.* 141: 47-58.

KLEIN, A.H.F.; FERREIRA, O.; DIAS, J.M.A., TESSLER, M.G., SILVEIRA, L.F., BENEDET, L., MENEZES, J.T.; ABREU, J.G.N., 2010. Morphodynamics of structurally controlled headland-bay beaches in southeastern Brazil: A review. *Coastal Engineering*, 57(2010), 98-111.

KLEIN, A.H.F.; BENEDET FILHO, L.; HSU, J.R., 2003. Stability of Headland Bay Beaches in Santa Catarina: a case study. *Journal of Coastal Research*, SI(35), 151-166. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

KOMAR, P. D, 1976. *Beach Process and Sedimentation*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.

MENEZES, J. T., 2008. *Balanço de Sedimentos Arenosos da Enseada de Balneário Camboriú-SC*. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

PEZZUTO, P.R.; RESGALLA JR., C. ABREU, J.G. N., MENEZES, J. T., 2006. Environmental impacts of the nourishment of Balneário Camboriú Beach, SC, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 863 - 868. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.

POLETTE, M. & RAUCCI, G. D., 2003. Morphological proposal for Carrying Capacity Analysis in Sandy Beaches: a Case Study at the Central Beach of Balneário Camboriú (Santa Catarina, Brazil). *Journal of Coastal Research*. SI 35 (Proceedings of the Brazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, Ecology, Uses, Hazards and Management), p. 94-106.

SCHETTINI, C. A. F., CARVALHO, J. L. B. & JABOR, P., 1996. Comparative Hydrology and Suspended Matter Distribution of Four Estuaries in Santa Catarina State - Southern Brazil. *Proceedings of Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries*, p. 29-32.

SIEGLE, E., 1999. *Morfodinâmica da desembocadura do Rio Camboriú, Balneário Camboriú – SC*. Dissertação de mestrado. Geociências. UFRGS.

SILVA, L. F. & SCHETTINI, C. A. F., 1997. Contribuição à hidrologia do estuário do rio Camboriú: avaliação da contribuição fluvial. *Anais, X Semana Nacional de Oceanografia*. Itajaí, SC. pp. 496-498.

SILVEIRA, L. F.; KLEIN, A. H. F. & TESSLER, M. G., 2011. Morphodynamical classification of beaches from Santa Catarina State and north coast of São Paulo State using remote sensing. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 15(2): 13-28. e-ISSN 1983-9057

TEMME, B.; KLEIN, A. H. F.; CARVALHO, J. L. B. & DIEHL, F. L., 1997. Morphologic Behaviour of the Beach of Balneário Camboriú: Preliminary Results. Notas Técnicas da Facimar. n. 1, p. 49 – 65.

TRUCCOLO, E. C., 1998. Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul - SC. Florianópolis, 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

WL | DELFT HYDRAULICS, 2011a. Delft3D-FLOW- User Manual, Version 3.15. Simulation of Multidimensional Hydrodynamic Flows and Transport Phenomena, Including Sediments. Delft, The Netherlands, 690 p.

WL | DELFT HYDRAULICS, 2011b. Delft3D-WAVE- User Manual, Version 3.04, Simulation of Short-crested Waves with SWAN. Delft, The Netherlands, 214 p.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D, 1984. Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches a Synthesis. Marine Geology, Amterdam, v. 56, p.93-1

CAPÍTULO 2 – CORPO PRINCIPAL

(Artigo Submetido ao Periódico Journal of Coastal Research – JCR)

BEACH NOURISHMENT PREDICTING IMPACTS AT AN EMBAYED BEACH

BRUNA CALLONI^{1,2}; ELÍRIO E. TOLDO JR.¹; JOÃO THADEU DE MENEZES²;
THELMA LUIZA SCOLARO²

¹ Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509.900, Porto Alegre – RS.

³ Acquadinâmica Modelagem e Análise de Risco Ambiental Ltda., Av. Rui Barbosa, 372 - Sala 02, Balneário Camboriú - SC, CEP 88.331-510

ABSTRACT

Since 1960, Balneário Camboriú, located on the north-central coast of Santa Catarina, Brazil has been suffering from an unplanned intense urbanization, resulting in negative impacts on tourism that are primarily related to overcrowding during the summer and shading on the beach in the afternoon due to a number of tall buildings at the seafront. Aiming to enlarge the area available for recreational beach use, the city government of Balneário Camboriú is developing a nourishment project for the Central Beach of the city; this project provides a new sand width of 100 m. This paper describes the possible impacts of the nourishment through an analysis of physical processes using the numerical model Delft3D. The analysis distinguishes three steps: (1) wave propagation, (2) hydrodynamic processes, and (3) morphological variations in two different scenarios before and after the beach nourishment. The results of the wave-propagation modeling show the occurrence of greater energy in the northern portion of the bay with a more sheltered southern portion. Comparing the scenarios, a decrease in the wave energy in shallow water due to the new configuration of the coast is observed, especially in the northern part of the bay. The results from the hydrodynamic model indicate that, after the beach nourishment, the currents are intensified in the new wave-surf zone, which will be developed in a region, where in the present scenario, the alongshore current velocities are notably low. The analysis of the potential impacts on the coastal morphology indicated that morphological changes will occur due to the reorganization of the beach and the new bay bathymetric configuration because the longitudinal-bank formation will move toward the sea. No erosion areas between the present and future scenario were observed, demonstrating that the bay will behave as a closed system. Overall, the numerical modeling showed that future processes will reproduce those that occur in the present scenario; however, the process will occur approximately 100 meters ahead, toward the sea.

Additional Index Words: Numerical Model, Delft3D, Nourishment, Balneário Camboriú.

1. INTRODUCTION

Sand beaches are considered highly dynamic environments and are vulnerable to morphological changes at short time intervals occasioned by variations in energy conditions active in the region (Komar, 1976; Wright and Short, 1984).

From the socioeconomic point of view, the beaches represent important recreational areas. Many cities and resorts and touristic, commercial and industrial activities are developed around them. There are many coastal cities the economy of which is based on tourism of the beaches, and for these reasons, they have been affected by population increases, which result in crowded beaches, the construction of coastal condos and other buildings at the seafront and the increased use of traditional coastal engineering works (Hoeffel, 1998).

In this context, Balneário Camboriú beach, which is located on the north-central coast of Santa Catarina, Brazil, is located such that tourism related to the beaches is the main economic activity. Since 1960, the city has been suffering from intense urbanization, but in an unplanned way, resulting in several environmental issues (Temme *et al.*, 1997). The great development of the city was not conducted in an orderly manner, especially in the coastal zone. The construction of roads and buildings, performed without respecting the limits of the beach system, has caused problems for residents and visitors (Beaumord and Diehl, 2006; Polette and Raucci, 2003). Tourism has been negatively impacted by problems such as overcrowding during the summer and the total shading of the beach in the afternoon by the numerous tall buildings in the seafront (Menezes, 2008).

Due to these problems, the city government of Balneário Camboriú is developing a nourishment project for the Central Beach in the city, which is analyzed by the present study. This project, expected to be performed in 2015, aims to mitigate possible erosion problems, as well as to enlarge the sand stretch to 100 meters, expanding the area available for recreational beach use and thus developing the tourism sector.

Shore nourishments are usually implemented as a measure to mitigate erosion, but a relatively new application of this technique is related to the increase of the beach area for recreation purposes. However, this technique may lead to changes in the hydrodynamic patterns and thus the transport of sediments, causing changes in the local morphodynamics.

Numerical models can be used as a tool to gain knowledge of coastal dynamics before and after the implementation of works, which are fundamental for

coastal engineering works, to predict future consequences and enable the planning of mitigation actions.

This paper presents a numerical modeling study that aims to analyze the possible impacts of the beach nourishment expected to be held at the Central Beach of Balneário Camboriú. To achieve this objective, the Delft3D numerical model was used to study hydrodynamic processes, wave propagation and morphological changes in the central beach area for the present scenario and also for a scenario after the beach nourishment.

1.1 Study Area

Balneário Camboriú (Figure 13) is located on the northern coast of the Santa Catarina State, Brazil. According to Pezzuto *et al.* (2006) the beach is 5840 m long with an average width of 17 m and a NW-SE orientation. It is enclosed by two rocky headlands, Ponta das Laranjeiras in the south, and Ponta da Preguiça in the north, and it presents an arc shape with an island (Ilha das Cabras) in the central portion. It includes the mouths of two small coastal drainages in the bay, the Camboriú River in the southern portion, and the Marambaia channel in the extreme north (Temme *et al.*, 1997). It is composed by fine-to-very-fine sands with an average diameter of 0.1 mm to 0.2 mm (Temme *et al.* 1997). The surf zone varies from 5 to 100 m and is wider in the northern portion of the beach, with a declivity ranging from 0.85 to 2.80 ° (Menezes, 2008). In morphodynamic classification, it is considered a dissipative beach (Klein and Menezes, 2001; Klein *et al.*, 2005; Silveira *et al.*, 2011).

According to the beach security classification presented by Short and Hogan (1990 *apud* Hoefel and Klein, 1998), which considers the morphodynamic state and the incident wave height, the Central Beach of Balneário Camboriú can be considered moderately safe when exposed to waves of 0.5 m. As the incident wave height increases, the natural risk of the beach becomes greater, principally for its dissipative characteristics.

The northern portion of the beach is exposed to the more energetic southeasterly waves compared to those in its southern sector, which is protected from the waves by the Ponta das Laranjeiras headland (Klein and Menezes, 2001; Klein *et al.*, 2002; Klein *et al.*, 2009; Temme *et al.*, 1997)

The beach is in dynamic equilibrium, with the northern portion suffering episodic erosive processes, whereas the opposite extreme shows erosive processes

by the absence of input of sandy sediments through the river Camboriú (Menezes, 2008).

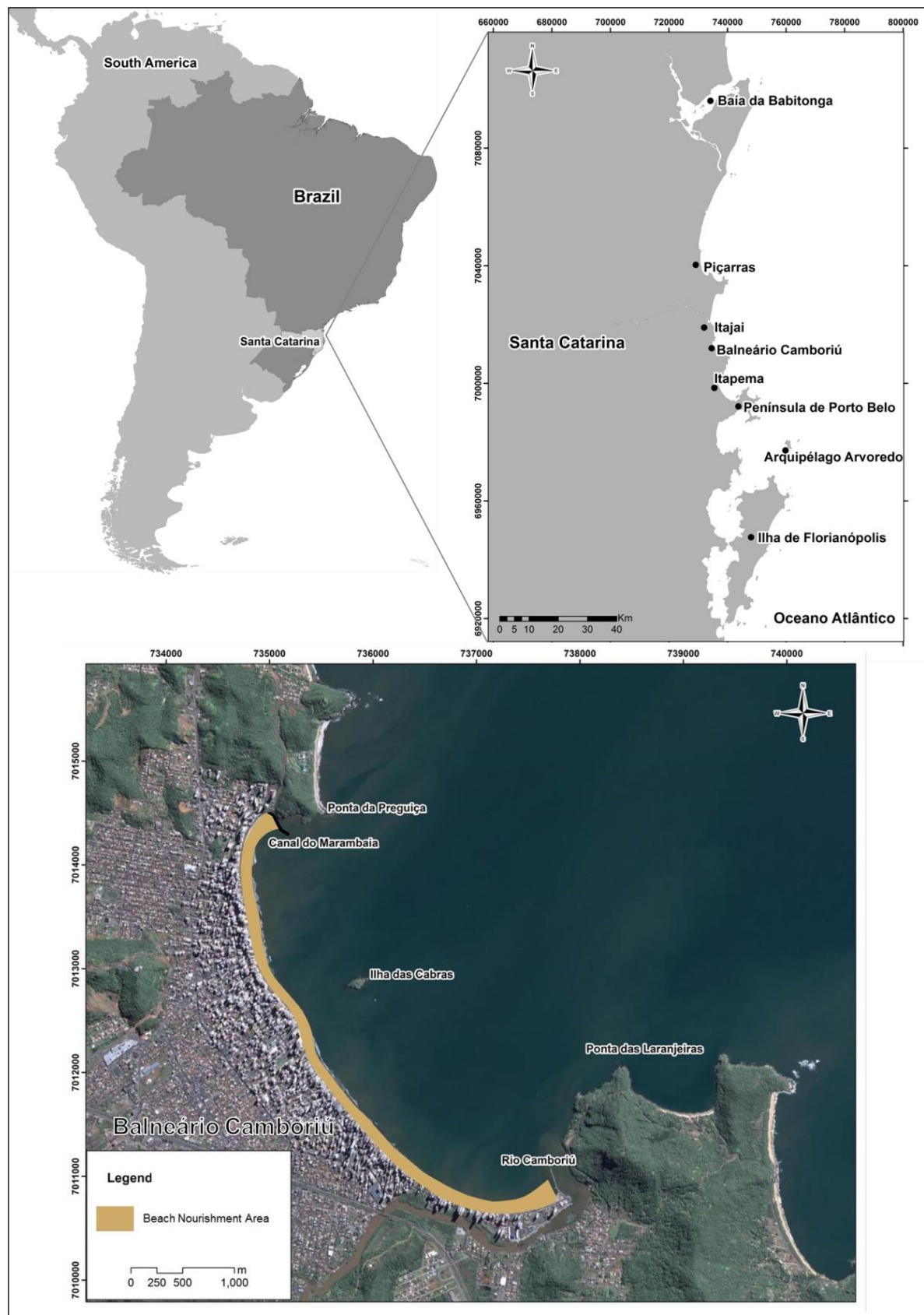


Figure 13. Study area localization with the Balneário Camboriú beach-nourishment area highlighted.

1.2 Beach Nourishment Project

The beach nourishment project of Balneário Camboriú covers the whole extension of the Central Beach, from the jetties located in the southern portion until the Marambaia channel in the north (Figure 13), with a total length of approximately 5,500 m. A volume of 2,400,000 m³ of sediments will be used, with a grain size of approximately 0.3 mm, in accordance with the methodology proposed by Dean (1977), which serves as an indicative tool of the equilibrium profile at various time scales.

The width of the hydraulic fill will be 118 m, 18 m of which are reserved for urban infrastructure, and a 100 m stretch of sandy beach with a berm at an elevation of 2.5 m, which is considered to have a 1:20 slope. Thus, it is planned to reach a depth of approximately 3 m, which was defined as the active profile depth.

The closure depth at the Balneário Camboriú Central Beach varies over its length. Menezes (2008) determined a closure depth for 15 profiles distributed along the bay, with values of 4 m, 3.3 m and 1.7 m for the north, middle and south sectors, respectively. Thus, as the fill will reach a depth of approximately 3 m, it will intersect the closure depth in the central and southern portions of the bay, but it will not reach the closure depth in the northern portion.

Just as in the case of rigid coastal protection structures (jetties, groins, etc.), the beach nourishment has a lifespan, which depends on the intensity of the physical forces acting on the environment. Therefore, the monitoring of the sand volume deposited is very important because the processes of the alongshore sediment transport are the primary causes of lateral spreading, resulting in a decrease in the sand-stretch width. If the deposited amount is not constant, maintenance of the nourishment is required (Dean, 2002). Listed in Table 7 are examples of projects already undertaken and how the deposited-sand volume has remained over time. In closed systems, for example in bay beaches such as in the Balneário Camboriú case, lateral spreading shall not occur, hindering the loss of the sediment deposited, increasing the life span of the project.

Table 7. Examples of beach-nourishment projects.

	Beach/Country	Year of Nourishment	Volume Placed (m ³)	Year of Study	Remaining Volume (%)	Life Span (years)
Araujo, 2008	Piçarras/BR	1999	880000	n/a	n/a	5
Olpe, 2012	Piçarras/BR	2012	785989	n/a	n/a	n/a
Dean, 2002	Folly Beach/US	1993	3100000	1999	55	n/a
	Perdido Key/US	1989	4100000	1997	57	n/a
	Martin County/US	1995	1146900	2000	60	10
	Ana Marya Key/US	1992	1780000	n/a	n/a	9
Hanson, <i>et al.</i> , 2002	Ameland-midden/HO	1992	2200000	n/a	n/a	8
	Eierland/HO	1979	3089000	n/a	n/a	5
	DE Koog/HO	1984	3021000	n/a	n/a	10
	Eierland/HO	1985	2849000	n/a	n/a	5
	Eierland/HO	1990	2543000	n/a	n/a	3
	DE Koog/HO	1991	2009000	n/a	n/a	5
	Eierland/HO	1994	1331475	n/a	n/a	5

2. METHODS

2.1 Numerical Model Delft3D

The numerical model Delft3D used for the execution of this work consists of an advanced system of 2D/3D numerical models, including several modules to enable the simulation of complex coastal processes, such as the generation and propagation of waves, hydrodynamics, sediment transport and morphologic changes (erosion and sediment deposition and variation of the shoreline).

It is based on the shallow-water equations of advection-diffusion for concentrations in suspension (suspended transport), and another for bed-load transport in three dimensions (3D). The model integrates sediment transport and morphological changes at each time step and is highly recommended for studies in coastal environments because it includes direct coupling with the spectral wave model SWAN (Simulating Waves Nearshore), which enables calculation of the processes of wave-current interaction, and incorporates techniques to calculate flood cells and dry cells. Several other processes, such as wind friction and density currents are also included in the formulation (WL | Delft Hydraulics, 2011a).

The wave propagation from deep waters to the region of interest was performed using the Delft3D-WAVE module, which is based on the formulation of the SWAN model that simulates the processes of refraction, diffraction, energy dissipation, shoaling, wave-wave interactions in deep and shallow water, and breaking, among other processes, changing the spectral characteristics of the sea states propagated throughout the modeling domain (WL | Delft Hydraulics, 2011b).

The incidence of waves at the coast generates currents mainly in the breaking zone, which have a high capacity to carry sediments along and across the shore. To the Delft3D-FLOW hydrodynamic module is coupled the sediment transport and morphology module, developed to simulate the morphodynamic behavior of rivers, estuaries and coastal zones, on the scale of days to years, solving the complex process of interaction between waves, currents, sediment transport and bathymetry. The link between the modules involved in the process (Waves, Flow, Transport, and Bottom) occurs by dynamic coupling.

2.2 Grids and Bathymetry

The generation of the numerical grids was performed in the RGFRID module of the Delft3D model. Two rectangular grids were designed to model wave propagation from deep to shallow water: a larger, less detailed grid (G1) with a spatial resolution of 2 km and 200 km long by 90 km wide, covering the area from the south of Ilha de Florianópolis to the Baía da Babitonga with the ocean boundary in the 120 m isobath, and a smaller, more detailed grid (G2) with a spatial resolution of 300 m, 75 km long and 60 km wide covering the area from the northern edge of the Ilha de Florianópolis until Piçarras with boundary in the 60 m isobath. In addition, an orthogonal curvilinear local grid of high resolution with spacing ranging from 150 to 10 m at the Balneário Camboriú Central Beach was designed, with the city of Itapema as its southern boundary and Itajaí as its northern boundary, until the 35 m isobath.

The bathymetry used was composed of digitalized data from navigational charts, provided by DHN and more detailed data for the region near the shore (Figure 14) acquired in situ, which were interpolated over the grids in the QUICKIN module of Delft3D model by the triangular interpolation method.

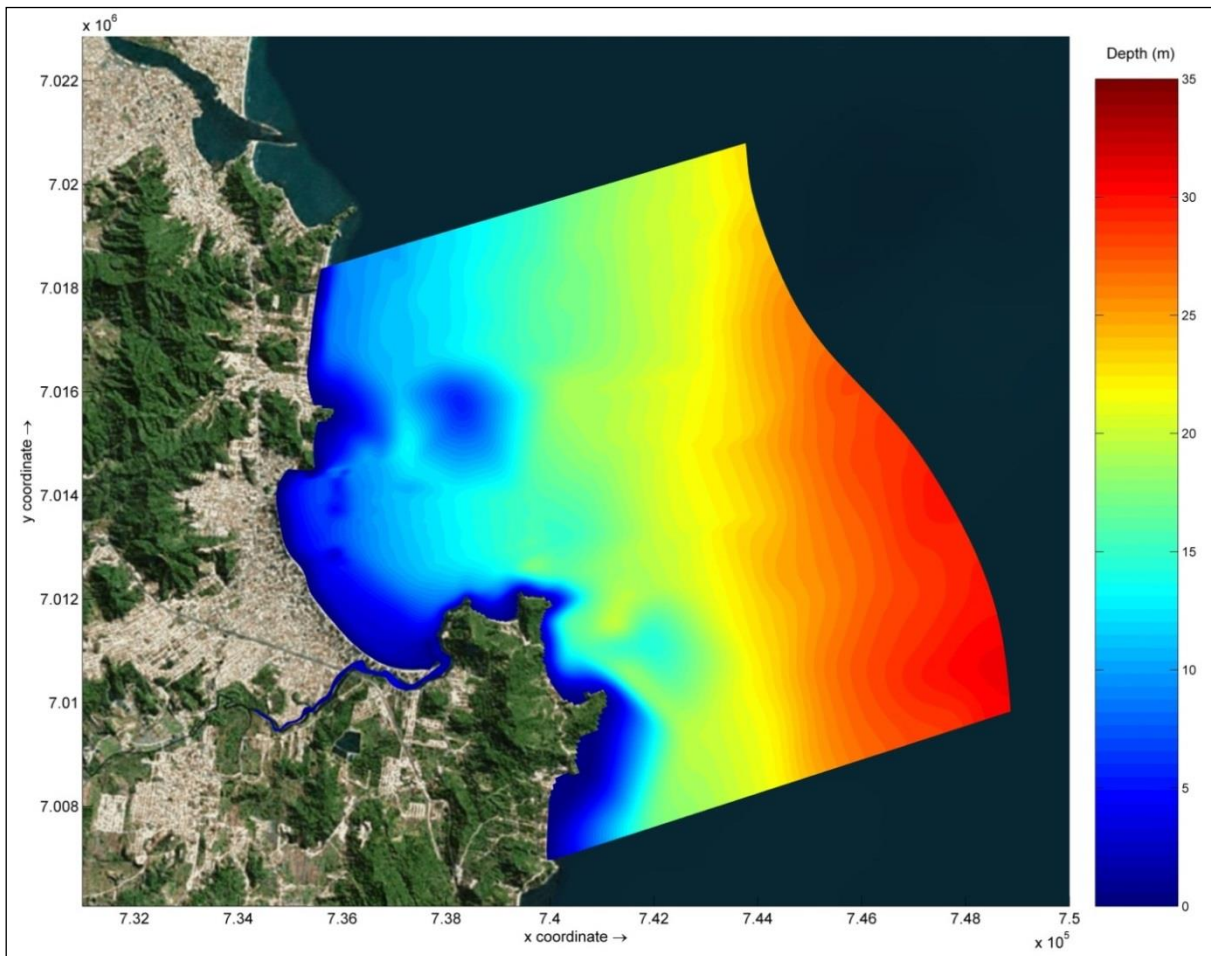


Figure 14. Shallow-water bathymetry interpolated over the local grid.

2.3 Model Input Data

2.3.1 River Discharge

For the Rio Camboriú, the main river that flows into the Central Beach of Balneário Camboriú, a mean discharge of $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ was adopted, as calculated by Silva and Schettini (1997).

The Canal do Marambaia is not associated with a coastal drainage basin, serving only for rainwater disposal (Menezes, 2008), and thus it does not contribute to the input of sediment and does not affect local coastal currents, so its discharge may be considered null.

2.3.2 Tidal Data

The tidal data inserted into the numerical model, described in Table 8, were obtained by analysis and determination of the harmonic constants acquired from the amplitudes measured on site, performed by the PACMARE program developed by Franco (2000).

Table 8. Tidal harmonic constants for Balneário Camboriú.

Constant	Amplitude (m)	Phase (deg)
MSf	0.0023	272.27
O1	0.0459	89.67
K1	0.0407	131.95
M2	0.2433	87.20
S2	0.1263	76.03
M3	0.0409	210.96
SK3	0.0086	234.45
M4	0.0598	153.38
MS4	0.0364	236.98
S4	0.0089	234.91
2MK5	0.0131	33.12
2SK5	0.0085	15.13
M6	0.0026	233.54
2MS6	0.0077	272.61
2SM6	0.0041	258.63
3MK7	0.0033	16.79
M8	0.0004	170.86

2.3.3 Wave Data

The wave data used were obtained from the reanalysis model WAVEWATCH III module WW3, extracted at the point of the geographical coordinates 27 ° S and 47.5 ° W. Spanning a period of 12 years, they were propagated from shallow to deep water, using the SWAN model by Delft3D-WAVE module. For this, 240 cases were selected that significantly represent the pattern of the location based on the characterization of the wave climate in deep water.

The selected cases were propagated to shallow water over the grids G1 and G2. Then, using the Hypercube methodology (Bonanata *et al.*, 2010), the wave time series for shallow waters was reconstructed, at a depth of approximately 30 m in front of the Balneário Camboriú bay with the same size as that of the original series (in deep water). Based on the Hs directional rose (Figure 15), the occurrence of significant waves in the directions between north-northeast and south-southeast is observed.

From the data series in the shallow water, it was possible to select the cases of waves to be further used in the simulations of the propagation of the waves, currents and local morphological changes. This selection can be performed by wave-climate-reduction methods, which aim to reduce the entire data series in a group of representative cases to accelerate morphological simulations, performed by the Delft3D-FLOW, seeking a good representation of the morphological effects caused by the wave climate at the site.

The wave-climate-reduction method used in this study is the fixed classes method described by Dobrochinski (2009). The case group of the temporal series that was considered in the reduction of the wave climate has an approaching direction between ENE and SSE, and the data that are within this window were divided into four directional sectors at equal intervals, each of which were divided into three height classes, based on the frequency of the occurrence of each class, resulting in a total of 12 classes. A representative case was found for each of these classes, in which the significant wave height, peak period and direction of approaching waves are the values with the highest frequency of occurrence found within the class. Table 9 presents the characteristics of each selected case.

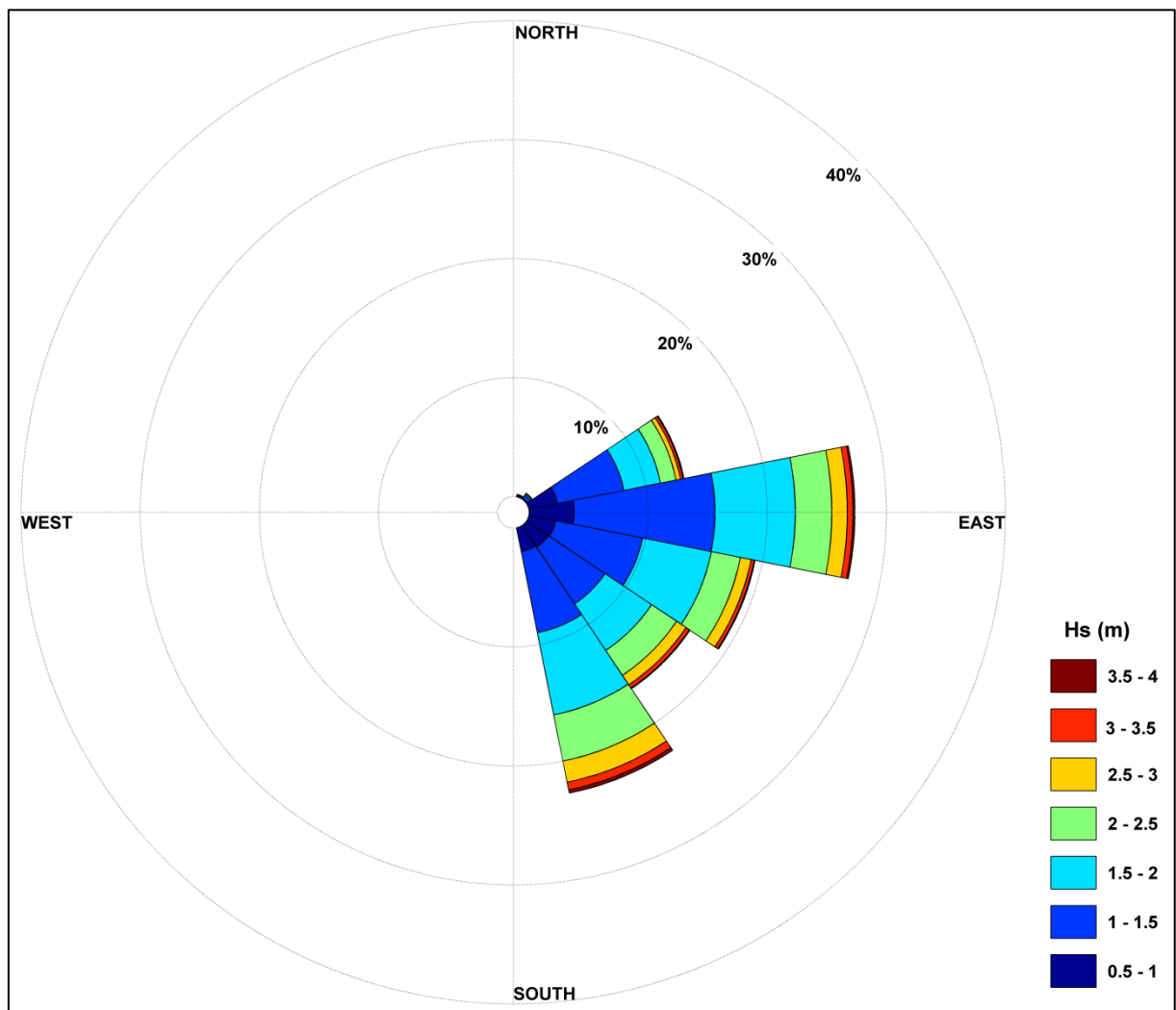


Figure 15. Directional Hs rose in shallow water, at a 30 m depth in front of the Balneário Camboriú bay.

Table 9. Selected wave case characteristics.

Case	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
1	1.29	7.24	E
2	1.77	7.27	ENE
3	2.83	8.75	ESE
4	1.45	8.73	SSE
5	2.53	7.67	ENE
6	2.22	9.37	SSE
7	2.64	8.27	E
8	1.37	8.04	ESE
9	3.17	10.45	SSE
10	1.95	8.44	ESE
11	1.23	6.86	ENE
12	1.85	7.88	E

2.3.4 Numerical Model Calibration and Validation

For the numerical-model validation, an acoustic Doppler current profiler (ADCP) was anchored at the Balneário Camboriú Central Beach between the days of 11/15/2012 and 12/14/2012, measuring every 10 minutes. The simulations for the level calibration were performed for the same period, using as forcing the elevation level generated from the harmonic constants included in the model.

Comparing the measured and simulated tide series (Figure 16), the model satisfactorily represented the measured tidal data period. This statement is confirmed by the correlation coefficient R^2 , approximately 0.9, which represents a strong correlation between the data.

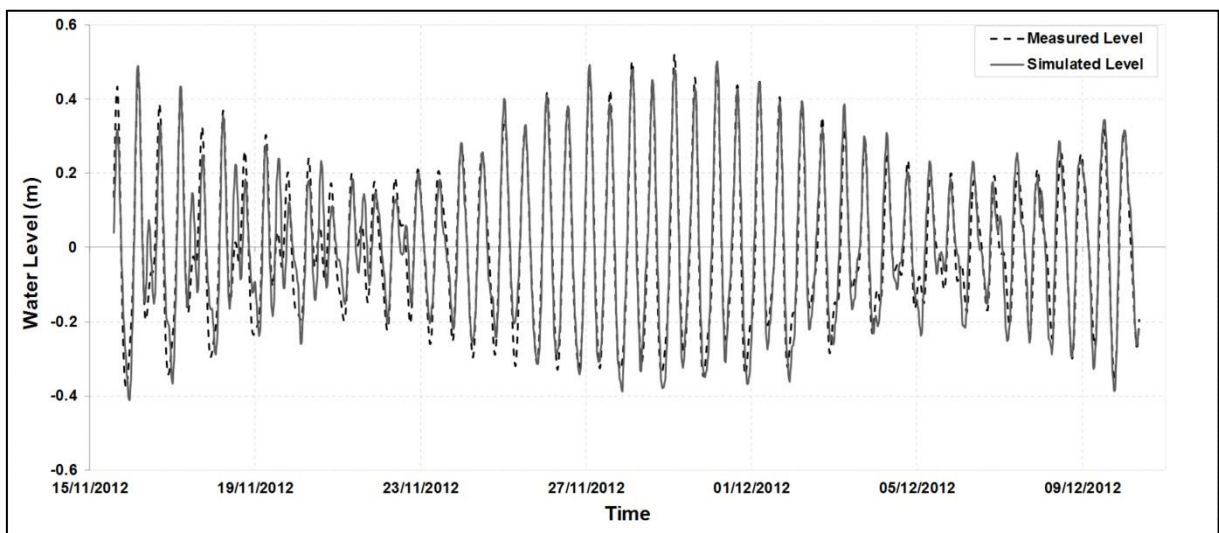


Figure 16. Comparison chart between measured and simulated tidal data.

2.3.5 Modeled Scenarios

To analyze the impacts of the nourishment, the numerical modeling was performed for the 12 cases of the most representative wave that reaches the Balneário Camboriú bay, as described in Table 9, considering the present and the future scenarios. For both, the simulations were performed under the same temporal, climatic and oceanographic conditions, being differentiated through the distinct morphological configurations, represented by the modified water depths close to the coast due to the beach nourishment in the future scenario.

3. RESULTS

3.1 Beach nourishment effects in wave propagation

Based on the simulations of waves in the present and future scenarios, it was possible to evaluate the impacts resulting from the Balneário Camboriú Central Beach nourishment related to the variation in significant wave height (H_s) for the twelve selected cases (Table 9). As examples, the propagation results of the two most significant extreme cases (Table 10) simulated for the present scenario are presented in Figure 17 to Figure 20, in addition to the H_s differences generated by the nourishment construction.

The results of cases 3 ($H_s = 2.83$, $T_p = 8.75$ s, Dir = ESE) and 9 ($H_s = 3.17$, $T_p = 10.45$ s, Dir = SSE) will not be shown; although they represent extreme energy events, they arrive with lower H_s at the center-north region of Santa Catarina because of their directions of incidence because this region is shaded by the Ilha de Santa Catarina, Arquipélago de Arvoredo and the Península de Porto Belo (Figure 13). Moreover, they suffer diffraction at the Ponta das Laranjeiras approaching the shore with H_s values close to zero in the case of SSE and with greater energy loss in the central and southern portions of the bay for the waves of ESE. Therefore, in these cases, no significant variations of H_s that result from artificial beach nourishment occur.

In the present scenario, the waves from ENE (Figure 17) and E (Figure 18) lose low energy as they approach the coast. The waves from E suffer from diffraction at the Ponta das Laranjeiras, whereas the ENE arrive almost perpendicular and suffer fewer diffraction effects, with shade being observed only in the southern portion of the bay caused by the feature.

The simulations of wave propagation for the future scenario showed very similar results to the present situation, differing only in the break zone, which happens when the wave reaches a depth of approximately 1.3 times higher than the H_s ; after this moment, energy dissipation occurs causing a reduction of the H_s values.

The major changes are noted for the undulations of ENE (Figure 19) and E (Figure 20), a decrease of H_s that occurs between 30 cm and 1.2 m along the bay. However, in all of the extreme cases simulated, energy reduction was observed along the beach after artificial nourishment.

Table 10. Most representative extreme wave cases selected for simulation.

Case	H_s (m)	T_p (s)	Dir (°)
1	2.53	7.67	ENE
2	2.64	8.27	E

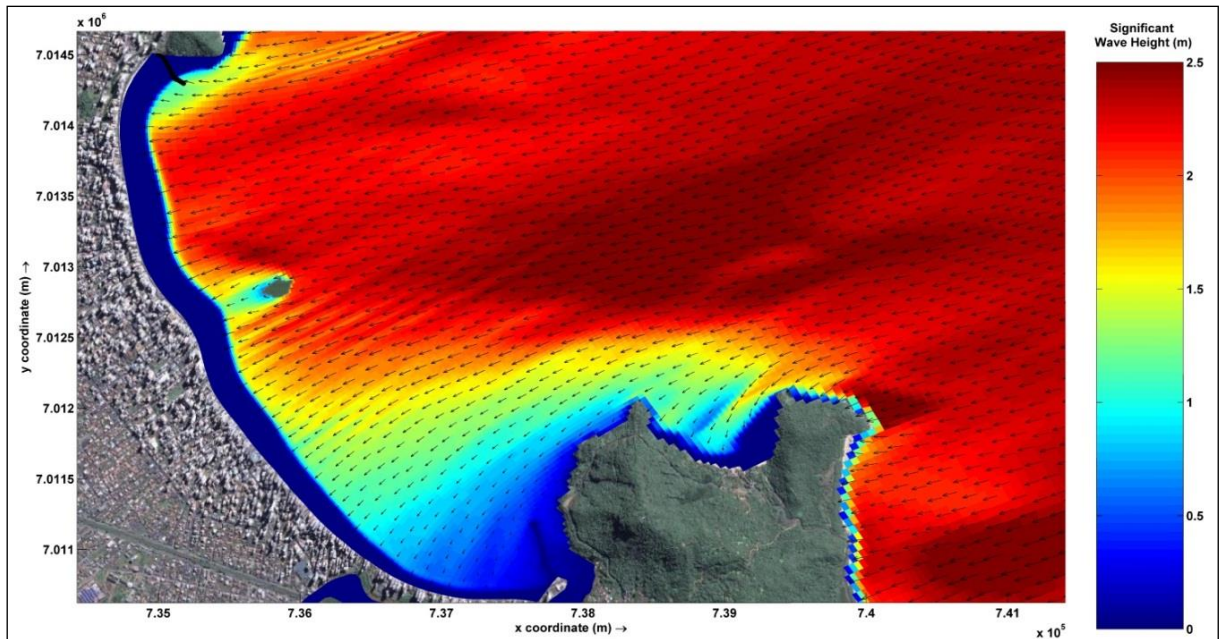


Figure 17. Significant wave height in the present scenario for the case of waves with $H_s=2.53$; $T_p=7.67$ s; Dir=ENE.

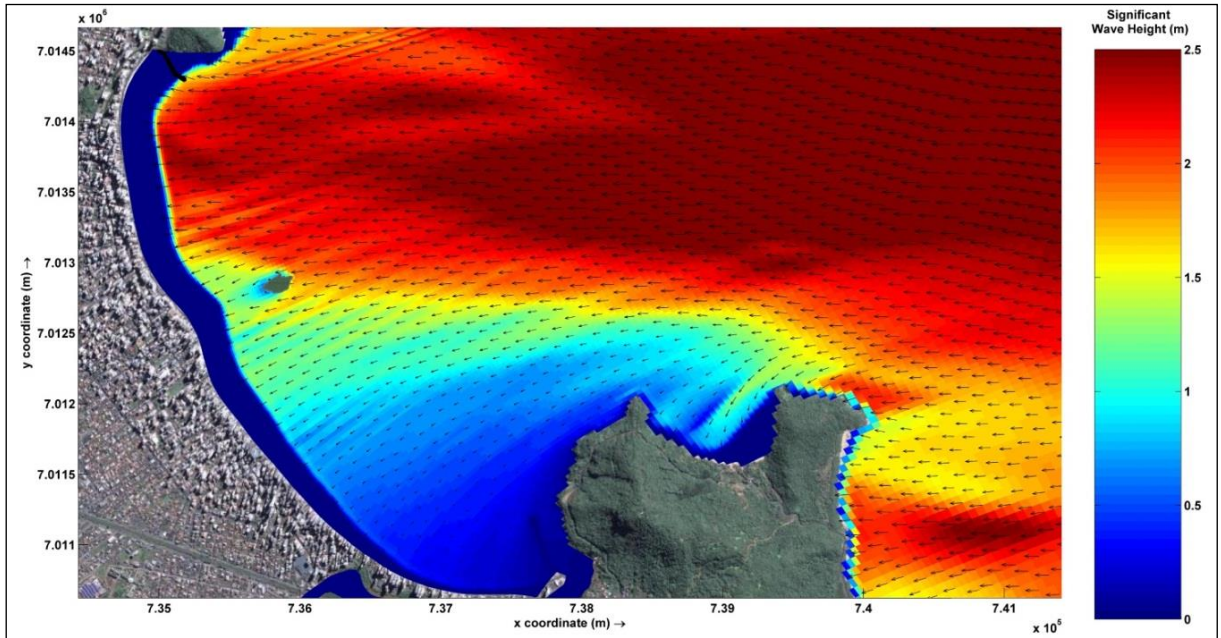


Figure 18. Significant wave height in the present scenario for the case of waves with $H_s=2.64$; $T_p=8.27s$; $Dir=E$.

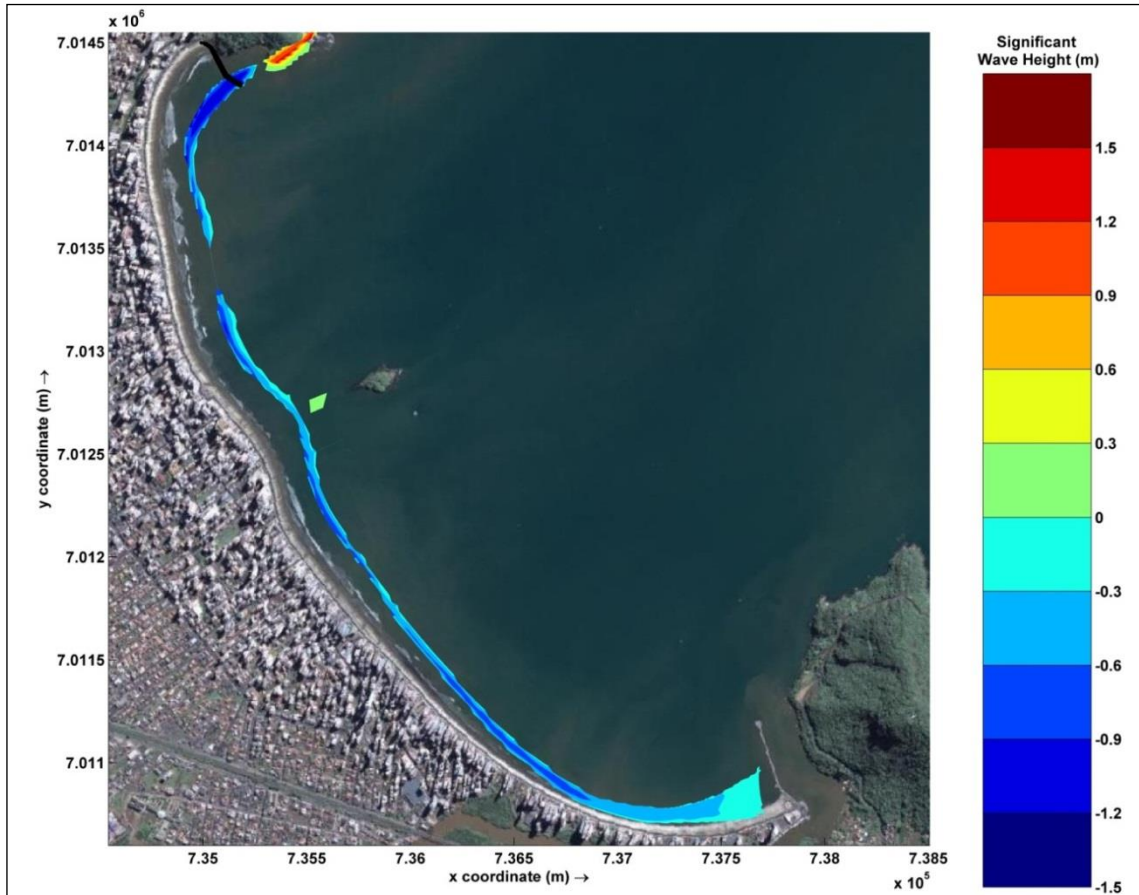


Figure 19. H_s differences between the two scenarios in the case of waves with $H_s=2.53$; $T_p=7.67s$; $Dir=ENE$.

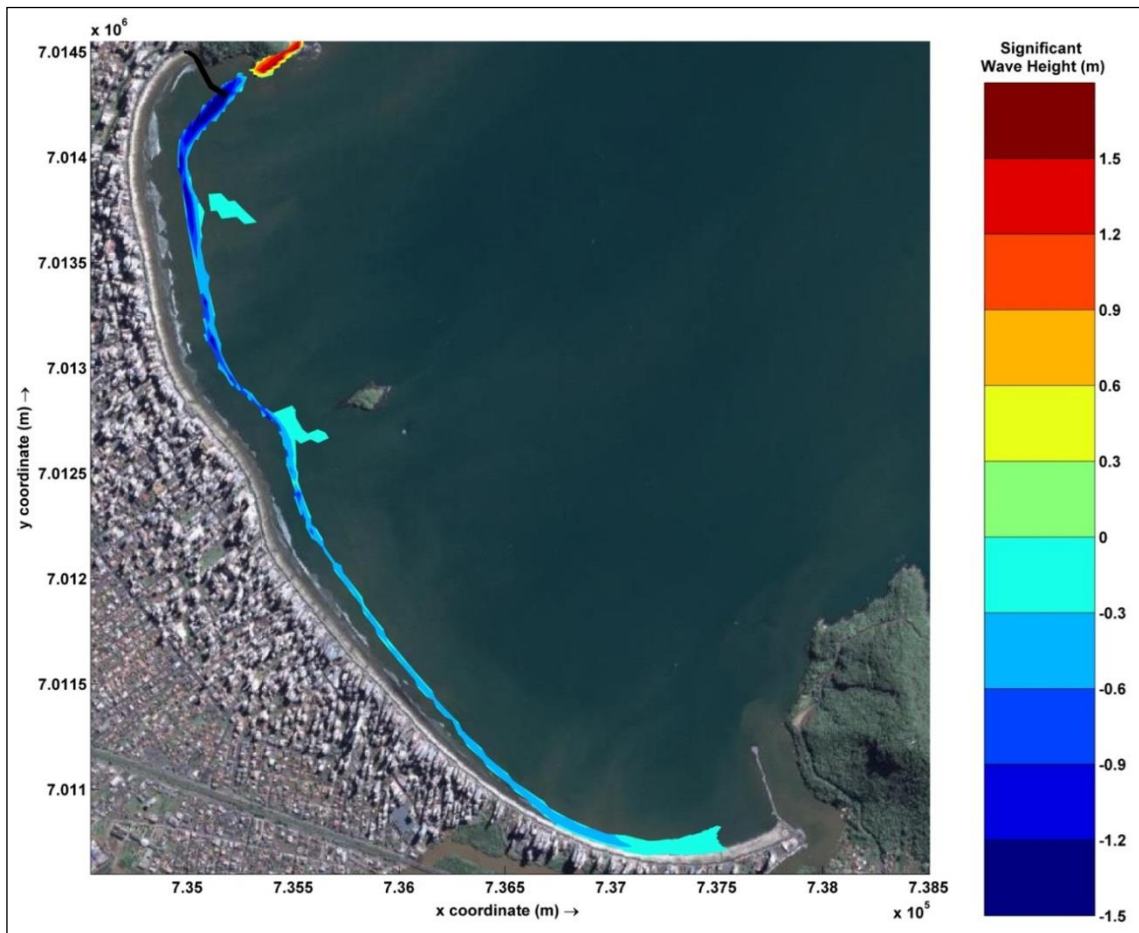


Figure 20. H_s differences between the two scenarios in the case of waves with $H_s=2.64$; $T_p=8.27s$; $Dir=E$

3.2 Beach nourishment effects in hydrodynamics

To characterize the patterns of the hydrodynamic flow, the results of the intensity and direction of the currents are presented for the two extreme cases of the most significant waves in Figure 21 to Figure 24; these are related to the major directions of the incident waves. The simulations of the present and future scenarios were compared, and the differences in the magnitude of the currents caused by the nourishment of the Balneário Camboriú Central Beach were calculated.

In the present situation, with the wave incidence from ENE (Figure 21) and E (Figure 23), the current velocity is 0.3 to 0.4 m/s, which is intensified in the northern portion of the bay, passing from 0.7 to 0.9 m/s. In the future scenario, the pattern of the coastal hydrodynamics remained similar, with variations in magnitude from 0.2 m/s to 0.8 m/s at the north of the bay (Figure 22 and Figure 24).

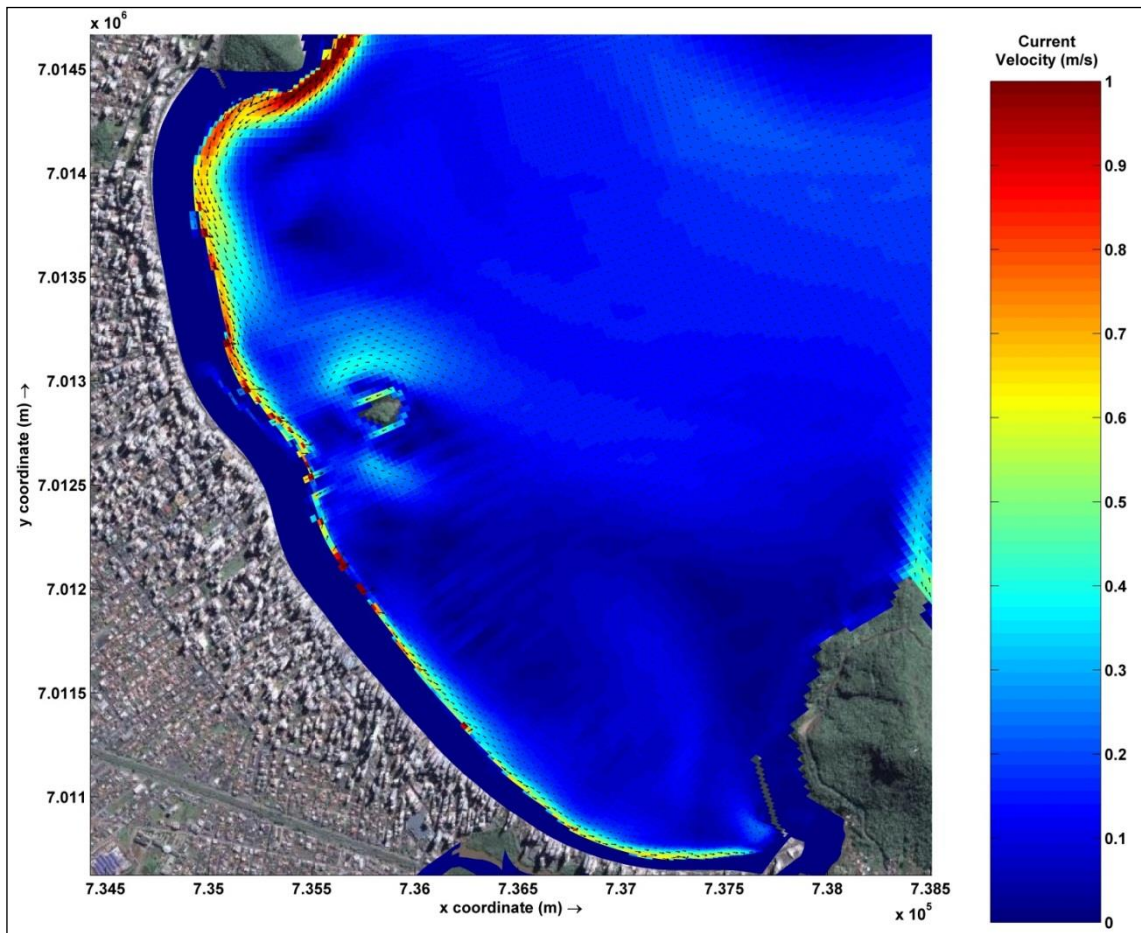


Figure 21. Current velocity in the present scenario for the case of waves with $H_s=2.53$, $T_p=7.67s$, $Dir=ENE$.

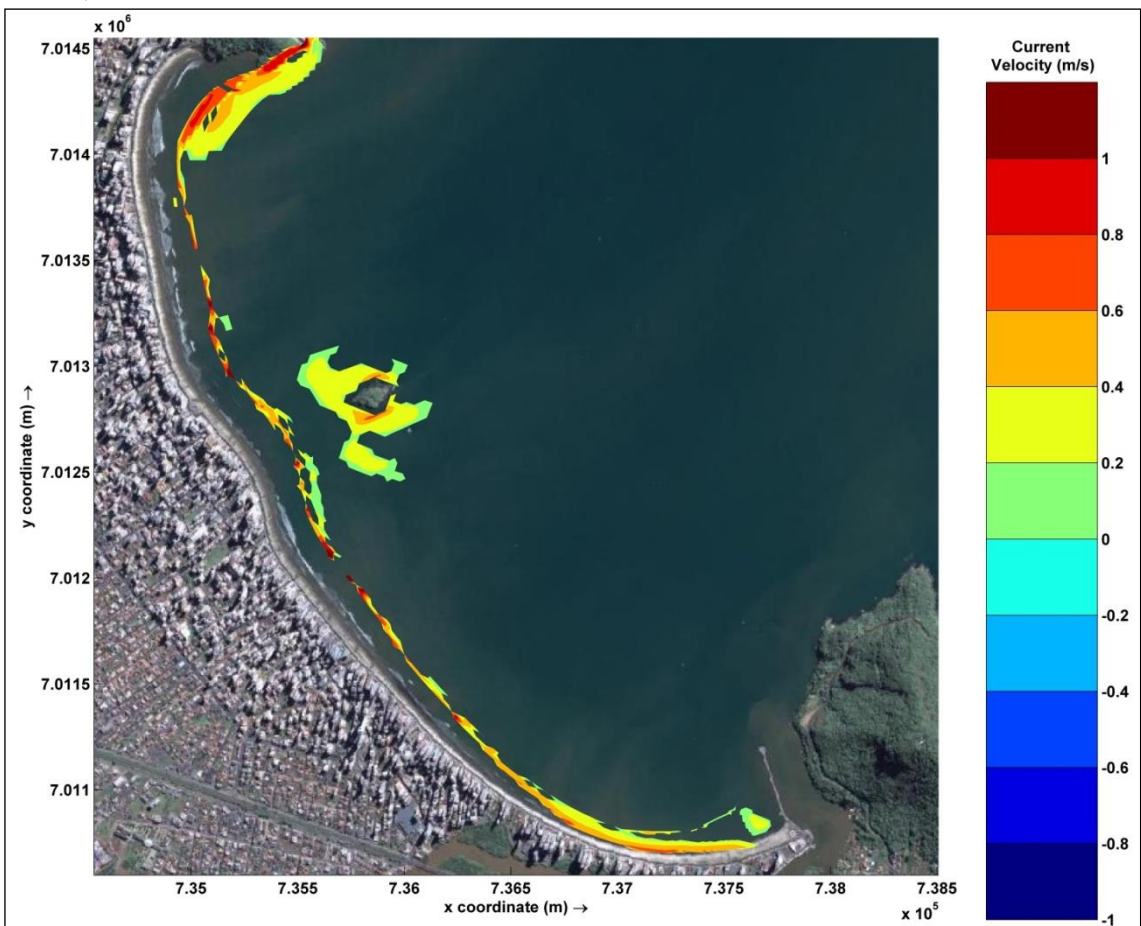


Figure 22. Current velocity differences between the two scenarios for the case of $H_s=2.53$, $T_p=7.67s$ $Dir=ENE$.

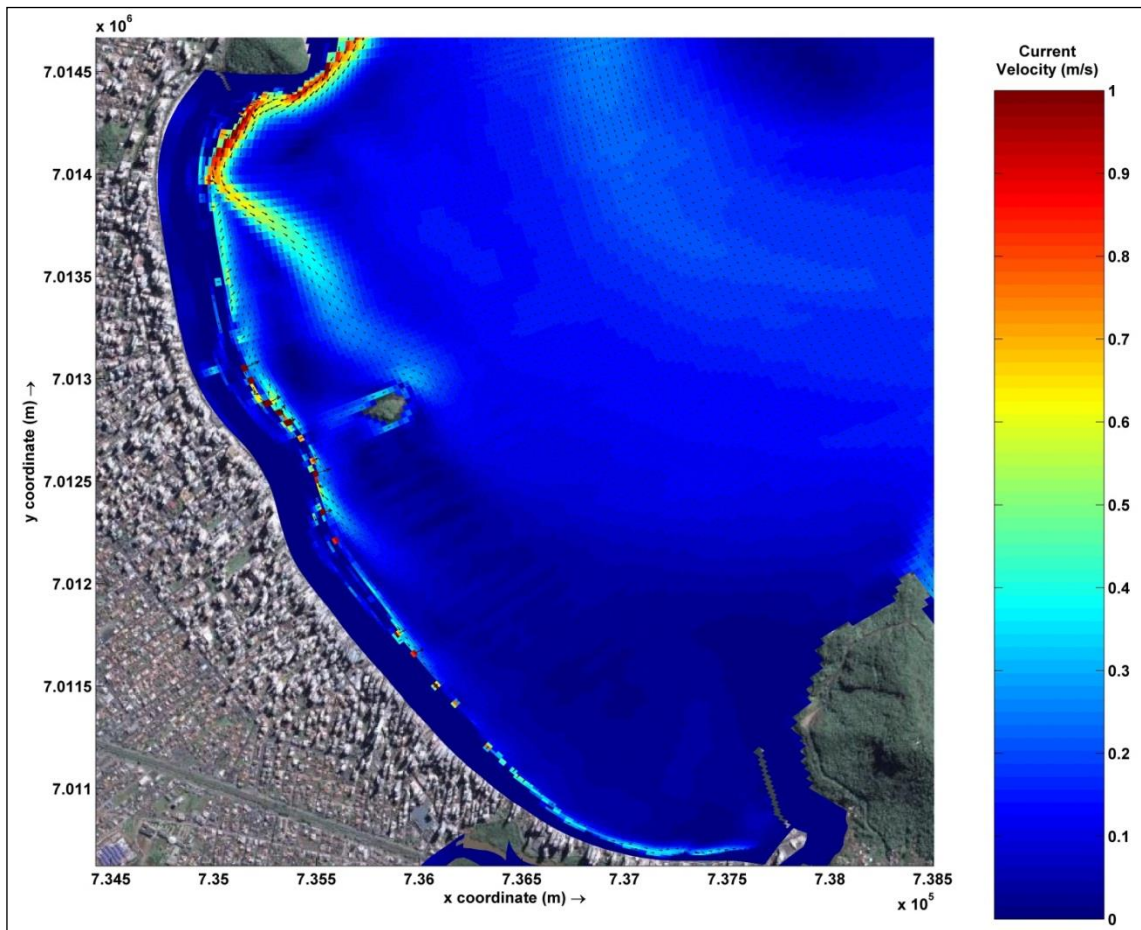


Figure 23. Current velocity in the present scenario for the case of waves with $H_s=2.64$, $T_p=8.27s$, $Dir=E$.

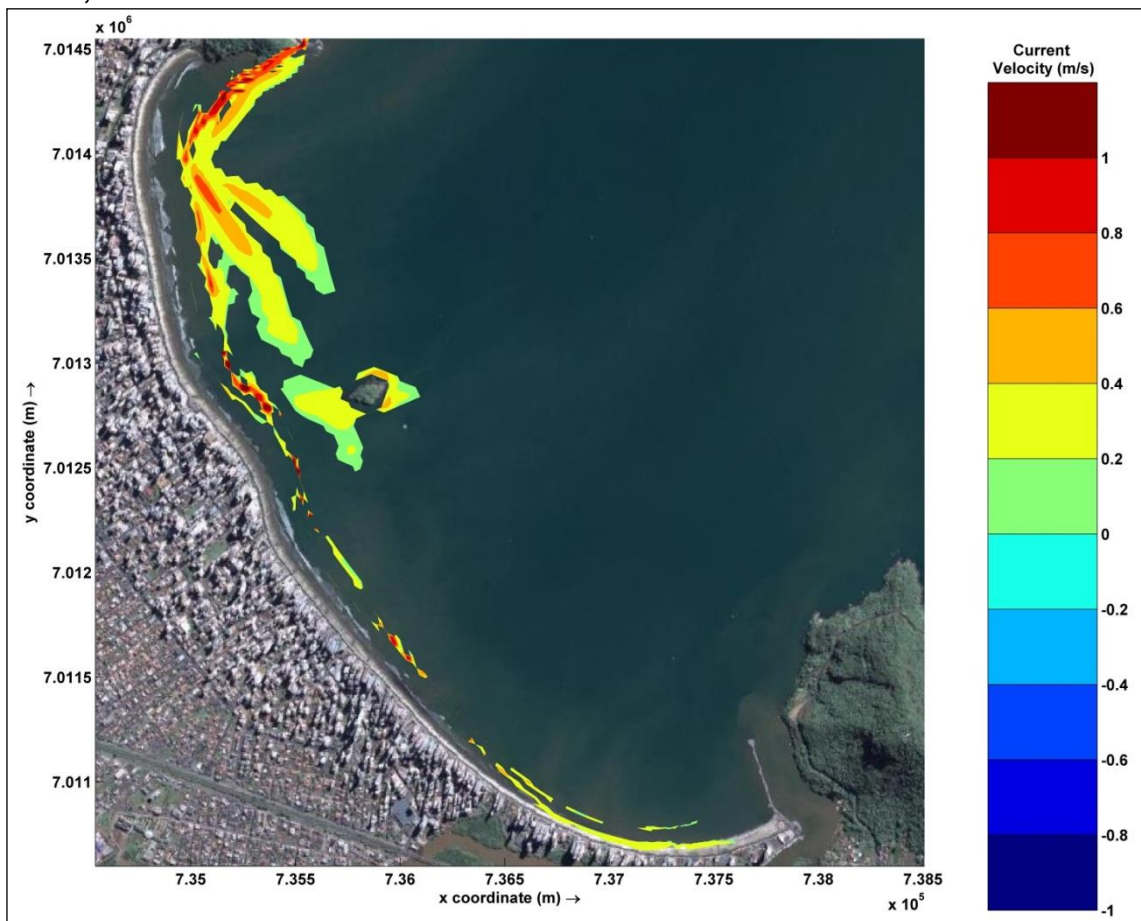


Figure 24. Current velocity differences between the two scenarios for the case of $H_s=2.64$, $T_p=8.27s$, $Dir=E$.

3.3 Beach-nourishment effects on the coastal morphology

The morphodynamic model was run for the period of one year, satisfactorily covering the annual tidal cycle and the seasonality of the pattern of wave propagation for the present and future scenarios, and the results were compared to determine the effects of the nourishment in the morphology of the seafloor and of the Balneário Camboriú Central Beach.

Figure 25 shows the morphological variations for the period in the present scenario, where the positive and negative values represent areas of deposition and erosion, respectively. The deposition area stretches along the beach, ranging from 1 to 5 m in the north of the bay. An area of erosion in the shoreface is still observed, from -1 to -4 meters, indicating an exchange of sediment between this region, which acts as a source of sediment, and the region in which it is deposited, forming longitudinal beach banks.

In the future scenario, the morphological patterns are similar to the present, but they differ once the width of the beach is approximately 100 m larger. According to Figure 26, a significant difference in the areas of erosion will not occur that are common to both scenarios. Furthermore, changes in the depositional areas were observed from 0.1 to 1 m along the inlet, reaching 3 m in the north.

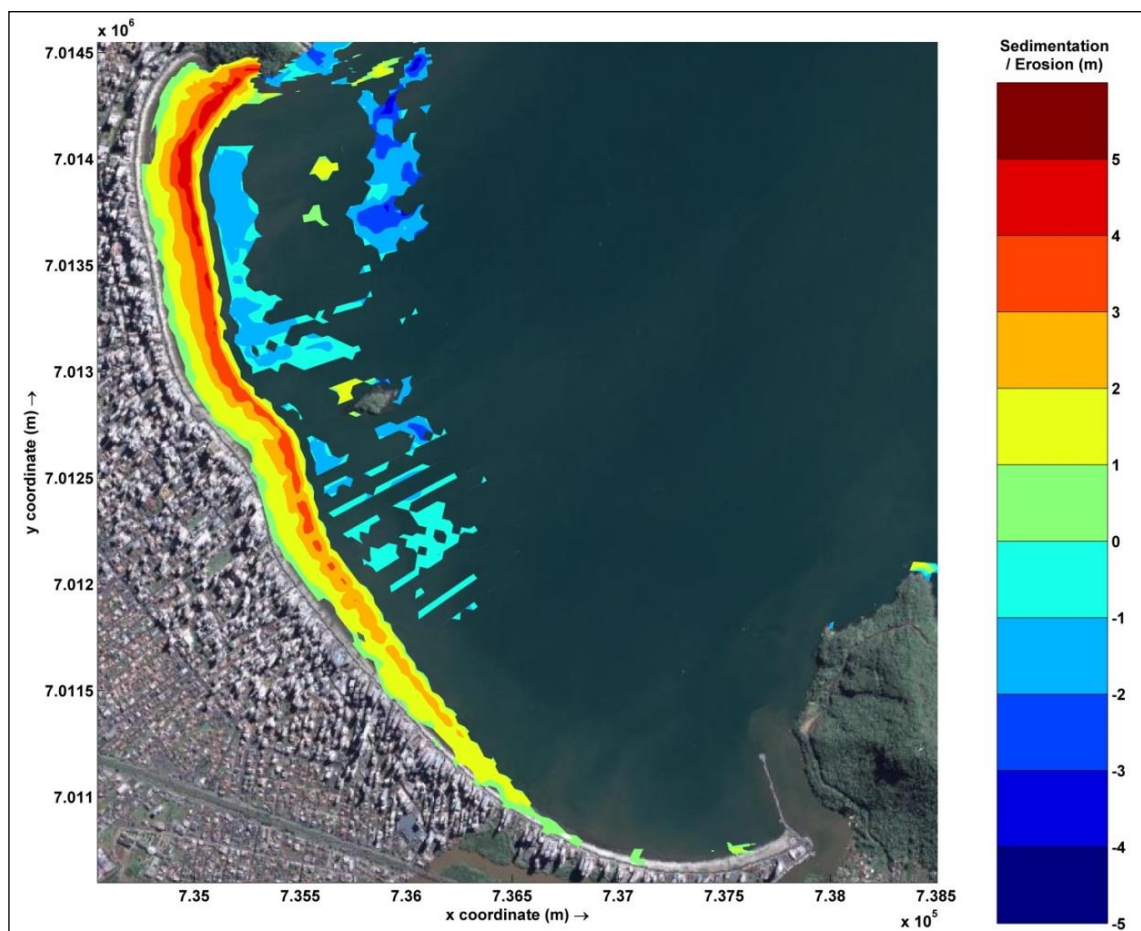


Figure 25. Variations in the bottom morphology for the present scenario after 1 year.

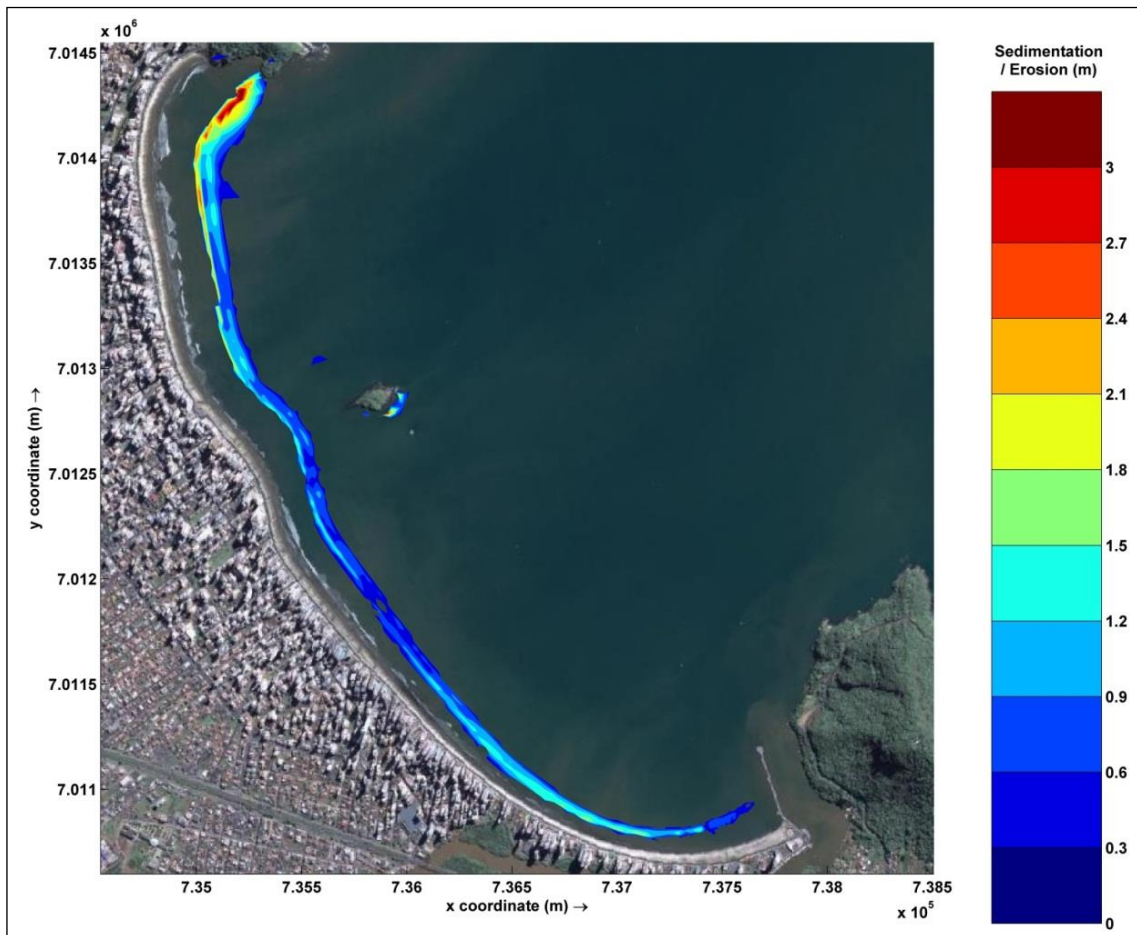


Figure 26. Differences between variations in the bottom morphology in the present scenario and the future scenario after 1 year

4. DISCUSSION

Comparing the results obtained from simulations of wave propagation in the present scenario with the results in the scenario after the nourishment of the Balneário Camboriú Central Beach, it is observed that in the future scenario, the processes related to wave breaking and the consequent energy dissipation occur approximately 100 m ahead of the current location, according to the new configuration of the coast, which will be expanded by this proportion, moving the shallower water depths towards the sea. The reduction in the energy verified next to the beach after the artificial nourishment will favor the stability of the new beach profile and fewer potential and localized erosive processes.

The differences in the current velocity between the two scenarios are evidenced by the fact that the sand stretch width will be increased by approximately 100 meters, which moves the shallower water depths toward the sea. Therefore, coastal currents will occur in the new wave-break zone and surf zone (future scenario), which will be developed in a region for which the current velocities are at present very low.

No influence of beach nourishment will occur on the water quality in the bay because the present patterns of hydrodynamic circulation will not be altered.

By comparison of the morphological patterns, it can be observed that no significant difference will occur in the erosion areas, which are common to both scenarios, showing that, after the readjustment of the equilibrium beach profile, the beach will tend to be stable, losing volumes of sediment to the bay, which should behave as a closed system, as remarked by Menezes (2008).

Variations in the depositional areas in the bay are related to the reorganization of the environment and of the beach profile due to the new bathymetric configuration of the bay, considering that the formation of longitudinal banks will move 100 m towards the sea, where sediments will be reworked by waves and coastal currents to a new equilibrium position by the new coastal dynamics.

Considering that the morphological conditions will be maintained, the Central Beach of Balneário Camboriú will remain with its dissipative characteristics because the grain size for the nourishment is very close to the existing grain size of the natural beach; thus, its slope will be maintained as smooth. As a result, the swimming conditions will be preserved, and the natural hazards of the beach to the bath will increase as the incident wave height increase.

5. CONCLUSIONS

The wave propagation, hydrodynamic and morphological models were performed for two scenarios, the present and the future, following beach nourishment, for which we have aimed to analyze the possible impacts resulting from the implementation of the project hydraulic fill in the Balneário Camboriú Central Beach.

For the propagation of waves from ENE and E, a maximum attenuation of -1.2 m in wave height was observed. Therefore, the studies have shown that for waves from these directions, there may be a decrease in energy due to the new configuration of the coast, thus favoring the processes of sediment deposition, mainly in the northern part of the bay.

The results of the hydrodynamic model, considering the present scenario, showed that for cases of waves from E and ENE, coastal currents reach maximum velocities of 0.9 m / s, and with the beach nourishment, the currents showed a maximum intensification of 0.8 m / s. The coastal currents will occur in the new wave-

break zone and surf zone (future scenario), which will be developed in a region where, in the present scenario, the velocities are very low.

The analysis of potential impacts on the coastal morphology after a year of simulation demonstrated the maximum deposition of 1 m along the bay and 3 m in the northern portion. These variations will occur because the formation of the longitudinal banks will move 100 m towards the sea. No erosion areas were observed as losses of sediment to the bay, which should behave as a closed system, as described in Menezes (2008).

The beach safety conditions will be maintained because the morphological characteristics of the dissipative beach will be preserved. The natural risk of the beach is related to the height of the incident wave, so the Central Beach of Balneário Camboriú may become safer; studies have shown a decrease in wave height for cases from the ENE and E.

Generally, the hydrodynamic process, wave propagation and morphology changes due to beach nourishment that will occur in the Balneário Camboriú Central Beach will be a consequence of the enlargement of the sand stretch width by approximately 100 m, which will cause the processes occurring in the present coast to be displaced towards the sea, where they will be located at shallower water depths. Thus, the processes that will occur in the future scenario will be very similar to those occurring in the present scenario, although they will be shifted approximately 100 m toward the sea.

6. LITERATURE CITED

- Araujo, R.S., 2008. Morfologia do Perfil Praial, Sedimentologia e Evolução Histórica da Linha de Costa das Praias da Enseada do Itapocoróí – SC. Itajaí, SC: Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), Master's thesis, 145p.
- Beaumord, A.C. and Diehl, F., 2006. Environmental Threats in the Central and Northern Coast of Santa Catarina State: an Overview. *In: Proceeding, ICS 2004*, Journal of Coastal Research, Special Issue No. 39, pp. 1017-1020.
- Bonanata, R.; Medina, R.; Silveira, L., and Benedet, L., 2010. Metodología para la Caracterización del Clima Marítimo en un Punto Cerca de la Costa a Partir de una Serie de Datos en Aguas Profundas. *In: Proceedings of the VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria* (Buenos Aires, Argentina), 14p.

- Dean, R.G., 2002. *Beach Nourishment: Theory and Practice*. Singapura: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., v. 18, 324 p.
- Dean, R.G., 1977. *Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coast*. Ocean Engineering, *Technical Report No. 12*, 45p.
- Dobrochinski, J.P.H., 2009. Redução e esquematização de clima de ondas para modelagem morfológica. Itajaí, SC: Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), Bacherol's thesis, 92p.
- Franco, A.S., 2000. *MARÉS: Programa para previsão e Análise*. São Paulo, SP, 36p.
- Hanson, H.; Brampton, A.; Capobianco, M.; Dette, H.H.; Hamm, L.; Laustrup, C.; Lechuga, A. and Spanhoff, R., 2002. Beach nourishment projects, practices, and objectives – a European overview. *Coastal Engineering*, 47, 81-111.
- Hoefel, F.G., 1998. *Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: Uma Revisão Bibliográfica*. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 90p.
- Hoefel, F.G. and Klein, A.H.F., 1998. *Environmental and social decision factors of beach safety in the central northern coast of Santa Catarina, Brazil*. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, *Notas Técnicas da Facimar No. 2*, pp. 155 – 166.
- Klein, A.H.F and Menezes, J.T., 2001. Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. *Journal of Coastal Research*, 17(4), 812-835.
- Klein, A.H.F.; Benedet Filho, L. and Schumacher, D.H., 2002. Short-term beach rotation processes in distinct headland bay beach systems. *Journal of Coastal Research*, 18(3), 442-458.
- Klein, A. H. F.; Mocellim O.; Menezes, J. T.; Berribilli, M.; Vintém, G.; Dafferner, G.; Diehl, F. L.; Sperb, R. M. and Santana, G. G., 2005. Beach Safety Management on the Coast of Santa Catarina, Brazil. *Z. Geomorph.*, N.F. 141, 47-58.
- Klein, A.H.F.; Ferreira, O.; Dias, J.M.A., Tessler, M.G., Silveira, L.F., Benedet, L., Menezes, J.T. and Abreu, J.G.N., 2010. Morphodynamics of structurally controlled headland-bay beaches in southeastern Brazil: A review. *Coastal Engineering*, 57, 98-111.
- Komar, P. D, 1976. *Beach Process and Sedimentation*, New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 429p.

- Menezes, J. T., 2008. Balanço de Sedimentos Arenosos da Enseada de Balneário Camboriú-SC. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ph.D thesis, 149p.
- Olpe, C.A., 2012. Avaliação de Dois Tipos de Obras de Engenharia Costeira como Alternativas de Contenção/Mitigação do Processo Erosivo na Enseada do Itapocorói-SC, Utilizando Modelagem Numérica. Itajaí, SC: Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), Bacherol's thesis, 138p.
- Pezzuto, P.R.; Resgalla Jr., C. Abreu, J.G. N. and Menezes, J. T., 2006. Environmental impacts of the nourishment of Balneário Camboriú Beach, SC, Brazil. *In: Proceedings, 8th International Coastal Symposium, Journal of Coastal Research, Special Issue No. 39*, pp. 863 - 868.
- Polette, M. and Raucci, G. D., 2003. Morphological proposal for Carrying Capacity Analysis in Sandy Beaches: a Case Study at the Central Beach of Balneário Camboriú (Santa Catarina, Brazil). *In: Proceedings, Brazilian Symposium on Sandy Beaches: Morphodynamics, Ecology, Uses, Hazards and Management, Journal of Coastal Research. Special Issue No. 35*, pp. 94-106.
- Silva, L.F. and Schettini, C.A.F., 1997. Contribuição à hidrologia do estuário do rio Camboriú: avaliação da contribuição fluvial. *In: Anais, X Semana Nacional de Oceanografia* (Itajaí, SC), pp. 496-498.
- Silveira, L. F.; Klein, A. H. F. and Tessler, M. G., 2011. Morphodynamical classification of beaches from Santa Catarina State and north coast of São Paulo State using remote sensing. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 15(2), 13-28.
- Temme, B.; Klein, A. H. F.; Carvalho, J. L. B. and Diehl, F. L., 1997. *Morphologic Behaviour of the Beach of Balneário Camboriú: Preliminary Results*. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, *Notas Técnicas da Facimar No. 1*, pp. 49 – 65.
- WL | Delft Hydraulics, 2011a. *Delft3D-FLOW- User Manual, Version 3.15. Simulation of Multidimensional Hydrodynamic Flows and Transport Phenomena, Including Sediments*. Delft, The Netherlands, 690 p.
- WL | Delft Hydraulics, 2011b. *Delft3D-WAVE- User Manual, Version 3.04, Simulation of Short-crested Waves with SWAN*. Delft, The Netherlands, 214 p.
- Wright, L.D. and Short, A.D, 1984. Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches a Synthesis. *Marine Geology, Amsterdam*, 56, 93-1.

CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente estudo contribuem para o conhecimento acerca dos processos hidrodinâmicos e morfológicos atuantes na enseada da Praia Central de Balneário Camboriú, localizada no litoral centro-norte de Santa Catarina e possibilitam a avaliação do desempenho do projeto de alimentação artificial proposto para a enseada em questão.

A escolha dos métodos, principalmente a simulação dos cenários propostos utilizando o modelo Delft3D, mostrou-se excelente, pois os resultados permitiram alcançar os objetivos propostos.

Através de dados de ondas em águas profundas foi possível caracterizar o clima de ondas na área de estudo, com resultados semelhantes aos descritos na literatura disponível.

As simulações realizadas a partir do modelo Delft3D apresentaram os mesmos padrões de ondas, correntes e morfologia que aqueles descritos na literatura, demonstrando a coerência dos resultados apresentados com os processos hidrodinâmicos e morfológicos observados na enseada.

Foi possível realizar comparações entre os cenários simulados, quanto ao padrão de ondas, correntes e variações morfológicas, demonstrando os possíveis impactos da obra de alimentação artificial na enseada da Praia Central de Balneário Camboriú.

A confiabilidade dos resultados apresentados neste estudo depende da fidelidade na utilização dos parâmetros descritos no projeto da obra de alimentação artificial, sendo que se forem aplicados parâmetros diferentes, os resultados observados após a obra de alimentação artificial podem ser distintos dos obtidos a partir das simulações, descritos neste documento.

ANEXO 1 – Carta de Submissão do Artigo

Submission Confirmation for Beach Nourishment Predicting Impacts at an Embayed Beach



The Journal of Coastal Research (cfinkl@cerf-jcr.com) Adicionar aos contatos 04,
Para: Bruna Calloni ▾

Dear Ms. Calloni,

Your submission entitled "Beach Nourishment Predicting Impacts at an Embayed Beach" has been received by the Journal of Coastal Research

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to <http://jcoastres.edmgr.com/>.

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to the Journal of Coastal Research (JCR). If you have any questions, please contact us at: cerf.jcr@gmail.com

Kind regards,

Charles W. Finkl
Editor
Journal of Coastal Research

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“IMPACTOS DA OBRA DE ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL EM UMA PRAIA DE ENSEADA”
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autor: BRUNA CALONI
Orientador: Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Junior
Examinador: Profa. Dra. Carla de Abreu D'Aquino
Data: 30 de maio de 2014
Conceito: B (BOM)
PARECER:
<p>A dissertação apresenta objetivos claros e condizentes com um mestrado. Foi desenvolvida no formato de artigo conforme normatização do PPGGEO. Esta bem redigida, com poucos erros. Parabéns aos envolvidos no seu desenvolvimento. As considerações do presente parecer serão descritas conforme os capítulos e os subtópicos da dissertação avaliada.</p> <p>Capítulo 1</p> <p>No item 1.2.2 a aluna afirma: "A influencia da maré na enseada não é muito grande, uma vez que sua amplitude é pequena e as correntes induzidas podem ser negligenciadas". Porém ela não sustenta ou referencia tal afirmação, no final do mesmo parágrafo destaca "a influencia meteorológica no nível do mar como sendo muito importante, uma vez que a praia tem inclinação muito suave..." essa afirmação é relevante, porém, deixa o parágrafo contraditório uma vez que ambos os processos tem quase a mesma amplitude (aproximadamente 1m) e a maré astronômica tem frequência constante.</p> <p>No item 1.2.6 (página 21), o segundo parágrafo esta solto no contexto, além disso, faltou mencionar como foi calculado o RTR, e de onde vem o valor mencionado. No ultimo parágrafo deste tópico a autora fala sobre o cálculo do balanço de sedimentos arenoso, mas não comenta que cálculo? Que método? Baseado em que? Em quais dados? Este tópico de forma geral poderia ter sido escrito com um pouco mais de cuidado e detalhe uma vez que ele daria fundamentação para atingir e discutir o objetivo principal da dissertação... Faltou falar sobre quais características morfológicas o modelo representa bem, por exemplo.</p> <p>No item 1.2.7 na figura 5 seria interessante colocar a data, e na figura 6, data e horário. Em Processos Erosivos (página 24) a autora comenta: "a razão exata para essa erosão não é conhecida, mas algumas causas possíveis são sugeridas..." baseadas em que? O que são <i>hotspots</i>? Existe tradução para este termo.</p> <p>No item 1.3.2.3 sobre a profundidade de fechamento, faltou explorar um pouco mais o tema. Existem outros métodos de cálculo que poderiam ter sido mencionados e destacada a vantagem de utilizar o método escolhido, uma vez que este parâmetro é muito importante para o objeto de estudo.</p> <p>No item 1.4.11 (página 38) os coeficientes são diferentes? Estão descritos da mesma forma da legenda da equação 6. Na página 39, equação 7, faltou descrever o significado do sigma (σ). Página 41, equação 9, não aparece na legenda o d_{50}.</p> <p>Item 1.4.3 a respeito das equações 12 e 13 faltou explicar a diferença entre densidade espectral de energia e de ação de onda. Qual o significado físico? Na página 43, o que é: "esquema implícito <i>upwind</i>"?</p>

Capítulo 2

Logo no cabeçalho do artigo o índice dos autores está com numero 3 ao invés de 2.

Item 2.3.1 (página 55) sugiro a utilização de um artigo científico ao invés de um resumo de Anais para descrever a vazão e influencia do estuário do rio Camboriú (*Siegle et al (2009) – Hydodynamics and suspended sediment transport in the Camboriú estuary – Brazil: pre jetty conditions. Brazilian Journal Oceanography 57(2):123-135*).

Item 2.3.2 mais uma vez fica minimizada a importância da maré, principalmente a verificação de impactos da maré meteorológica, nenhum teste foi feito com a série de nível de água coletada??

Item 2.3.4 faltou mostrar a calibração para as componentes das correntes, u e v, o ajuste do nível harmônico é o mais simples e o melhor representado pela grande maioria dos modelos. Mostrar o ajuste para as correntes fortalece o trabalho.

Item 2.3.5, nesse momento seria apropriado falar sobre o intervalo de tempo do modelo e o passo de tempo utilizado na simulação. Quando é feita referencia ao cenário futuro, não fica claro após quanto tempo de preenchimento esse cenário se refere. Não há comentários a esse respeito em nenhum momento.

Resultados – nas figuras 17, 18 e 21 a autora se refere a cenário presente, porém não mostra o cenário futuro, apenas a diferença entre eles. Esse fato ficou bastante confuso uma vez que nas figuras a área com $H_s = 0$ parece corresponder exatamente com a área de engordamento da praia.

Nas figuras 25 e 26 seria interessante manter mesma escala de cores, na 25 o verde é zero. A dissertação se propõe a verificar os impactos da obra, focando nos físicos/morfológicos, considerando isso, seria interessante selecionar uma área da praia e mostrar os processos em maior detalhe. Por exemplo a deposição resultante da presença da Ilha das Cabras, talvez extrair do modelo um perfil antes e depois para discutir.

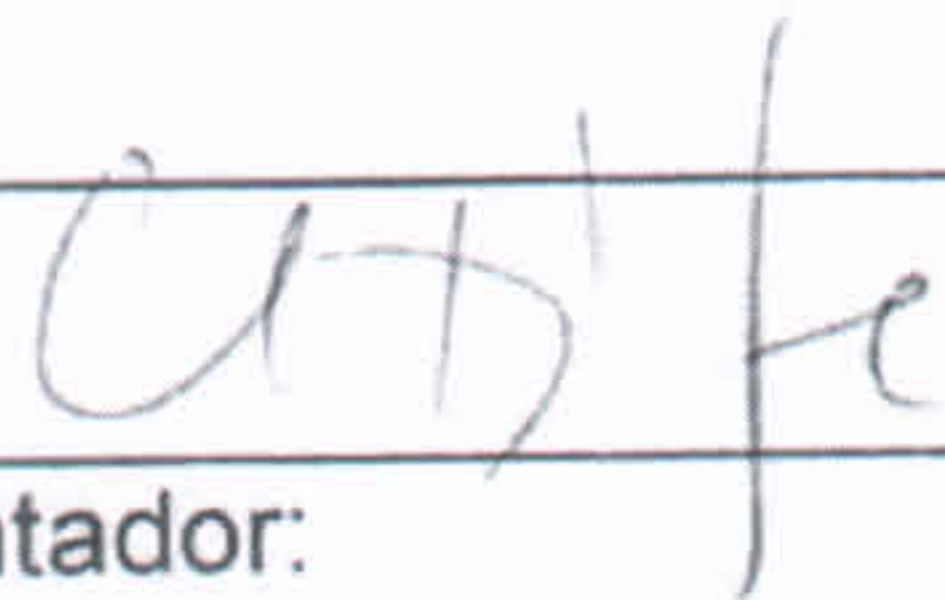
Discussão – a discussão, considerando a revista a que foi submetido o trabalho e o assunto bastante interessante, poderia ter apresentado um caráter um pouco mais científico. A modelagem poderia ter explorado aspectos como a maré meteorológica (uma vez que todo ano registram-se eventos na praia, invasão do calçadão pela água do mar e areia.) e a influencia das correntes do estuário do rio Camboriú. Nada foi discutido ou comparado com a modelagem realizada pela DHI.

Na pagina 67 no ultimo parágrafo a autora compara as velocidades máximas alcançadas no cenário presente com uma intensificação máxima no cenário futuro. A frase ficou confusa, sugiro reformular a sentença caso haja oportunidade para revisar o artigo.

Capítulo 3

Faltou falar das dificuldades e desafios do trabalho e deixar sugestões para trabalhos futuros.

Assinatura:



Data:

02/06/2014

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título: Impactos da obra de alimentação artificial em uma praia de enseada

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autor: Bruna Caloni

Orientador: Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Júnior

Examinador: Prof. Felipe Mendonça Pimenta

Data: 31 Maio 2014

Conceito: A (Excelente)

1) INTRODUÇÃO

Primeiramente gostaria de agradecer ao Prof. Elírio e a Bruna Caloni pelo convite na avaliação deste trabalho. Foi um prazer ler o texto. Está bem organizado e redigido. Possui um tamanho adequado para mestrado. Passei por pequenos erros tipográficos, mas que não ferem o conteúdo e qualidade do trabalho.

Achei o formato da dissertação do Programa de Pós-Graduação em Geociências inteligente, um exemplo a ser seguido. A organização dos capítulos centrais na forma de artigos facilita a leitura e traz benefícios diretos à formação do aluno, ao programa de Pós-Graduação e professores.

Por outro lado, senti falta da defesa pública. O aluno perde a vivência profissional de defender seu trabalho e responder a perguntas relacionadas a sua pesquisa. Muito aprendi na defesas e bancas que participei, pela riqueza das discussões levantadas. A longo prazo o programa perde também a interação de pesquisadores e profissionais. Se os custos envolvidos dificultam o encontro, talvez sistemas de vídeo-conferência poderiam amenizar e alcançar alguns destes objetivos (e.g. Polycom, Skype profissional, etc).

2) PARECER DA DISSERTAÇÃO

A pesquisa refere-se a um trabalho de modelagem numérica realizado para entender os efeitos da alimentação artificial na hidrodinâmica e processos de sedimentação da Praia de Balneário Camboriú. A ferramenta numérica utilizada foi o Delft3D, um modelo estado da arte em estudos deste gênero. O modelo foi empregado na propagação espectral das ondas, bem como na simulação de correntes geradas por marés e ondas. Uma conclusão importante do trabalho é o fato de que a enseada deverá se comportar como um *sistema fechado*, basicamente deslocando as correntes e a morfologia em direção ao mar. Particularmente, gostei da descrição do modelo Delft3D e das fotografias de erosão e sombreamento da praia, no início do texto. O trabalho expõe adequadamente a temática do problema, utiliza métodos apropriados e chega a conclusões importantes, portanto meu parecer é favorável. Aprovo o trabalho com conceito A.

Por outro lado, tenho observações que gostaria de ter discutido ao longo do desenvolvimento, ou mesmo conversando com Bruna no momento da defesa. Estas são redigidas como sugestões ao aprimoramento do artigo.

3) SUGESTÕES AO ARTIGO

Antes de tudo, sugiro solicitar um revisor nativo de país de língua inglesa que confira o texto. Embora não existam erros gramaticais muito sérios, por diversas vezes o estilo foge do usual de escrita. Na versão impressa tenho algumas sugestões escritas a lápis, mas irei omitir as mesmas neste parecer.

3.1) Sugestão: Talvez revisar o título: “Predicting beach nourishment impacts for an embayed coast” ou “Predicting nourishment impacts for an embayed beach”

3.2) Sugestão: A numeração das figuras ficaria melhor se fosse Fig 2.1, 2.2, 2.3 (i.e. numeração do capítulo seguido de numeração da figura) invés de Fig. 13, 14, 15, etc.

3.3) Pergunta: A composição e distribuição de sedimentos na parte subaquosa é muito diferente da composição granulométrica da face da praia? Se sim, deve ser enfatizado no texto do artigo.

3.4) Comentário: A seção 2.1 descreve de forma objetiva e direta as características do modelo, como o esquema wet-and-drying, wave setup e possibilidade de uso da forçante dos ventos. Mas não fica claro quais opções ou módulos estão “ligadas” e “desligadas” no modelo. Que entendi, ventos e maré meteorológicas não são simuladas. Isto precisa ser dito explicitamente em diferentes lugares do texto.

3.5) Comentário: SWAN resolve o processo de difração *indiretamente* por meio de aproximações ... Pelos resultados de altura de onda (e.g. Fig 17), o processo parece estar bem representado. Você chegou a perceber diferenças nos resultados segundo a resolução espacial empregada?

3.6) Pergunta: O módulo wet-and-drying foi ligado? O módulo de morfologia simula processos de transporte de sedimentos em regiões temporariamente alagadas? Se sim, isto deve ser enfatizado no texto.

3.7) Sugestão: Introdução, pg 49. Mudar texto no fim da página de “...but a relatively new application” para “but another application”. O engordamento feito para ganhar área de praia é na realidade bastante comum (e.g. Florida e Rio de Janeiro em Copacabana).

3.8) Sugestão: Incluir uma linha colorida e um texto indicando a abrangência e orientação dos domínios G1 e G2. Indicar na legenda em qual domínio é simulado os módulos de onda e hidrodinâmica.

3.9) Sugestão: Figura 14. Incluir linhas pretas como isóbatas e números indicando a profundidade. Possivelmente indicar na Figura 13 onde foram coletados os dados batimétricos extras utilizados.

3.10) Sugestão, pg 55. Incluir a localização do marégrafo na Fig. 13. Na Tabela indicar se a fase é relativa ao horário Greenwich. Possivelmente classificar as marés segundo o número de Forma também (ver Pugh, 1987).

3.11) Sugestão: pg 56. Incluir a localização do ponto de grid do modelo global WWIII na Figura 13.

3.12) Sugestão: pg 57. Porque não incluir uma rosa Hs direcional do modelo global ? Isto é, duas rosas direcionais de Hs, uma para águas profundas outra para águas rasas.

3.13) Pergunta: pg 58. O modelo utiliza outro parâmetro espectral além daqueles ilustrados na Tabela 9? Se sim, vale informar o espalhamento direcional, por exemplo. Possivelmente ilustrar o espectro direcional de um dos casos.

3.14) Sugestão: pg 58. Incluir a posição do ADCP na Fig 13.

3.15) Não fica claro se os dados observados referem-se somente a parte de marés astronômicas (“previstas” pelo PACMARE). O sinal subtidal nesta série parece bastante pequeno....os dados de nível são observados? Deixar claro se a “maré meteorológica” foi simulada (que entendi, não foi incluída nas simulações).

3.16) Pergunta e sugestão, pg 59. O que “*climatic*” significa? Que entendi parâmetros atmosféricos não foram utilizados, assim se clima se referir as ondas, utilize o termo “wave climate”.

3.17) Sugestão pg 60. Não há necessidade de uma nova tabela com nova numeração, fica confuso. Simplesmente mencione que você está ilustrando os casos 5 e 7 da Tabela 9.

3.18) Sugestão pg 59. Mover o parágrafo “The results of cases 3nourishment occur” para outro lugar. Primeiro explique os resultados das Figuras 17 a 20, mencionadas no primeiro parágrafo.

3.19) Pergunta pg 65, parágrafo primeiro. Fiquei curioso de como a integração numérica é realizada, em especial como o padrão das ondas é replicado em 1 ano (ventos assumo zero). Este é um ponto forte e interessante que merece mais comentários no artigo. Também vale comentar quais condições de contorno são utilizadas no modo hidrodinâmico e de sedimentos.

3.20) Alguns comentário importantes a respeito das Figuras 17 a 26.

Acho que ver ilustrado os campos obtidos para os dois cenários seria mais útil. Figuras como a 19 e 20 não fazem uma “comparação justa”. Embora subtração dos campos dinâmicos é simples de fazer, ela compara regiões dinamicamente diferentes... Se a zona de arrebentação foi deslocada em direção ao mar (no cenário de engordamento), não faz sentido compará-la a uma região detrás da arrebentação do cenário atual. Outra dificuldade é na Figura 22, que dá ênfase na intensidade mas perde a informação de direção.

Acredito que os resultados ficariam mais claros comparando de regiões dinamicamente semelhantes. A tarefa não é simples, pois ocorrem migrações espaciais tanto das ondas quanto da topografia. Mas pode ser simplificada utilizando representações gráficas como perfis e seções.

O uso de perfis ao longo da praia ou mesmo perpendiculares a praia (seções norte, central

e sul) poderia facilitar a comparação. As mesmas poderiam ser simples gráficos em linha (e.g. Hs x distância). Uma vantagem seria comparar vários cenários em um único plot.

Exemplo: Como o modelo foi utilizado no modo 3D, seria interessante criar seções verticais (plano x-z) com correntes representadas por linhas de contornos (e.g. comando pcolor ou countourf no Matlab) e uma linha batimétrica para o fundo. Esta figura seria bastante didática e ilustrativa das modificações hidrodinâmicas e morfológicas.

3.21) Pergunta e comentário, pg 60. Os resultados sugerem que após o engordamento ocorre a diminuição da altura das ondas (e.g. Figura 20). Cuidado, pois os resultados podem ser mal interpretados por um leitor mais desatento.

A comparação é para a mesma região do espaço, mas que corresponde a regiões dinâmicas diferentes entre os cenários (veja comentário 3.20 anterior). Do ponto de vista de conservação de energia: pode haver diferenças muito significativas? Se não ocorrem processos de refração muito significativos, eu esperaria altura de ondas semelhantes em ambos casos, possivelmente com pequenas diferenças ao longo da costa.

4) COMENTÁRIOS FINAIS

Vale deixar bem claro quais módulos do modelo foram ligados e desligados. Uma nota sobre a importância das marés meteorológicas e de como sua inclusão poderia alterar os resultados também seria bastante válida. A Figura 7 é uma testemunha deste interessante e importante fenômeno.

Seria importante escrever novos trechos no corpo do texto costurando ou dando maior ênfase na interpretação física da propagação das ondas ou mesmo geração das correntes.

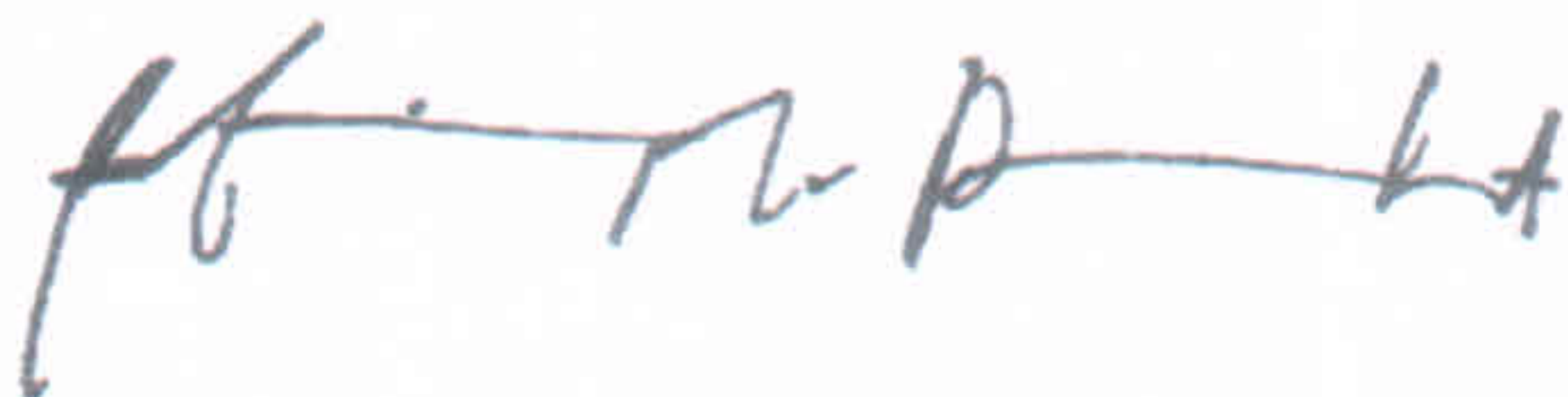
Exemplo: O gradiente de altura de ondas ao longo da costa (Figura 18), está diretamente relacionado com a corrente litorânea (“jato costeiro”) ilustrado na Figura 21. Por que não explorar isto no texto?

Por fim, gostaria de receber a versão final em PDF do artigo. Será uma importante referência para alunos da recém criada Pós-Graduação em Oceanografia da UFSC.

Parabéns e boa sorte na sua carreira Bruna.

Prof. Elírio, novamente obrigado pelo convite.

Florianópolis, 31 maio 2014.





PARECER

Dissertação de Mestrado.

Título: Impactos da obra de alimentação artificial em uma praia de enseada.

Autora: Bruna Calloni

Conceito: A (Excelente)

A dissertação denominada "Impactos da obra de alimentação artificial em uma praia de enseada", da autora Bruna Calloni apresenta-se muito bem escrita do ponto de vista gramatical, com os tópicos bem distribuídos ao longo do texto, bem como apresenta uma exaustiva e bem executada revisão bibliográfica.

Não há uma listagem de símbolos, figuras e gráficos, o que, mesmo com o formato da dissertação em artigo, é de grande valia para o leitor.

Os conteúdos da dissertação encontram-se muito bem distribuídos ao longo da mesma, o que propicia uma continuidade nas ideias e conceitos utilizados que é fundamental para o encadeamento do texto, uma vez que no formato de artigo é comum o candidato tornar-se repetitivo em suas análises.

Os objetivos propostos são claros e foram satisfatoriamente atingidos, tanto o objetivo geral, quanto os específicos.

O corpo do artigo submetido é bem estruturado e seus resultados refletem os objetivos propostos na dissertação como um todo.

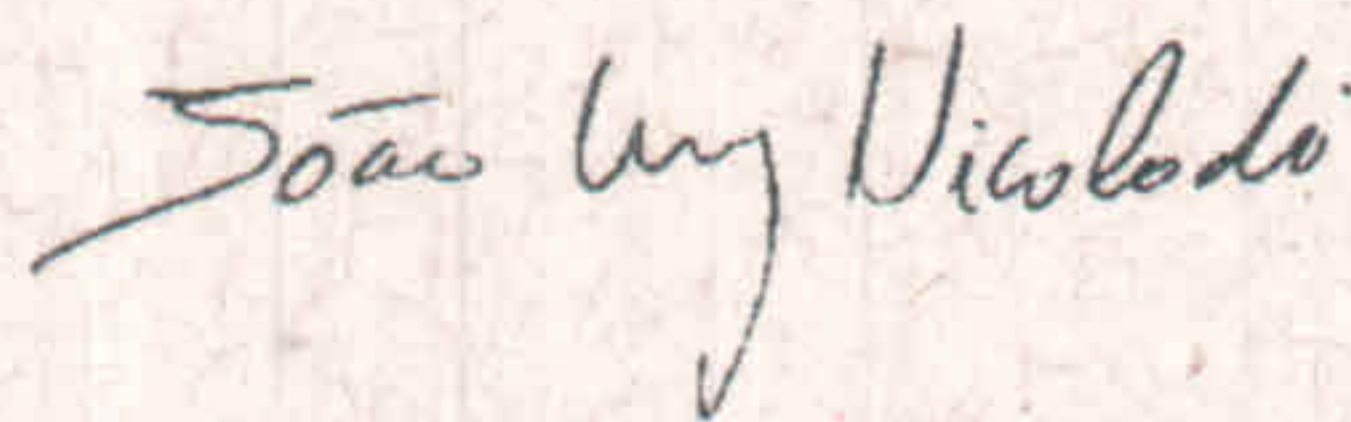
Em relação à dissertação, faz-se ainda as seguintes observações pontuais:

- A contextualização do problema em si, ou seja, a praia em questão a ser engordada, poderia ter sido melhor detalhada, principalmente no corpo do artigo. Um exemplo é o papel do molhe extenso construído junto à desembocadura do rio Camboriú no comportamento dos modelos. Esse tópico não fica claro ao longo do texto dando a impressão de ter sido subestimado.
- Outro exemplo é a obra de alimentação artificial realizada no sul da praia em 2002. Não fica claro qual foi o comportamento dessa obra ao longo do tempo, sua contextualização com a questão atual.
- Há confusão no período de construção da barragem a montante do Rio Camboriú, onde em determinada parte do texto a autora afirma ser na década de 1950 e em outra parte na década de 1970. Embora não seja informação relevante para os resultados do trabalho, essa

informação pode confundir possíveis leitores que venham a analisar esse impacto da redução do aporte sedimentar.

- Embora tratem exatamente da mesma questão, os abstracts da dissertação e do artigo poderiam ser diferentes, sendo o primeiro mais explicativo em relação à dissertação.
- As grades utilizadas na modelagem poderiam ser melhor identificadas nas figuras (G1 e G2).
- A interpolação dos dados batimétricos foi realizado com a utilização do método de triangulação. Poderia haver uma breve justificativa na escolha desse método, uma vez que existem diversas possibilidades metodológicas para esse fim.
- As considerações finais deixam a desejar, pois após exaustivo trabalho de modelagem de diversos cenários, os quais são muito bem explicados nos resultados, esperava-se uma maior discussão acerca das relações destes resultados com as expectativas da obra em si, algo além da modelagem. Esperava-se um posicionamento da autora frente os impactos de tal obra, como diz o próprio título da dissertação. Um exemplo: Prevê-se o alargamento da avenida do Balneário na própria obra. Isso é coerente com o projeto? Há alguma recomendação nesse sentido?

Atenciosamente;



Prof. João Luiz Nicolodi
Instituto de Oceanografia – IO
Universidade Federal de Rio Grande - FURG

Rio Grande, 23 de junho de 2014.