

Itapema-SC

Estudos como suporte ao Projeto Executivo do Sistema Integrado de Proteção da Meia Praia

Análise das condições de ondas e estabilidade da linha de costa



Alleanza Projetos e Consultoria

Relatório Técnico

Junho de 2016

This report has been prepared under the DHI Business Management System certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management)

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



Praia de Itapema-SC

Estudos como suporte ao Projeto Executivo do Sistema Integrado de Proteção da Meia Praia

Análise das condições de ondas e estabilidade da linha de costa

Preparado para Alleanza Projetos e Consultoria

Representado por Sra. Daysi Nass dos Santos



Itapema-SC

Elaboração	Berry Elfrink
Gerente de projeto	Rodrigo Andrade
Supervisão	Alejandro Lasarte & Ida Brøker
Número do projeto	15800177
Data de aprovação	08 de Junho de 2016
Revisão	2.0
Classificação	Restrito

CONTEÚDO

1	Introdução e compreensão do problema	1
2	Estudo de transformação de ondas.....	3
2.1	Configuração do modelo	3
2.2	Dados na zona offshore	5
2.3	Calibração do modelo de ondas.....	7
2.4	Resultados	9
2.5	Onda extremas.....	12
2.6	Variações Anuais nas Condições de Onda	13
3	Dinâmica do Perfil Transversal da Praia	17
3.1	Condições de Ondas no Local do Projeto	17
3.2	Níveis da Água no Local do Projeto	18
3.3	Evolução do Perfil no Curto e Médio Prazo.....	19
4	Transporte litorâneo	27
5	Evolução da linha de costa	29
6	Características do sistema de gerenciamento de praia	33
7	Conclusões	35
8	Referências bibliográficas	37

FIGURAS

Figura 1-1	Localização da Praia de Gravatá e do Rio Gravatá no Município de Navegantes, SC.	1
Figura 2-1	Localização e orientação do modelo de transformação de onda.	3
Figura 2-2	Detalhe da batimetria do modelo na área do projeto.	4
Figura 2-3	Detalhe da batimetria do modelo na Área 1: a Marina.	4
Figura 2-4	Detalhe da batimetria do modelo na Área 2 : foz do Rio Perequê.	4
Figura 2-5	Local do projeto e posições dos dados de ondas.	5
Figura 2-6	Distribuições da energia de ondas por intervalo de altura (H_s), período (T_p) e direção de ondas (MWD).	6
Figura 2-7	Rosa das ondas oceânicas (Local: 20.625° S, 32.125° W).	7
Figura 2-8	Comparação entre as ondas simuladas no modelo e as medições realizadas pela UFSC no período de Janeiro/Março 2005. Alto: Altura significativa de onda (H_s), Centro: Período de pico da onda (T_p), Abaixo: Direção média de onda (MWD).	8
Figura 2-9	Exemplo de campo de onda simulado – Vagas. Condições de onda ao largo: $H_{m0} = 1.8m$, $T_p = 8.0s$, MWD = ENE.	9
Figura 2-10	Exemplo de campo de onda simulado – Ondulação. Condições de onda ao largo: $H_{m0} = 1.8m$, $T_p = 12.0s$, MWD = SE.	10
Figura 2-11	Exemplo de campo de onda simulado – Ondulação. Condições de onda ao largo: $H_{m0} = 1.8m$, $T_p = 14.0s$, MWD = S.	10
Figura 2-12	Rosa de ondas em frente da Foz do Rio Perequê.	11
Figura 2-13	Rosa de ondas na parte norte do site.	11
Figura 2-14	Distribuição de altura de onda próxima à costa.	12
Figura 2-15	Média da altura significativa de onda para o período de 1970-2010.	13
Figura 2-16	Média do período de pico para o período de 1970-2010.	14
Figura 2-17	Média da direção de onda em frente da Foz do Rio Perequê para o período de 1970-2010.	14
Figura 2-18	Média da direção de onda na parte norte da praia para o período de 1970-2010.	14
Figura 3-1	Localização das análises de perfis.	17
Figura 3-2	Níveis de água extremos na parte norte e sul da praia.	19
Figura 3-3	Perfis de equilíbrio conforme o tamanho dos grãos (Fonte: Mangor 2004)	21
Figura 3-4	Ilustração do conceito do modelo do perfil.	21
Figura 3-5	Exemplos de variações da linha da costa devidas aos processos de transporte transversal do sedimento. Acima : Loc Norte, abaixo : Loc Sul. Período : 2010-2011.	23
Figura 3-6	Estatísticas de excedência para a dinâmica da linha de costa devida à evolução do perfil. Acima : parte norte da praia, abaixo : parte sul.	24
Figura 4-1	Distribuição transversal do transporte de sedimento anual.	27
Figura 5-1	A largura da praia é significativamente maior no lado norte da praia do que no lado sul. Esta diferença é causada pelas mudanças nas condições de ondas nos últimos anos.	29
Figura 5-2	Área do projeto e três posições de referencia.	30
Figura 5-3	Evolução da linha de costa durante 10 anos após a construção dos guia correntes.	31
Figura 6-1	Sistema de proteção da linha de costa recomendado.	34

TABELAS

Tabela 2-1	Valores extremos de altura de onda.	12
Tabela 3-1	Níveis d' água extremos calculados para vários períodos de retorno em relação ao nível médio do mar (NMA).	19
Tabela 3-2	Recuo máximo estimado da linha da costa devido à dinâmica do perfil transversal da costa para diferentes períodos de retorno, baseado no período [1970 – 2011].	25
Tabela 6-1	Características do sistema de proteção da linha de costa recomendado.	33

1 Introdução

A Prefeitura Municipal de Itapema contratou a empresa Alleanza Projetos e Consultoria para desenvolver o Projeto Executivo de um sistema integrado de proteção costeira da Meia Praia. O sistema engloba os projetos das estruturas de fixação dos rios Bela Cruz e Perequê e de uma marina na extremidade norte da praia. O mapa da Figura 1-1 apresenta a localização da Marina e das fozes dos rios Bela Cruz e Perequê no contexto do município de Itapema.



Figura 1-1 Localização da Marina e das fozes dos rios Bela Cruz e Perequê no Município de Itapema, SC.

Sob solicitação da Alleanza, a DHI desenvolveu estudos como suporte ao projeto da Marina e das estruturas de fixação das fozes dos rios, além da avaliação da estabilidade da praia após a implementação do sistema proposto. O escopo dos serviços da DHI contempla o estudo de transformação de ondas para determinação do clima de ondas na área de interesse e análise preliminar das condições de abrigo no interior da marina, assim como o estudo da estabilidade do perfil transversal da praia e da evolução da linha de costa. Os estudos tem como objetivos:

- Fornecer condições de ondas para dimensionamento das estruturas de fixação dos rios Bela Cruz e Perequê e das estruturas de abrigo da marina;
- Confirmar o *layout* ideal da marina que forneça as condições de abrigo necessárias as embarcações e que seja integrado ao sistema proposto;
- Confirmar a configuração ideal das estruturas de fixação dos rios de modo a evitar o acúmulo de sedimentos, garantindo assim a manutenção do escoamento nas embocaduras dos rios, além de manter a estabilidade da praia;
- Avaliar a estabilidade da praia considerando o sistema de proteção integrado proposto, considerando as flutuações nas condições meteo-oceanográficas de curto (tempestades), médio (sazonal, anos) e longo (décadas) prazo.

As ferramentas de modelagem computacional que compõem o sistema MIKE desenvolvido pela DHI foram utilizadas neste trabalho. O sistema tem ampla aplicação para estudos desta natureza e é capaz de resolver uma variedade de processos que ocorrem em ambientes fluviais, estuarinos e costeiros. Mais informações sobre os modelos utilizados podem ser encontradas em www.mikepoweredbydhi.com.

2 Estudo de transformação de ondas

2.1 Configuração do modelo

A propagação das ondas de águas profundas para a zona costeira foi simulada utilizando-se o modelo da DHI de ondas espectrais MIKE 21 SW, o qual representa o estado-da-arte na modelagem de ondas oceânicas e em áreas costeiras. O modelo inclui todos os mecanismos físicos que são relevantes para a presente aplicação, tais como refração, empinamento, dissipação de energia devido ao atrito com o fundo e à arrebentação, e o crescimento devido ao vento. A Figura 2-1 apresenta a batimetria do modelo utilizada no estudo de transformação de ondas. O modelo cobre uma área de mais ou menos 50 km x 200 km. Foi utilizado um total de aproximadamente 36.000 células computacionais. Os dados batimétricos foram extraídos das cartas náuticas disponíveis e dos levantamentos batimétricos disponibilizados pelo cliente (Ref./1/). Detalhes da batimetria na área do projeto são apresentados da Figura 2-2 à Figura 2-4.

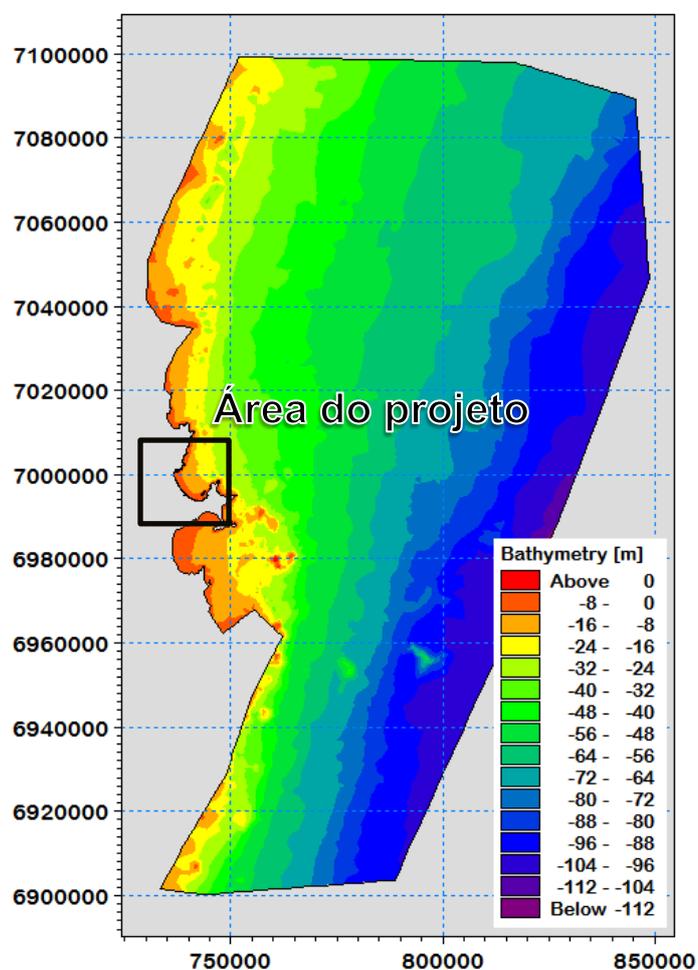


Figura 2-1 Localização e orientação do modelo de transformação de onda.

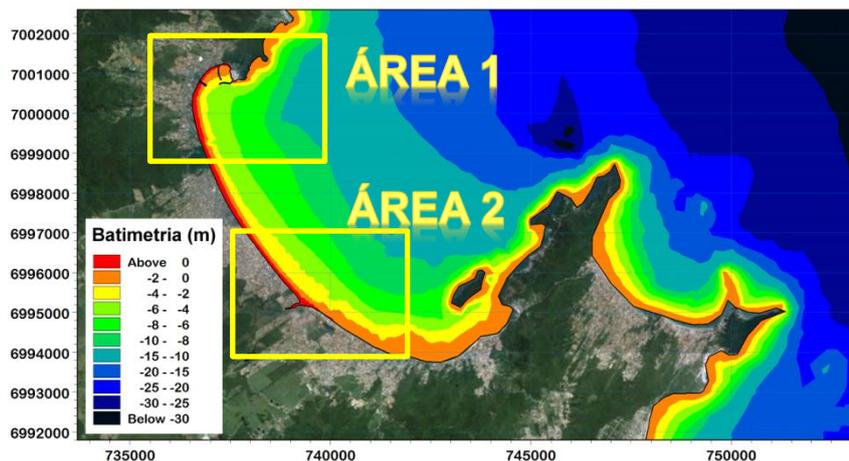


Figura 2-2 Detalhe da batimetria do modelo na área do projeto.

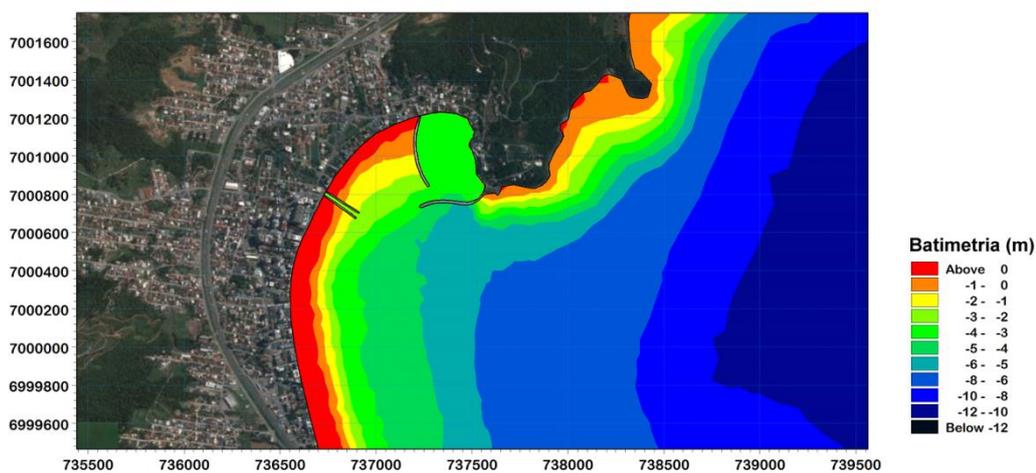


Figura 2-3 Detalhe da batimetria do modelo na Área 1: a Marina.

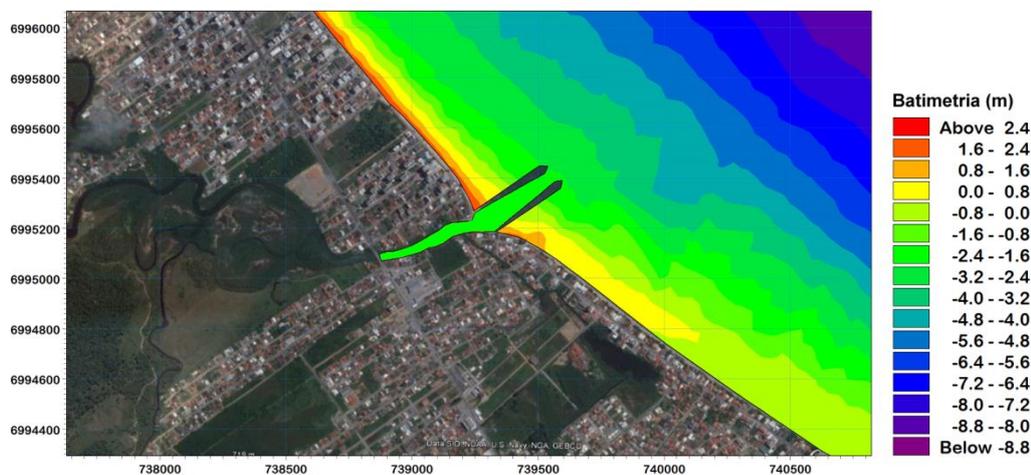


Figura 2-4 Detalhe da batimetria do modelo na Área 2 : foz do Rio Perequê.

Na fronteira do modelo situada ao largo as condições de ondas foram incluídas através de duas componentes de ondas distintas (vaga e ondulação). Ambas as componentes foram transformadas separadamente no modelo. Nos locais de extração dos resultados das simulações de ondas as componentes transformadas de vagas e ondulações foram usadas para calcular as características da onda resultante.

A altura de onda resultante foi calculada com base na soma das contribuições das componentes de vagas e ondulações para a energia total de onda:

$$H_{s,res} = \sqrt{H_{s,sea}^2 + H_{s,swell}^2} \quad (2.1)$$

O período resultante foi estimado como um valor médio das componentes de vagas e ondulações, ponderado, utilizando-se as suas respectivas contribuições para a energia total de onda:

$$T_{z,res} = \frac{T_{z,sea} H_{s,sea}^2 + T_{z,swell} H_{s,swell}^2}{H_{s,sea}^2 + H_{s,swell}^2} \quad (2.2)$$

Finalmente, a direção média da onda foi estimada de maneira similar por:

$$\tan \alpha_{res} = \frac{\sin \alpha_{sea} H_{s,sea}^2 + \sin \alpha_{swell} H_{s,swell}^2}{\cos \alpha_{sea} H_{s,sea}^2 + \cos \alpha_{swell} H_{s,swell}^2} \quad (2.3)$$

2.2 Dados na zona offshore

As condições de ondas na fronteira offshore do modelo foram especificadas conforme os dados do Global Re-analysis of Ocean Waves (GROW), fornecidos pelo Ocean Weather Inc.

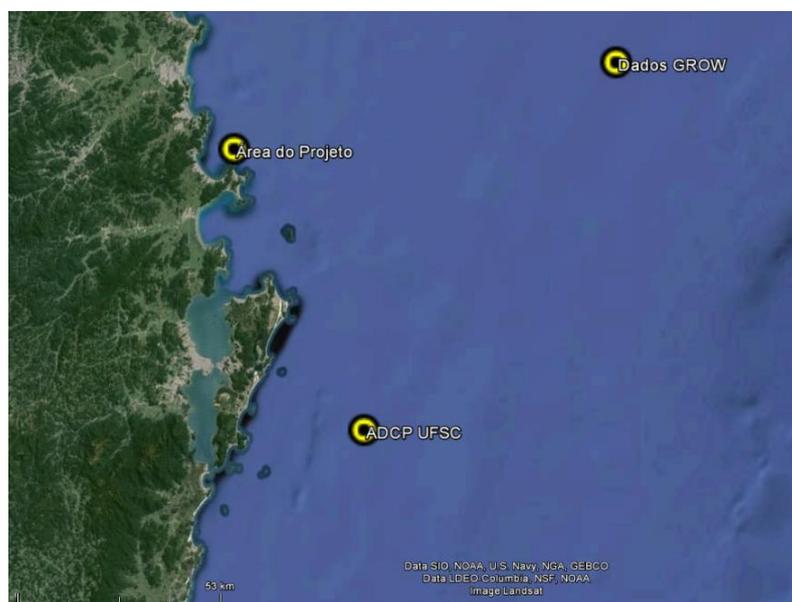


Figura 2-5 Local do projeto e posições dos dados de ondas.

O GROW é uma fonte de dados bastante conhecida e usada em diversas aplicações no Brasil e em outras partes do mundo. Nesse modelo as condições de ondas são simuladas com base na variação dos campos de ventos e da pressão atmosférica.

Os dados usados nesta análise foram extraídos no ponto da grade do modelo localizado nas coordenadas 26,875° S e 47,5° W. Os dados cobriram o período de tempo entre 01/01/1970 e 31/12/2011 e fornecem os parâmetros de ondas a intervalos de três horas. A Figura 2-5 mostra o local do projeto e as posições dos dados de ondas.

Os dados consistem de séries temporais contínuas de parâmetros correspondentes a vagas e a ondulações (altura de onda, período e direção média). A validade dos dados do GROW está restrita a águas profundas.

A Figura 2-6 mostra a distribuição da energia de onda em função da altura de onda. Os valores representam a contribuição da energia média no tempo, calculada para o período total de cobertura dos dados. A figura mostra que mais energia de ondas é devida às ondas com alturas em torno de 1,5 a 2,0m. Além disso, observou-se que apenas uma pequena parcela da energia total de ondas é representada por ondas maiores do que 4,0m.

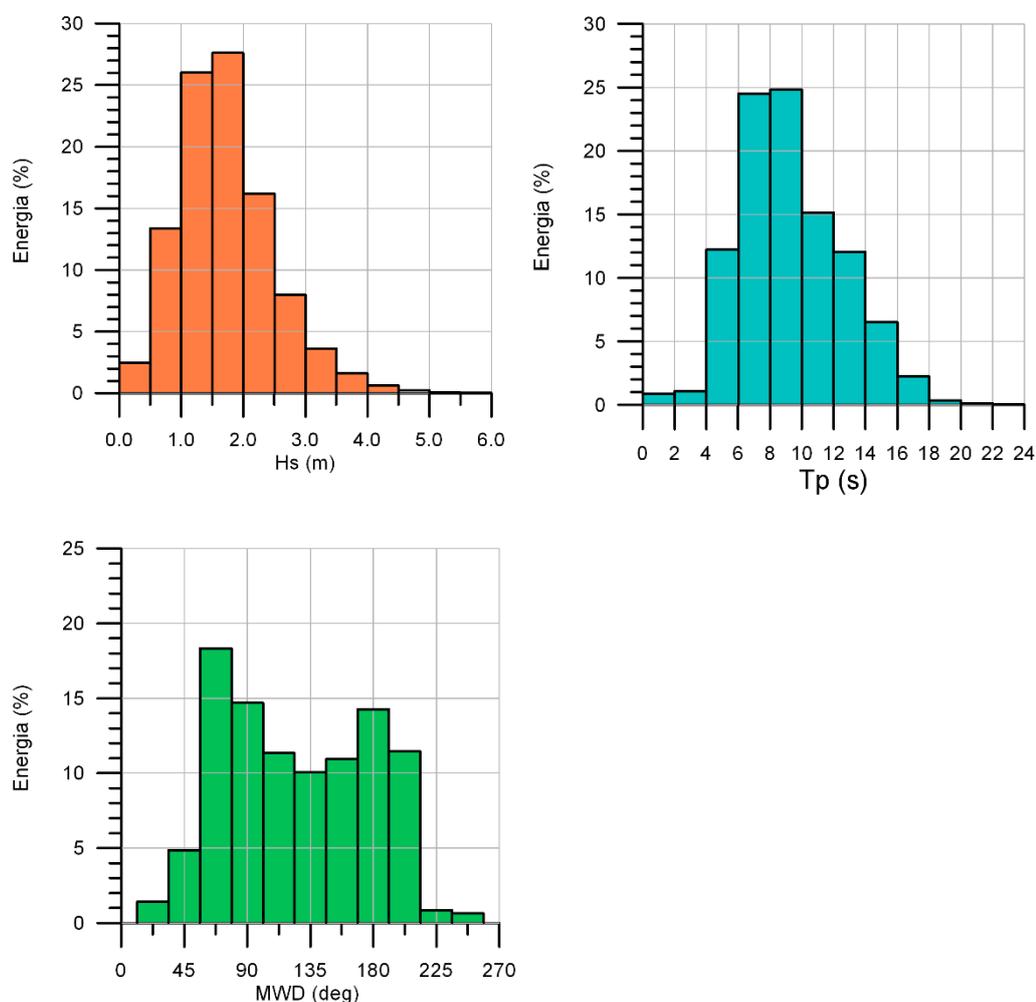


Figura 2-6 Distribuições da energia de ondas por intervalo de altura (H_s), período (T_p) e direção de ondas (MWD).

Similarmente, foi calculada a estatística dos períodos de pico das ondas, T_p (ver Figura 2-6, à direita). Observou-se que a maior parte da energia de onda ocorre para ondas com períodos entre 8s e 10s. Uma quantidade insignificante de energia é atribuída a ondas com períodos maiores do que 18s. A distribuição da energia de onda por intervalo de direção de onda indica que a direções dominantes são ENE e S.

A Figura 2-7 mostra a rosa de ondas na zona offshore. A figura mostra que as ondas mais altas vêm do quadrante S-E e a direção de ondas mais frequentes é ENE.

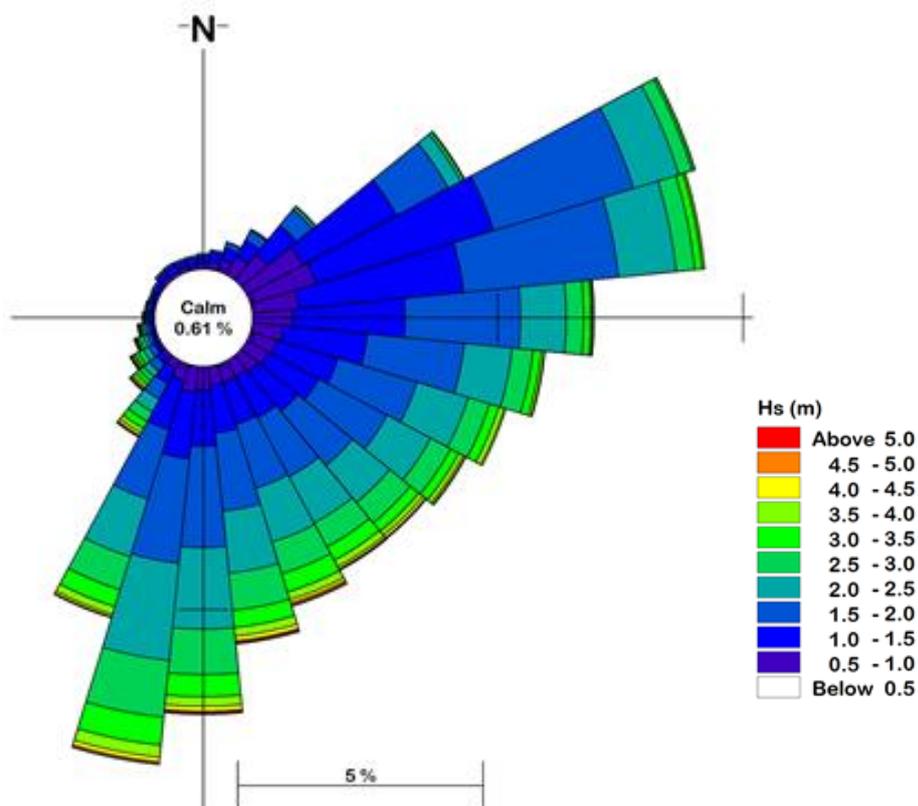


Figura 2-7 Rosa das ondas oceânicas (Local: 20.625° S, 32.125° W).

2.3 Calibração do modelo de ondas

O modelo foi calibrado usando dados de campo coletados e analisados pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) na Ilha de Santa Catarina, distante aproximadamente 100km do local do projeto (ver Figura 2-5).

A Figura 2-8 mostra a comparação entre os resultados do modelo e os dados medidos para o período de Janeiro à Março de 2005. A análise mostra que, apesar de haver alguma dispersão, a concordância geral está satisfatória. Deve-se levar em conta que os dados do GROW especificados na fronteira do modelo não se originam de medições, mas são dados gerados sinteticamente.

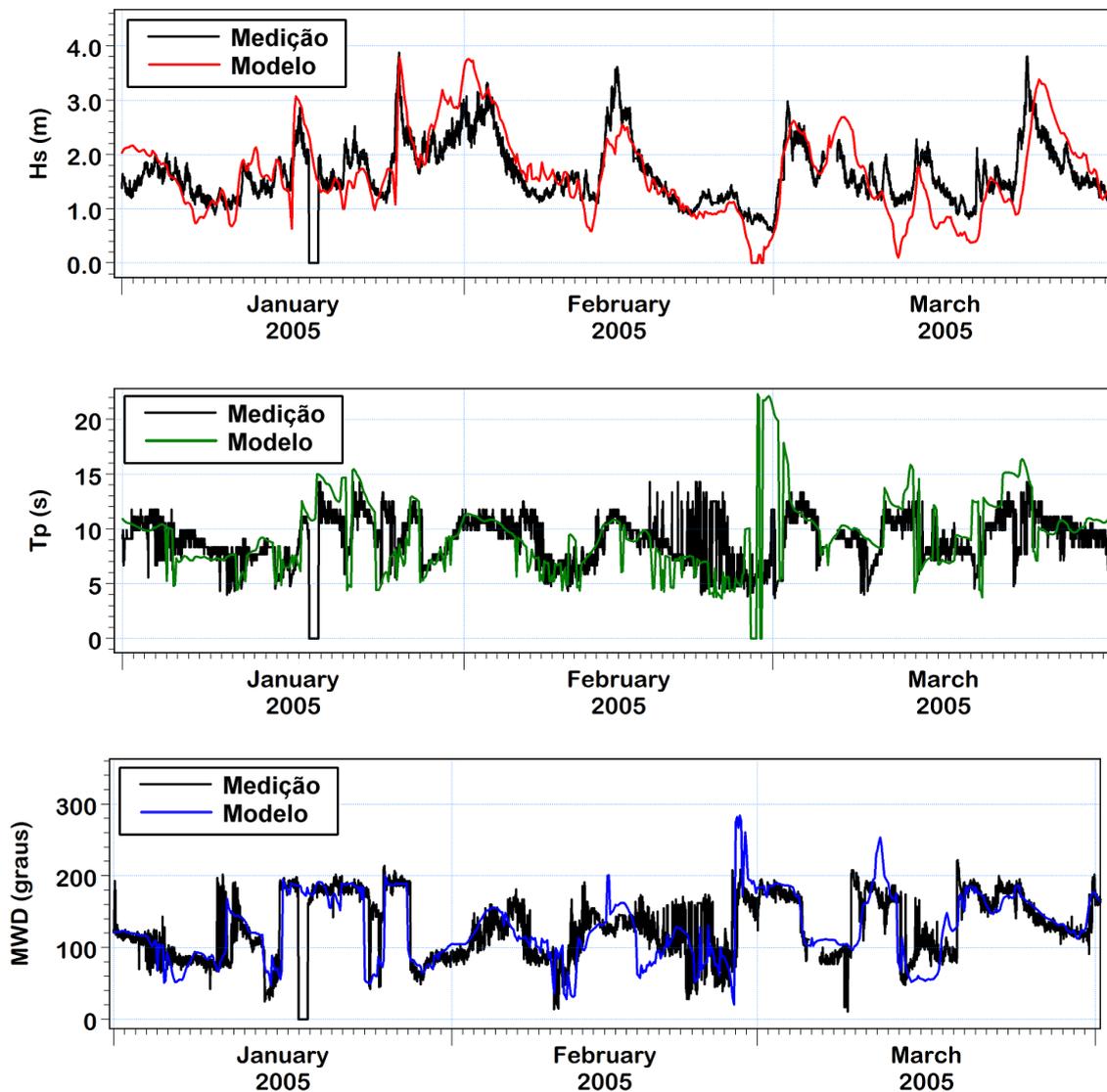


Figura 2-8 Comparação entre as ondas simuladas no modelo e as medições realizadas pela UFSC no período de Janeiro/Março 2005. Alto: Altura significativa de onda (H_s), Centro: Período de pico da onda (T_p), Abaixo: Direção média de onda (MWD).

2.4 Resultados

O modelo calibrado foi aplicado para transformar as séries temporais de parâmetros de onda em águas profundas fornecidos pelos dados do GROW para o local do projeto. Três exemplos de resultados do modelo são apresentados nas figuras abaixo. A Figura 2-9, Figura 2-10 e Figura 2-11 mostram detalhes dos campos de onda simulados no entorno do local do projeto, correspondentes a condições típicas. O nível de água nas 3 simulações corresponde ao nível médio do mar (NMM).

A Figura 2-9 mostra o campo de onda simulado na área do projeto para condições típicas de vagas, com a altura de onda ao largo igual a 2,0m, o período de pico igual a 8,0s, e a direção de onda NE.

A Figura 2-10 e a Figura 2-11 mostram campos de onda simulados que correspondem a condições típicas de ondulações de SE e S, respectivamente. As alturas de onda ao largo são 2,0m e os períodos de pico são 12s e 14s, respectivamente.

As simulações no modelo mostram que as condições de onda ao longo do local do projeto são afetadas pela presença do promontório rochoso ao sul do local do projeto. As simulações mostram que se forma uma área de sombra grande ao norte do promontório. Uma grande parte da energia de ondas das direções SE e S não chega à praia. As condições de ondas no atual site são relativamente calmas devido a esta configuração da costa.

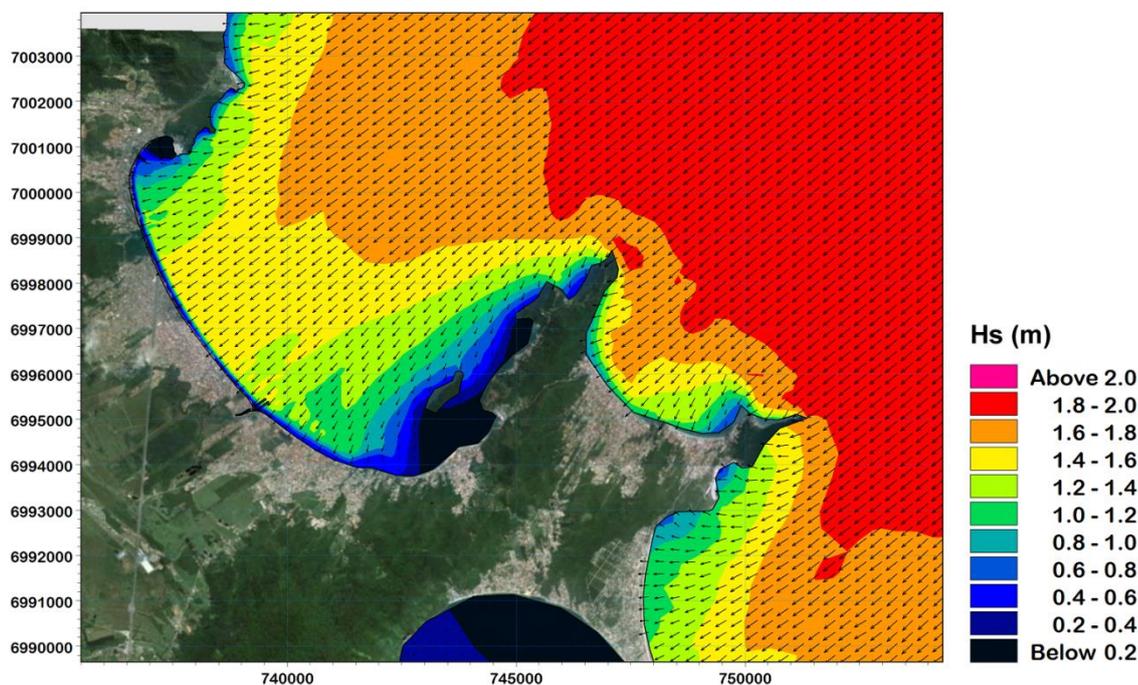


Figura 2-9 Exemplo de campo de onda simulado – Vagas. Condições de onda ao largo: $H_{m0} = 2,0m$, $T_p = 8,0s$, $MWD = ENE$.

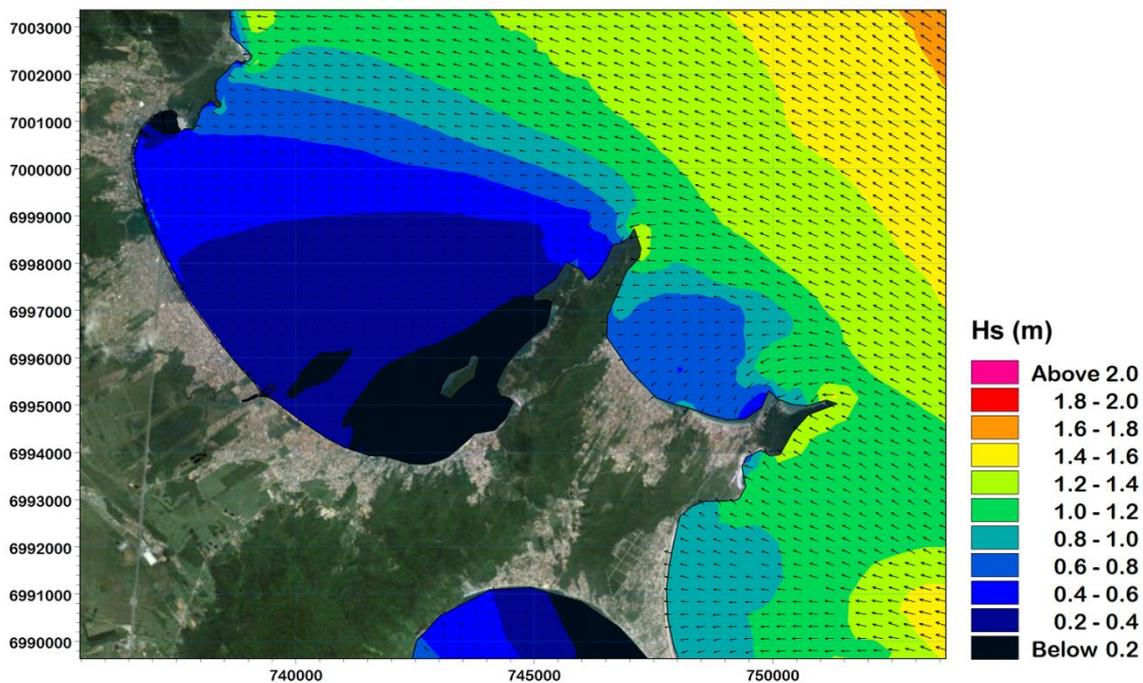


Figura 2-10 Exemplo de campo de onda simulado – Ondulação. Condições de onda ao largo: $H_{m0} = 2,0m$, $T_p = 12,0s$, MWD = SE.

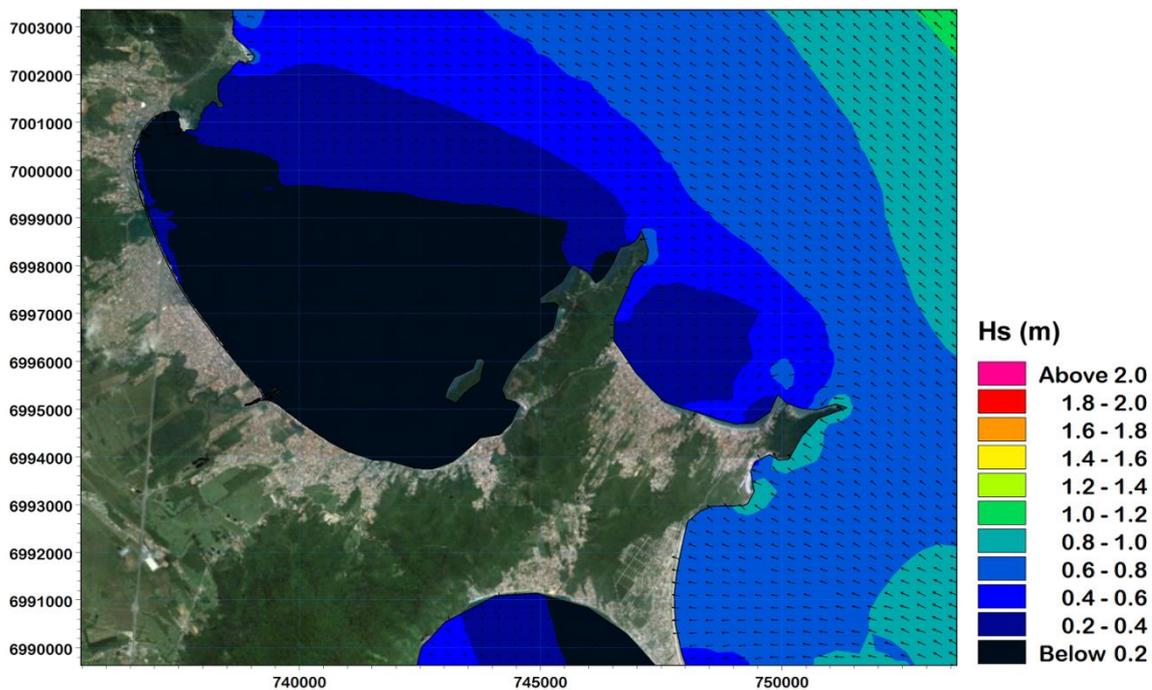


Figura 2-11 Exemplo de campo de onda simulado – Ondulação. Condições de onda ao largo: $H_{m0} = 2,0m$, $T_p = 14,0s$, MWD = S.

A rosa de ondas calculada em uma profundidade de 4m em frente à Foz do Rio Perequê é apresentada na Figura 2-12. A rosa de ondas na parte norte do atual site é apresentada na Figura 2-13.

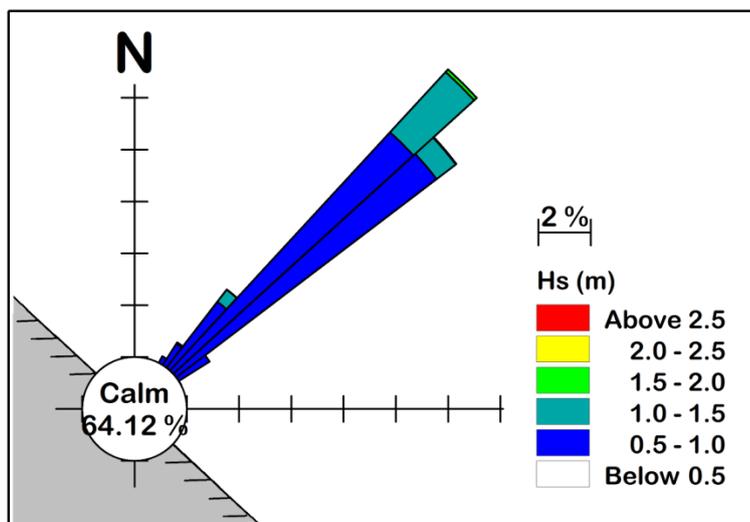


Figura 2-12 Rosa de ondas em frente à Foz do Rio Perequê.

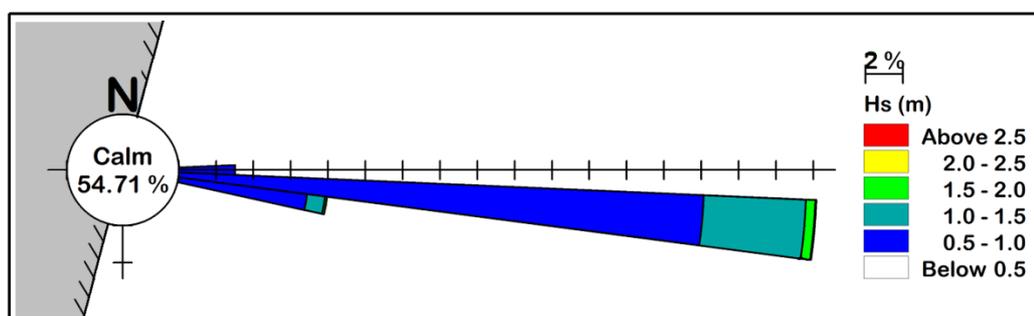


Figura 2-13 Rosa de ondas na parte norte do site.

Todas as simulações apresentadas indicam que as condições de ondas na área da entrada da marina serão bastante calmas. marina.

O tipo de modelo aplicado aqui não é a ferramenta ótima para analisar as condições de ondas dentro da marina. Entretanto, uma análise das alturas de ondas em frente à entrada da marina, considerando ondas provenientes do intervalo SE-W, mostrou que a energia de ondas que realmente entrará a marina é praticamente zero, indicando assim que as estruturas da marina providenciarão abrigo suficiente no interior da marina. Para analisar em detalhes as condições de ondas dentro da marina, inclusive a reflexão nas estruturas, e avaliar o risco de ressonância dentro da marina, seria necessário realizar um estudo de ondas mais detalhado usando um tipo de modelo mais avançado.

2.5 Onda extremas

As ondas obtidas próximas à costa foram utilizadas para calcular a variação estatística da altura de onda na profundidade de 4m na área da marina e nas proximidades da foz do Rio Perequê. O resultado encontra-se na Figura 2-14 e na Tabela 2-1.

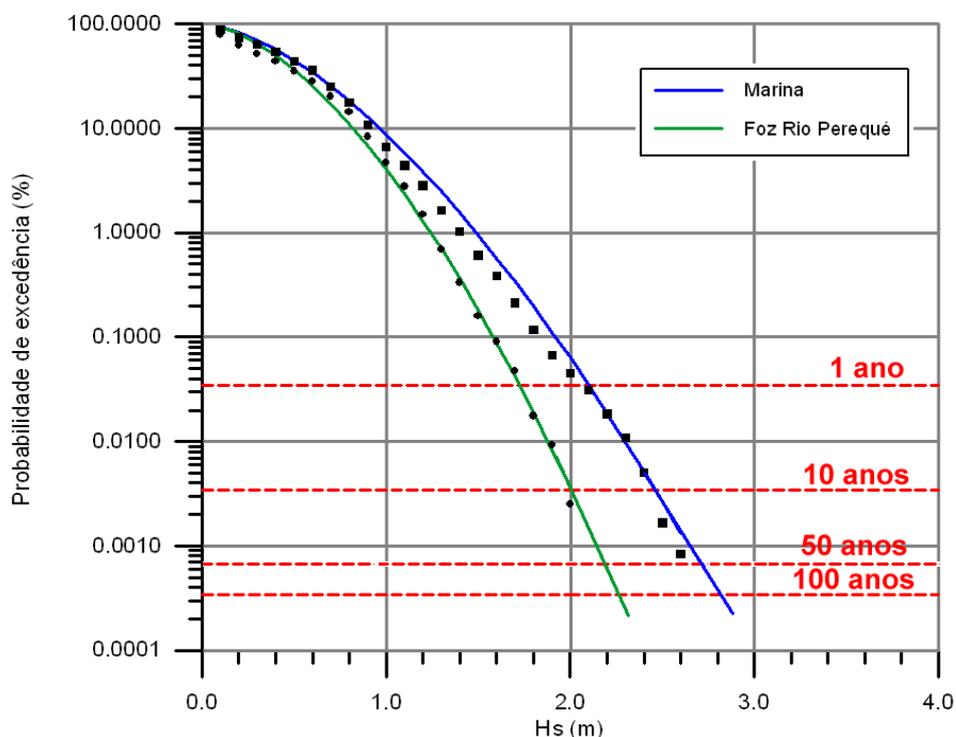


Figura 2-14 Distribuição de altura de onda próxima à costa.

Os resultados mostram que ao longo da batimétrica de 4m a altura de onda com um período de retorno de 1 ano é de aproximadamente 1,7m na zoz do Rio Perequê e 2,1m na área da marina. Similarmente, para um período de 100 anos, a alturas de onda foram estimadas em 2,3m e 2,8m, respectivamente.

Tabela 2-1 Valores extremos de altura de onda.

Período de recorrência	Foz. R. Perequê	Marina
	Altura significativa de onda (Hs)	Altura significativa de onda (Hs)
[Anos]	[m]	[m]
1	1.7	2,1
10	2.0	2,5
50	2.2	2.7
100	2.3	2.8

2.6 Variações Anuais nas Condições de Onda

Sabe-se, através de outros projetos realizados ao longo da costa do Brasil, que as variações temporais nas condições de onda ocorrem em escalas de tempo que são importantes para o presente projeto. Variações nas condições de onda no local do projeto (na posição indicada na Figura 2-12) durante o período coberto pelos dados foram analisadas, calculando-se os parâmetros de onda representativos para cada ano do período de cobertura dos dados. Esses parâmetros representativos de onda foram a altura média de onda, H_R , o período de onda, T_R , e a direção de onda, α_R , que foram calculados da seguinte forma:

$$H_R = \sqrt{\overline{H_s^2}} \quad (2.4)$$

$$T_R = \frac{\overline{TH_s^2}}{\overline{H_s^2}} \quad (2.5)$$

$$\alpha_R = \frac{\overline{\alpha H_s^2}}{\overline{H_s^2}} \quad (2.6)$$

O período médio representativo e a direção de onda representativa foram calculados como valores médios ponderados pela energia de onda. A variação temporal da altura de onda representativa, H_R , é apresentada na Figura 2-15.

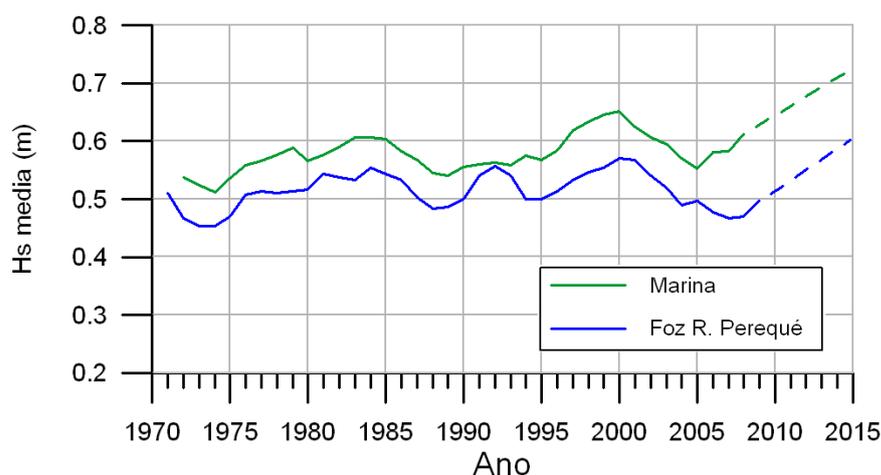


Figura 2-15 Média da altura significativa de onda para o período de 1970-2010.

Os cálculos indicam variações na altura de onda. A análise indica que a média da altura de onda aumentou a uma taxa de aproximadamente 0,15m durante o período de cobertura dos dados. Não se sabe, no entanto, se as variações observadas representam uma tendência de longo prazo de aumento da altura de onda, ou se são meramente devido a variações de curto período. As variações observadas terão algum efeito na evolução da linha da costa.

O período de onda representativo, T_R , é apresentado na Figura 2-16. As variações temporais no período de onda representativo são pequenas, da ordem de 0,5s, e não se

espera que causem impactos significantes na evolução da linha da costa. As variações temporais das direções de onda representativa, α_R , em frente da Foz do Rio Perequê e na parte norte da praia são apresentadas nas Figura 2-17 e Figura 2-18.

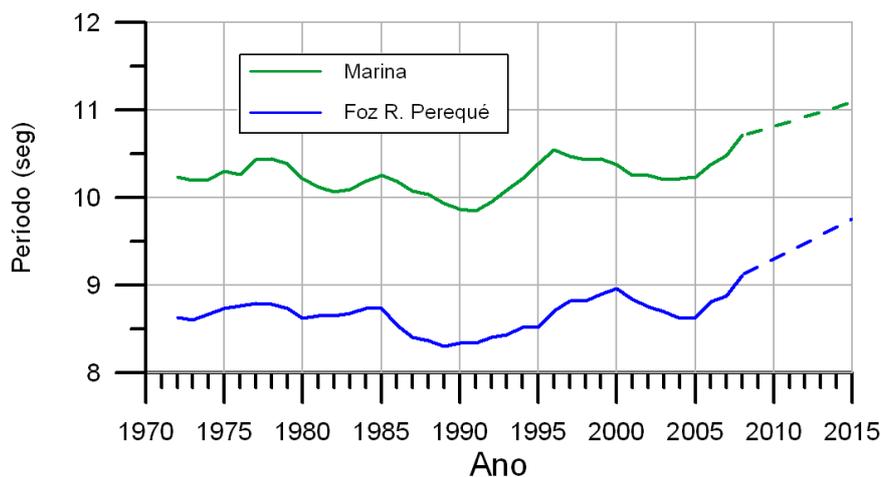


Figura 2-16 Média do período de pico para o período de 1970-2010.

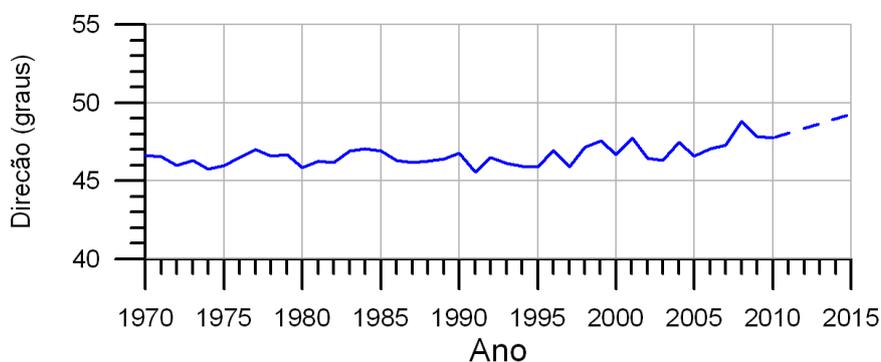


Figura 2-17 Média da direção de onda em frente da Foz do Rio Perequê para o período de 1970-2010.

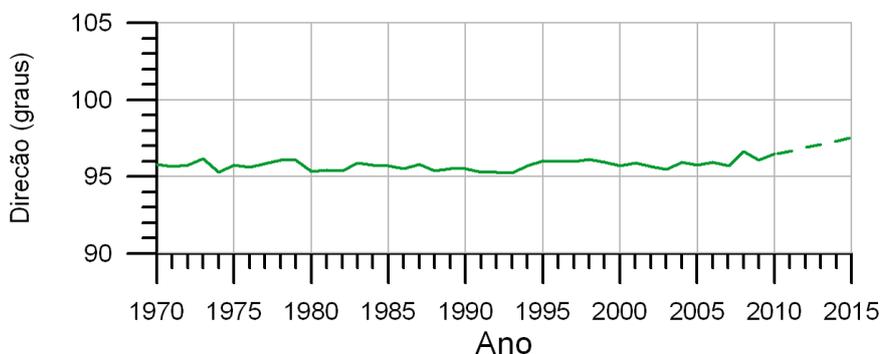


Figura 2-18 Média da direção de onda na parte norte da praia para o período de 1970-2010.

As análises indicam que não houve flutuações significativas na energia de onda durante o período de cobertura dos dados. Estas flutuações podem ter importância na estabilidade da praia e por isso será necessário considerar estas flutuações no estudo de estabilidade da praia.

O estudo de ondas mostrou que as direções de ondas na praia são fortemente determinadas pela configuração da linha de costa em uma escala regional. O promontório

sul da praia providencia abrigo para as maiores ondas dos setores SE até S. Por isso as condições no atual site, e especialmente em frente à Foz do Rio Perequê, são relativamente calmas.

Variações na direção de onda na zona offshore praticamente não se refletem nas condições de ondas perto da costa. Os cálculos mostram que a direção residual da onda é praticamente igual à atual orientação local da linha de costa. Esta observação é muito importante na avaliação da estabilidade do engordamento da praia e indica que a configuração da praia após o engordamento terá a mesma que a praia atual. O engordamento conforme projetado somente criará um alargamento da praia sem mudar a orientação da linha de costa oque significa que, além das guias correntes na Foz do Rio e as estruturas da própria marina, não será necessária nenhuma estrutura adicional para conter a linha de costa.

3 Dinâmica do Perfil Transversal da Praia

A forma do perfil da praia se adapta continuamente conforme as mudanças nas condições hidrodinâmicas. Em períodos de tempestades a areia é removida da linha da costa e depositada a uma distância mais afastada da mesma. Em períodos de calmaria, a areia é devolvida gradativamente à praia pela ação das ondas. O desenvolvimento do perfil é afetado pelas condições das ondas (altura, período e direção) e por variações no nível d'água. Em períodos com níveis de água relativamente altos, acompanhados de forte ação das ondas, a linha da costa recua para alcançar o perfil de equilíbrio; em períodos de calmaria a linha da costa voltará gradativamente à sua posição original, até seu perfil estar em equilíbrio com as condições hidrodinâmicas.

A dinâmica do perfil transversal da linha de costa é importante para poder estimar o recuo máximo da mesma durante tempestades. Nesta seção é analisada a dinâmica da linha da costa na escala de tempo de tempestades individuais a estações do ano. Outros processos que afetam a linha da costa, tais como mudanças de médio prazo nas condições das ondas (associadas, por exemplo, ao fenômeno do El Niño) e o aumento do nível do mar no longo prazo, ocorrem durante períodos de tempo significativamente maiores e não interferem diretamente com as mudanças de curto prazo no perfil aqui consideradas.

Na análise atual a dinâmica do perfil de praia foi analisada em 2 locais ao longo da área do projeto. Em cada local foram simuladas séries temporais de dados de onda e de dados de níveis d'água para o período de 41 anos (1970-2011). Os locais estão apresentados na Figura 3-1.

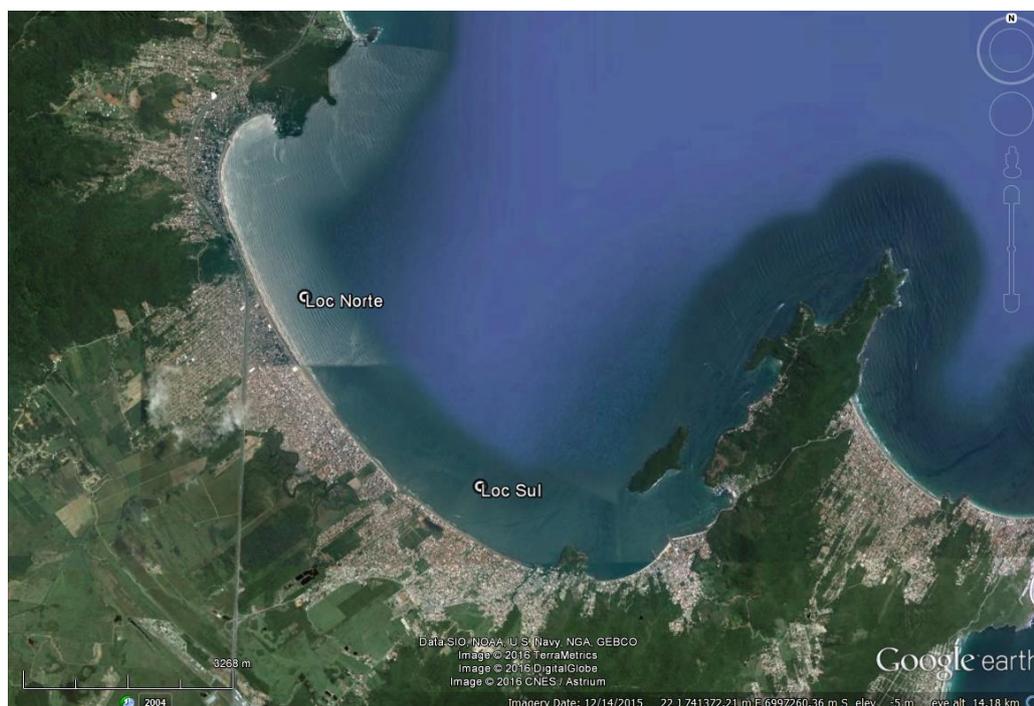


Figura 3-1 Localização das análises de perfis

3.1 Condições de Ondas no Local do Projeto

As condições de onda foram simuladas usando o modelo de transformação de onda calibrado, como apresentado na seção 2. Na fronteira em águas profundas as séries temporais contínuas de dados do GROW foram impostas a intervalos de três horas. Séries

temporais dos dados de ondas transformados foram obtidas nas duas localizações na parte norte e sul da praia (ver Figura 3-1)

3.2 Níveis da Água no Local do Projeto

O nível da água desempenha um papel importante no processo de erosão da praia durante tempestades. O principal efeito do aumento do nível da água é o de que maiores profundidades permitem que ondas mais altas cheguem até a praia, onde quebram e causam erosão. No caso do presente projeto, as variações no nível da água são causadas em escala regional pelos efeitos da maré astronômica e do vento, e em escala local pelos efeitos das ondas.

As variações no nível da água causadas pelas ondas incluem a sobre-elevação (*wave set-up*) e o espraiamento (*wave run-up*). A sobre-elevação é a variação no nível médio do mar causada pela arrebentação das ondas. O espraiamento é o nível máximo alcançado por uma onda individual ao avançar pela praia após quebrar. As variações no nível d'água provocadas por ondas são bem entendidas e há várias referências na literatura. Na presente análise são aplicadas as definições apresentadas nas diretrizes de 2004 da Agência Federal de Emergências dos EUA (*Federal Emergency Agency*). As diretrizes são utilizadas para avaliar o risco de erosão costeira no litoral da Califórnia e são amplamente aceitas.

O modelo calcula a sobre-elevação e o espraiamento e os dados derivados das ondas costeiras são utilizados para calcular as estatísticas referentes às variações no nível d'água provocadas pelas ondas. Infelizmente, não estão disponíveis dados com medição das variações no nível d'água (Maré meteorológica). Portanto, foi assumida uma relação empírica entre o aumento do nível do mar causado pelo vento da seguinte forma:

$$\Delta\eta = aV_w \cos(\alpha_w - \alpha_c) \quad (3.1)$$

Em que: $\Delta\eta$ = elevação do nível do mar, a = coeficiente, V_w = velocidade de vento em 10m de altura, α_w = direção do vento e α_c = orientação da costa.

As variações no nível d'água devidas à maré astronômica foram calculadas com base no modelo global de marés do DHI. A Figura 3-2 mostra as distribuições estatísticas dos níveis d'água. A curva azul indica os níveis d'água gerados pela maré astronômica, a curva vermelha indica os níveis provocados pelas ondas e a curva verde representa os níveis d'água oriundos do efeito combinado de ondas e marés. Os níveis apresentados aqui dizem respeito ao nível médio d'água, que fica cerca de 0,68m acima do nível zero da DHN.

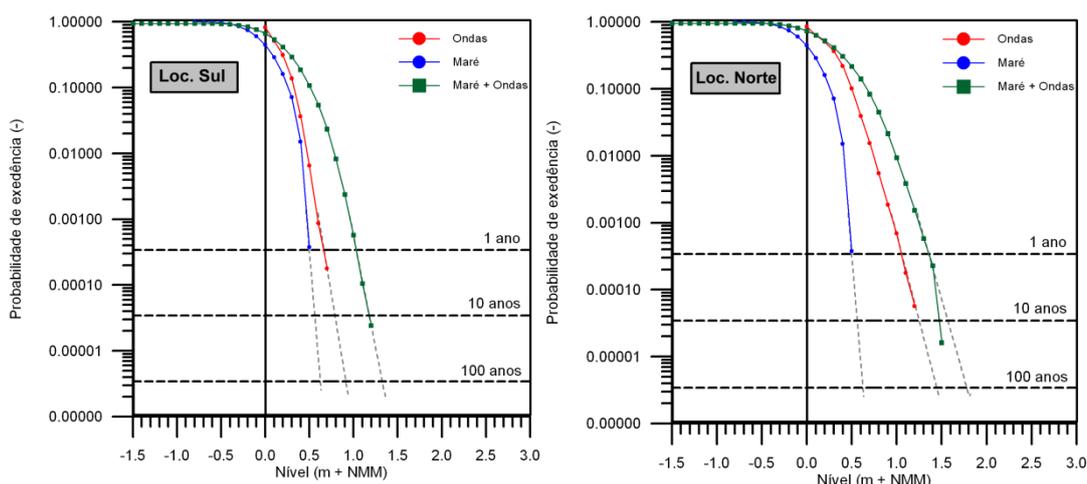


Figura 3-2 Níveis de água extremos na parte norte e sul da praia

A partir das análises estatísticas foram obtidas estatísticas de níveis d’água extremos. Isto foi feito por meio da extrapolação manual das distribuições calculadas para os valores correspondentes a períodos de retorno de 10 anos e 100 anos. Os níveis d’água para os diferentes períodos de retorno estão apresentados na Tabela 3-1.

Tabela 3-1 Níveis d’ água extremos calculados para vários períodos de retorno em relação ao nível médio do mar (NMM)

Posição	Tempo de recorrência		
	1 ano	10 anos	100 anos
Norte	1,35	1,60	1,80
Sul	1,00	1,20	1,30

3.3 Evolução do Perfil no Curto e Médio Prazos

No decorrer dos últimos anos esforços consideráveis foram realizados no desenvolvimento de modelos matemáticos que descrevam o comportamento dinâmico do perfil transversal da linha de costa.

A presente análise baseou-se no modelo apresentado em Kriebel e Dean (Ref. /2/). Esse modelo fornece soluções para a resposta no tempo do perfil de praia a tempestades na forma de uma integral de convolução. O modelo inclui uma função forçante de erosão variável no tempo e uma função exponencial de resposta da erosão. A função de erosão inclui dados de onda e níveis de água para a atual área do projeto. Com o objetivo de obter soluções analíticas, Kriebel e Dean (Ref. /2/) representaram uma ressaca por meio de um hidrógrafa idealizada. No presente trabalho as equações governantes foram resolvidas numericamente nos casos em que não foram feitas simplificações quanto às condições das ondas e nível d’água.

A base do método de convolução é a observação de que a resposta de uma praia a condições permanentes de pressão é aproximadamente exponencial no tempo. Assume-se que a equação diferencial linear que rege a resposta do perfil a variações no nível d’água tenha a seguinte forma:

$$\frac{dR(t)}{dt} + \alpha R(t) = \alpha R_{\infty} f(t) \quad (3.2)$$

R = posição da linha de costa e t = tempo. R_{∞} representa o avanço ou o recuo máximo em potencial da linha da costa se a praia alcançasse um novo equilíbrio relativo às condições do nível d'água e da arrebentação das ondas. O fator α = parâmetro característico da taxa do sistema, definido como $\alpha = 1/T_s$. A expressão para a escala de tempo característica, T_s , foi derivada com base em medições:

$$T_s = C_1 \frac{H_b^{3/2}}{g^{1/2} A^3} \left(1 + \frac{h_b}{B} + \frac{mx_b}{h_b} \right)^{-1} \quad (3.3)$$

C_1 = Constante, estabelecida como $C_1 = 320$, com base em resultados laboratoriais (Ref. /2/)

H_b = Altura da onda ao quebrar

g = Aceleração devida à gravidade

A = Constante do perfil

h_b = Profundidade da onda ao quebrar

B = Altura da berma

m = Inclinação da praia na linha de água

x_b = Largura da zona de arrebentação

A constante do perfil, A , se baseia no pressuposto de que a forma do perfil transversal da linha de costa pode ser simplificada de acordo com a seguinte expressão:

$$h = AX^{2/3} \quad (3.4)$$

Onde h = profundidade, X é a distância transversal da linha d'água. Dean (Ref. /3/) encontrou uma expressão empírica para A , determinada inteiramente pelas propriedades dos sedimentos, com base em dados de campo:

$$A = 0,067 w_s^{0.44} \quad (3.5)$$

Onde w_s é a velocidade da queda dos sedimentos (em cm/s).

A velocidade de queda dos sedimentos aumenta conforme o tamanho dos grãos. Assim, no caso de areia grossa calcula-se um fator A alto, o que resulta em um perfil íngreme. No caso de areia fina, o fator A é baixo e o perfil correspondente é mais suave. A Figura 3-3 mostra a forma do perfil transversal da linha da costa referente a grãos com vários diâmetros diferentes.

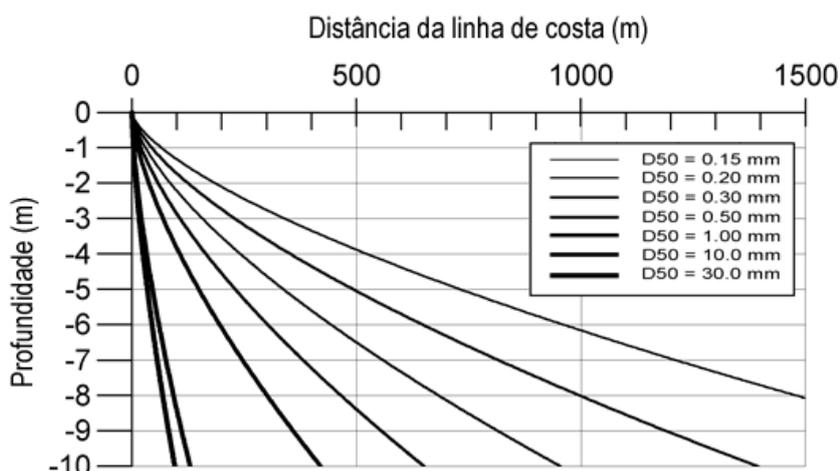


Figura 3-3 Perfis de equilíbrio conforme o tamanho dos grãos (Fonte: Mangor (Ref. /4/))

A altura de onda na arrebentação H_b e a profundidade no local de arrebentação h_b são calculadas no modelo utilizando um modelo simples de transformação de ondas, assumindo a refração e o empinamento lineares. O índice utilizado para a arrebentação das ondas foi 0,78, sendo um valor de uso comum. A altura da berma B e a inclinação da praia foram derivadas diretamente do perfil medido da praia.

No modelo admite-se que a forma do perfil transversal da linha da costa permanece constante, enquanto que a parte ativa do perfil desloca-se conforme as elevações do nível d'água (nível de ressaca). A velocidade desse deslocamento do perfil é determinada pelas condições das ondas. Parte-se do pressuposto que não há perda de sedimento na linha da costa, mas que o mesmo seja reposicionado devido às variações nas condições das ondas e nos níveis d'água. O conceito encontra-se ilustrado na Figura 3-4.

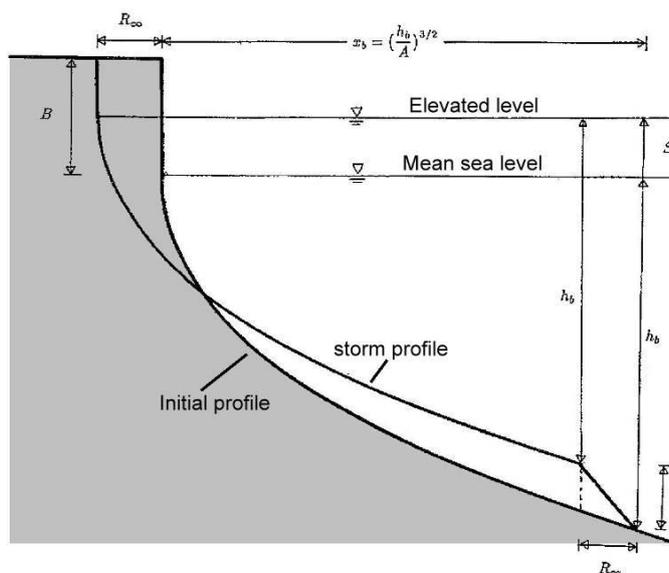


Figura 3-4 Ilustração do conceito do modelo do perfil

Com base nas definições acima, a posição de equilíbrio da linha da costa – que será alcançada se as condições atuais permanecerem constantes – pode ser calculada conforme segue:

$$R_{\infty} = \frac{S \left(x_b - \frac{h_b}{m} \right)}{B + h_b - S/2} \quad (3.6)$$

onde S = elevação da superfície da água (devida à maré, ressaca, sobre-elevação e espraiamento).

Nas simulações os parâmetros utilizados para as ondas foram baseados nas condições derivadas das ondas costeiras. A elevação total no nível d'água consiste de duas componentes: 1) – maré (astronômica e meteorológica) e 2) sobre-elevação e espraiamento, conforme apresentados na seção anterior. A sobre-elevação e o espraiamento foram estimados com base em Ruggiero *et Al.* (Ref. /5/). A equação foi resolvida numericamente para o período de 1970 a 2011.

A análise do perfil transversal da praia foi realizada para as duas posições ao longo da área do projeto. O perfil médio no decorrer do tempo foi utilizado como condição inicial. O espaçamento da grade utilizada no modelo foi de 5m. O intervalo de tempo nas simulações foi de 3 horas, o que corresponde à resolução de tempo dos dados de ondas.

Note-se que essas simulações representam apenas o recuo da linha de costa devido a mecanismos puros de transporte transversal de sedimentos. Isto implica que nessas simulações o volume total da areia permanece constante. As simulações representam a dinâmica da linha da costa, devida à relocação transversal da areia causada pela ação das ondas em conjunto com os níveis d'água. As perdas de sedimento devidas ao transporte longitudinal, conforme descrito na seção anterior, precisam ser superpostas nas simulações das variações da linha da costa devidas aos processos de transporte transversal do sedimento.

As simulações da dinâmica do perfil foram realizadas considerando o inteiro período de dados disponíveis de 1970 – 2011. A Figura 3-5 apresenta exemplos das variações da linha de costa na parte norte da praia (acima) e na parte sul (abaixo) durante um período de dois anos (2010-2011). As simulações indicam que as flutuações da linha de costa são maiores na parte norte da praia do que na parte sul. Esta diferença é causada pelo abrigo proporcionado pelo costão do Balneário do Rio Perequê para as ondas de *swell* que vem das direções S a SE. Quanto mais ao sul da praia, maior este abrigo. A parte sul da praia é mais exposta às ondas de E a NE do que a parte norte da praia. Porém, estas ondas são do tipo vagas (*sea*) e geralmente são menores e com períodos mais curtos do que as ondas do tipo *swell* da direção SE.

Os resultados das simulações indicam que flutuações da linha de costa da ordem de 5m ocorrem frequentemente na parte norte da praia. O recuo da linha de costa durante uma ressaca raramente excede 10m. Na parte sul as flutuações são normalmente da ordem de 2m e raramente excedem 5m.

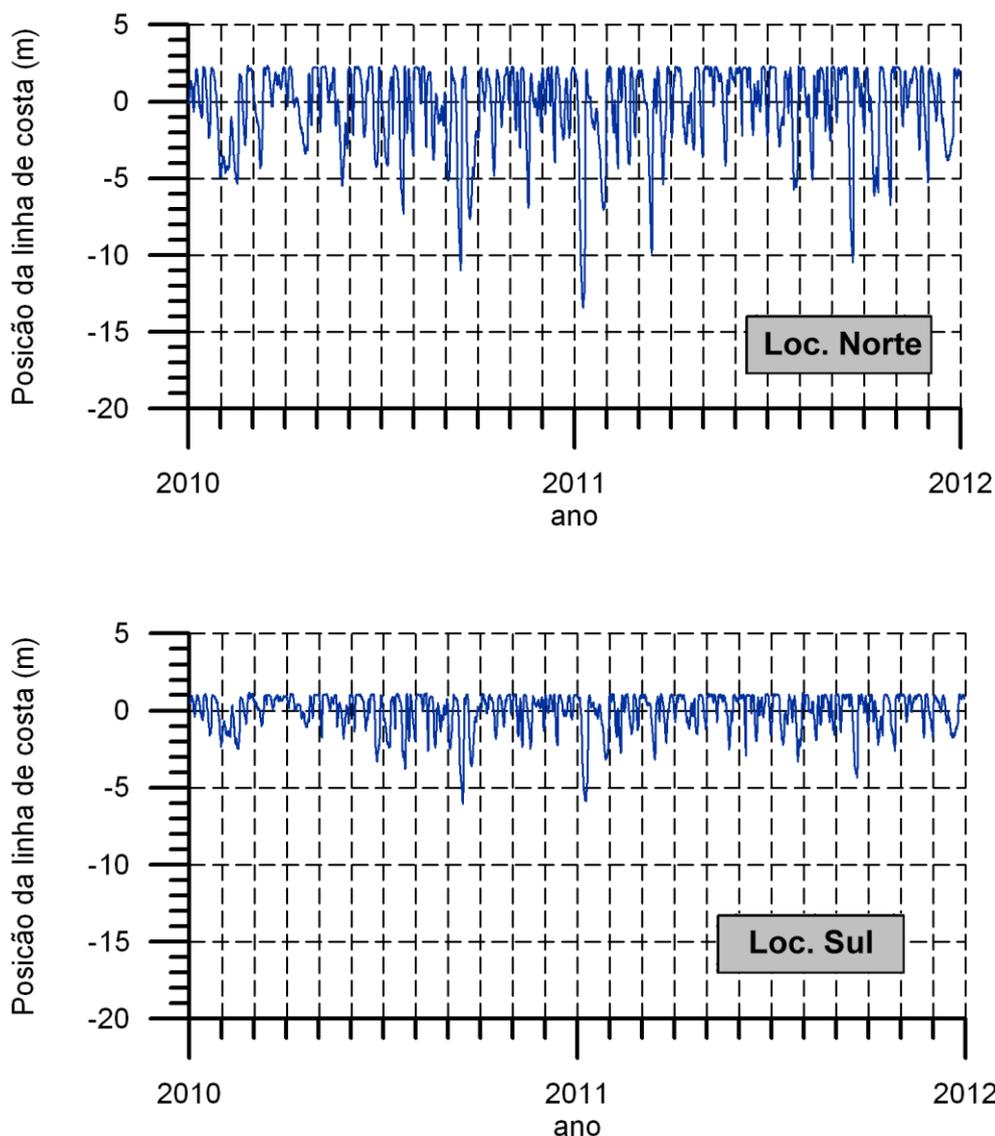


Figura 3-5 Exemplos de variações da linha da costa devidas aos processos de transporte transversal do sedimento. Acima : Loc. Norte, abaixo : Loc. Sul. Período : 2010-2011

As estatísticas de excedência das flutuações da linha da costa foram calculadas a partir das simulações, conforme mostra a Figura 3-6. O recuo máximo da linha da costa para diferentes períodos de retorno foi obtida por meio da extrapolação manual das distribuições calculadas para os valores correspondentes a períodos de retorno de 1,10, 50 e 100 anos. Os resultados baseados nos últimos dez anos estão apresentados na Tabela 3-2.

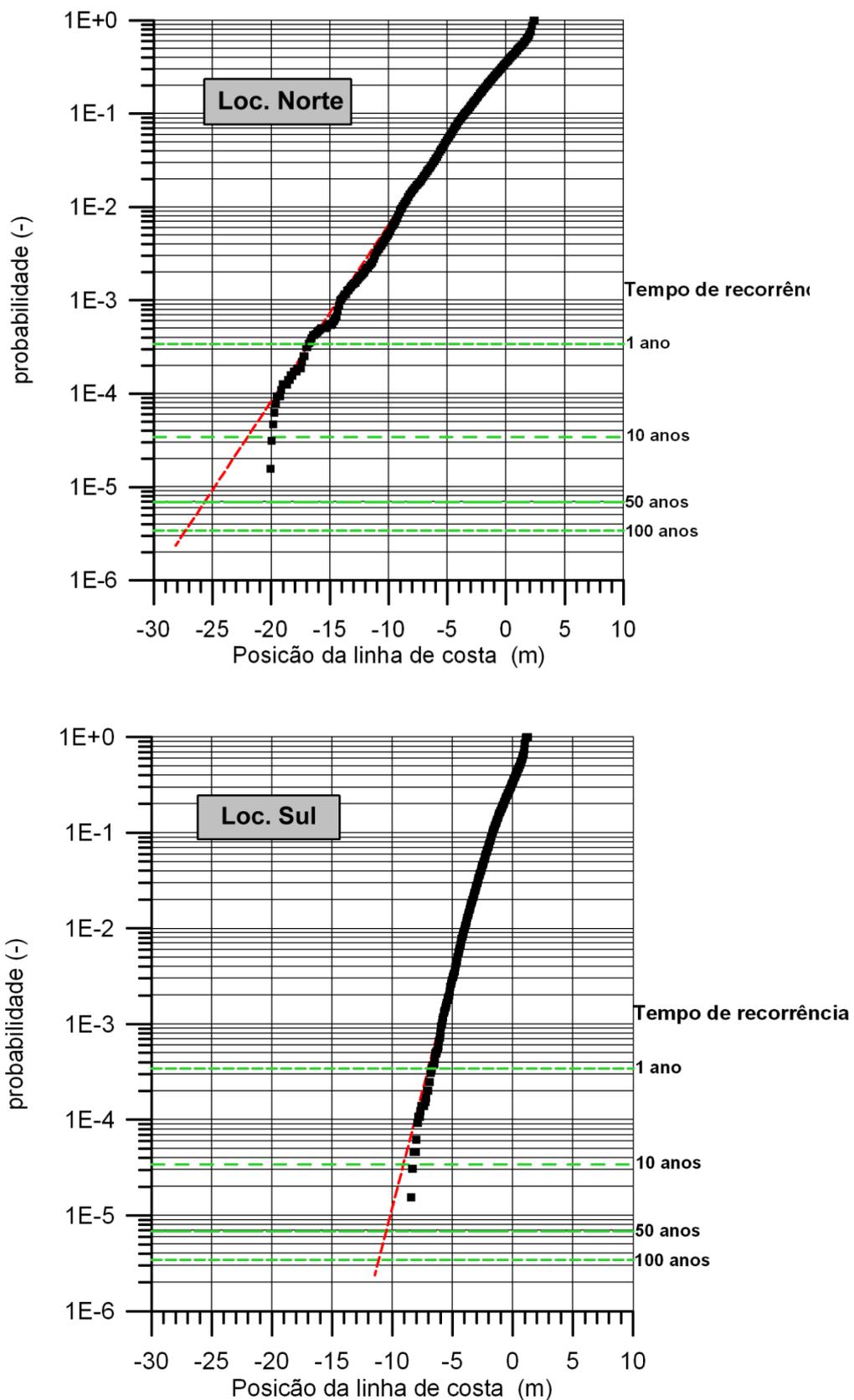


Figura 3-6 Estatísticas de excedência para a dinâmica da linha de costa devida à evolução do perfil. Acima: parte norte da praia; abaixo: parte sul

O recuo máximo da linha da costa para o período de retorno de 100 anos foi de aproximadamente 28m na parte norte da praia e 11m na parte sul. Observe se que estes valores representam o recuo da linha de costa somente devido à dinâmica do perfil transversal e foram calculados assumindo que as condições meteo-marinhas permanecerão inalteradas na região. A erosão da linha de costa causada por gradientes longitudinais no transporte litoral serão apresentadas na seção 5.

Tabela 3-2 Recuo máximo estimado da linha da costa devido à dinâmica do perfil transversal da costa para diferentes períodos de retorno, baseado no período [1970 – 2011].

Posição	Tempo de recorrência			
	1 ano	10 anos	50 anos	100 anos
Norte	17m	22m	26m	28m
Sul	7m	9m	10m	11m

4 Transporte litorâneo

Quando as ondas se aproximam da costa com determinado ângulo, então são geradas correntes pelas forças hidrodinâmicas associadas com a arrebentação das ondas. Estas correntes causam transporte de sedimento ao longo da praia. O transporte de sedimento anual líquido, ou deriva litorânea, é definido como a soma do transporte anual dirigido para norte e para o sul.

Os resultados da simulação de ondas foram extraídos em uma posição na parte central da área do projeto em frente da foz do Rio Perequê. Os dados foram extraídos como séries temporais de parâmetros de ondas (H_s , T_p e MWD) com intervalo de 3 horas durante o período inteiro (1970-2011) dos dados do GROW.

Os parâmetros de ondas próximas à costa foram utilizados para estimar o transporte anual longitudinal (deriva litorânea). Os cálculos foram realizados utilizando o modelo de transporte da DHI LITPACK. Além dos dados de ondas foram usados dados de batimetria (perfil transversal da praia), maré, e de sedimento (granulometria). As características dos sedimentos da praia foram estimados com base em outros projetos realizados pela DHI na região. Nos cálculos do transporte de sedimento foi assumido o valor de D_{50} de 0,15mm, que corresponde ao valor médio das amostras considerados. A variação do nível do mar foi calculado usando o modelo global de maré desenvolvido pela DHI.

O modelo de transporte de sedimentos calcula a transformação e a arrebentação das ondas através da zona de surf. Os campos de ondas simulados são usados para calcular as correntes litorâneas e o transporte de sedimentos resultante. A seção transversal de praia no local do projeto foi derivada dos dados batimétricos. Ao longo desta seção transversal, foram calculadas as taxas de transporte de sedimentos anuais, usando os dados de sedimentos disponíveis e o clima de ondas simulado para perto da costa. A Figura 4-1 mostra as taxas de transporte anuais calculadas para o perfil de praia tomado na parte central do site do projeto, entre as fozes dos rios Bela Cruz e Perequê. Um valor positivo indica transporte para norte. Na figura a profundidade é definida em relação ao nível médio do mar (NMM).

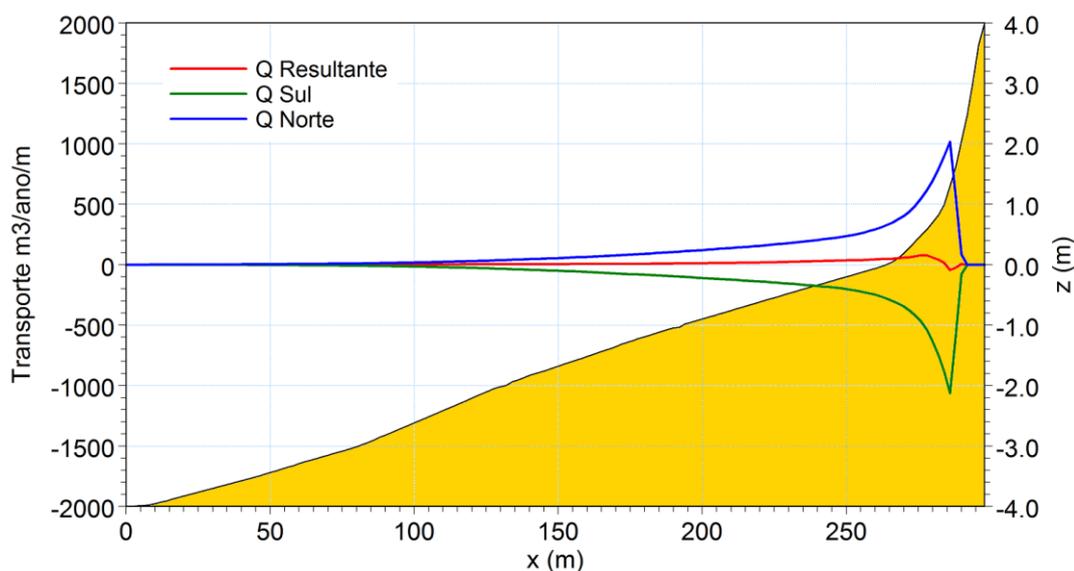


Figura 4-1 Distribuição transversal do transporte de sedimento anual.

Os cálculos indicam que a praia se encontra praticamente em equilíbrio, com o transporte resultante quase zero. Isto confirma os resultados obtidos no estudo de ondas, como apresentado na seção 2, que mostrou que a direção de onda residual é praticamente igual à orientação da linha de costa. As componentes norte e sul do transporte litorâneo são da ordem de 30.000 m³/ano. Foi observado que o transporte de sedimentos ocorre principalmente numa zona de aproximadamente 150 m da linha de água, sendo que a maior parte do transporte ocorre na faixa entre a praia e a isóbata de 1 metro.

A localização em que foi calculado o transporte litorâneo apresentado na Figura 4-1 corresponde à posição onde o transporte litorâneo bruto (a soma das componentes norte e sul) é maior. Nas proximidades das fozes as taxas de transporte diminuirão levemente por causa do abrigo proporcionado pelos costões norte e sul da praia.

A profundidade ativa da praia, d_a , definida como a profundidade limite acima da qual o sedimento no leito do mar pode ser mobilizado pela ação de ondas e correntes, é de aproximadamente 2,0 m. Esta profundidade é muito importante na definição do comprimento do guia-correntes. Se a profundidade em frente aos guia-correntes é menor que a profundidade ativa da praia, existe o risco de acumulação de areia transportada pelas ondas e correntes litorâneas, na foz do Rio. Para diminuir o risco de tal acumulação pode ser considerado um prolongamento do guia-correntes até a profundidade ativa de praia.

5 Evolução da linha de costa

Mesmo com transporte resultante quase zero, as mudanças nas condições de ondas apresentadas na seção 2 e a interferência com as novas estruturas nas fozes dos rios Perequê e Bela Cruz podem criar flutuações consideráveis na posição da linha de costa. Estas flutuações da posição da linha de costa, na escala sazonal e anual, são importantes para avaliar a estabilidade da praia e para definir o comprimento mínimo do guia-correntes nas fozes dos rios. Durante períodos com ondas da direção sul, a linha de costa pode crescer no lado norte da área do projeto, durante períodos com ondas de NE este padrão pode mudar e causar acreção no lado sul e recuo da linha de costa no lado norte.



Figura 5-1 A largura da praia é significativamente maior no lado norte da praia do que no lado sul. Esta diferença é causada pelas mudanças nas condições de ondas nos últimos anos.

Os resultados da análise das condições de ondas, apresentadas na seção 2, indicam que houve algumas mudanças nas condições de ondas nos últimos anos. Especialmente a mudança da direção média de ondas é muito importante para a estabilidade da praia. Tal rotação causará uma mudança na orientação de equilíbrio da praia o que se refletirá em erosão nas partes sul da praia e acreção no lado norte. As fotos aéreas (Google Earth ®)

apresentadas na Figura 5-1 confirmam que estes processos realmente estão ocorrendo. A largura no lado norte da praia é aproximadamente 25m enquanto que no lado sul é menor que 5m.

Para analisar a estabilidade da praia e o impacto nesta após a construção dos guia-correntes nas fozes dos rios, foi realizada uma série de simulações usando o modelo matemático LITLINE que faz parte do sistema LITPACK, um sistema de modelagem da DHI. O modelo simula a propagação e arrebentação de ondas na zona litoral e calcula as correntes litorâneas e o transporte de sedimento causado pela ação combinada de ondas e correntes. Foi simulada a série temporal de ondas durante um período de dez anos (2001 – 2010). A resolução temporal usada nas simulações foi 3 horas, resultando em um total de $10 \times 365 \times 24/3 = 29.200$ condições de ondas. A Figura 5-2 mostra a localização da área do projeto e três posições de referência usadas na apresentação dos resultados do estudo.

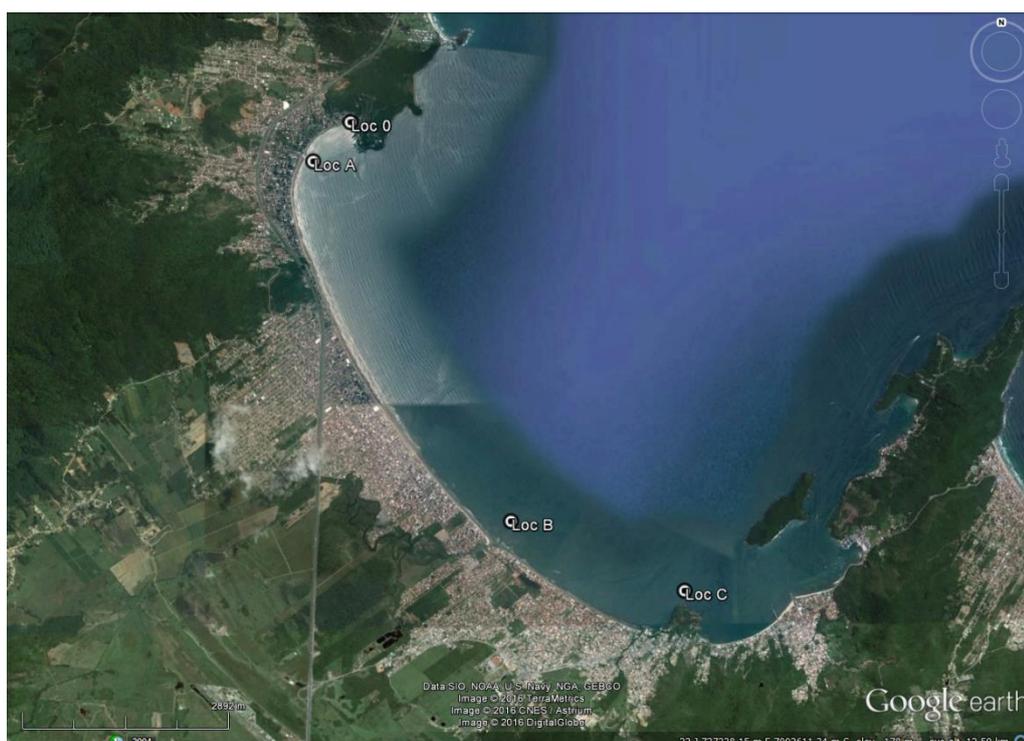


Figura 5-2 Área do projeto e três posições de referência.

As simulações foram realizadas com base no perfil transversal da praia, o qual foi calculado com base nos dados batimétricos que foram disponibilizados à DHI e apresentados na Figura 4-1. Nas simulações foi assumido um sedimento típico da área com $d_{50}=0,15\text{mm}$ com fator de distribuição granulométrica $\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{0,5} = 1,6$.

Para incluir o impacto das mudanças nas condições de ondas foi considerada uma rotação de 2 graus no sentido horário na direção das ondas na zona offshore. Esta rotação reflete as mudanças observadas nas condições de ondas perto das costa.

Foi simulada a evolução da linha de costa para o caso de não ser realizada nenhuma intervenção em forma de guia-correntes e/ou engordamento da praia (“do nothing”). O resultado é apresentado na Figura 5-3 (linha preta tracejada). A simulação confirma a erosão no lado sul da praia e a acresção no lado norte que já foi observada na análise das fotos aéreas apresentadas na Figura 5-1. Sem intervenção nenhuma a erosão no lado sul da praia pode atingir até 40m nos próximos 10 anos, o qual causaria danos significativos às casa e outras infraestruturas costeiras. Ao mesmo tempo a acresção no lado norte

continuará causando acumulação de sedimentos na extremidade norte da praia, onde está projetada a construção de uma marina. Esta acumulação de areia pode comprometer a navegabilidade da marina.

A simulação da evolução da linha de costa foi repetida com guia correntes nas fozes dos rios Bela Cruz e Perequê. O resultado da simulação é apresentado na Figura 5-3 (linha vermelha). A simulação indica que a presença dos guia-correntes causará erosão da praia no lado norte dos guia-correntes e acresção no lado sul. A erosão observada nos lados norte dos guia-correntes são da mesma ordem de grandeza que a erosão que ocorreria na parte sul da praia sem intervenção nenhuma e é causada pelas mudanças na direção das ondas. As simulações indicam que após 10 anos haverá acresção de aproximadamente 50m nos lados sul dos guia-correntes.

Para mitigar a erosão é recomendado o engordamento da praia nas partes imediatamente ao norte dos guia-correntes. Foram simulados vários cenários de engordamento e o melhor resultado foi obtido para um cenário com 150,000 m³ e 100,000 m³ na parte central e sul da praia, respectivamente. As simulações indicam que a praia ao norte dos guia-correntes voltará a ter a largura inicial após aproximadamente 7 anos, indicada como a linha verde na Figura 5-3. Após 7 anos será necessário um novo engordamento da praia. A linha azul na Figura 5-3 indica a linha de costa após o segundo período de 7 anos.

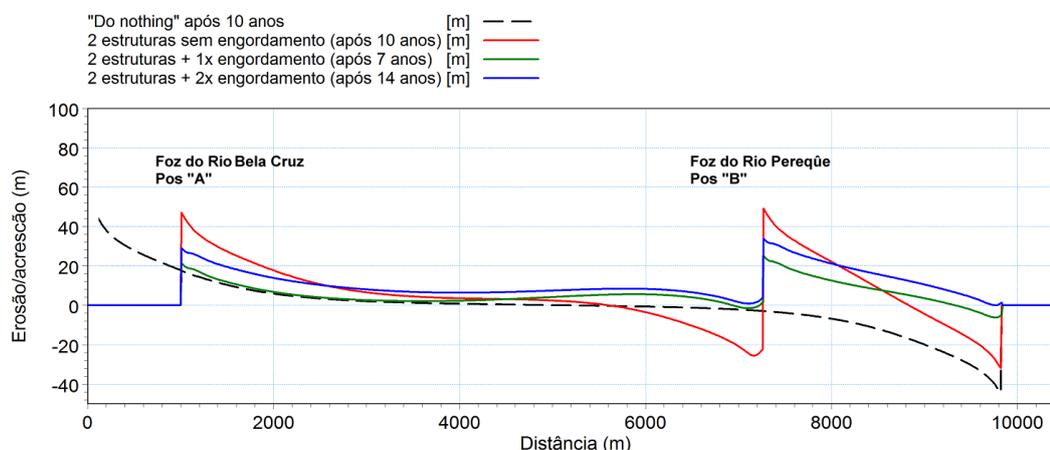


Figura 5-3 Evolução da linha de costa durante 10 anos após a construção dos guia correntes.

A praia entre o guia-correntes na foz do Rio Bela Cruz e a marina se adaptará às novas condições de abrigo criadas pelas estruturas. A areia se acumulará no lado norte do guia-correntes e ao longo da estrutura sul da marina. Para evitar erosão da praia na parte entre o guia-correntes e a marina e para revitalizar a praia nesta área é recomendado aplicar um pequeno engordamento de aproximadamente 50.000 m³. Este volume é necessário uma única vez logo após a construção do guia-correntes na foz do Rio Bela Cruz e da marina. A configuração da praia após a construção dos guia-correntes e o engordamento é ilustrada na próxima seção.

6 Características do sistema de gerenciamento de praia

As simulações apresentadas nas seções anteriores indicam que, caso não seja realizada nenhuma intervenção, haverá erosão na parte sul da praia e acresção na parte norte. Esta evolução natural da praia é causada pelas mudanças nas condições de ondas nos últimos anos. Não se sabe se estas mudanças representam flutuações em uma escala de tempo de poucos anos ou se elas refletem uma tendência de mudança no longo prazo. É possível que as mudanças observadas nos dados de ondas se revertam e que a configuração da linha de costa volte a permanecer em equilíbrio. Porém, se as flutuações observadas nos últimos anos continuarem, serão necessárias intervenções humanas para mitigar os problemas costeiros e evitar erosão da praia.

As simulações de transporte litorâneo, apresentada na seção 4, mostraram que praticamente todo o transporte de sedimento ocorre numa faixa entre 0m e 100m da linha de costa. As simulações da evolução da linha de costa indicam acresção da praia nos lados sul dos guia-correntes nas fozes dos rios Bela Cruz e Perequê. É esperada que esta acresção atinja até 40 a 50m nos próximos 50 anos, assumindo que as condições de ondas continuem iguais às condições atuais. Combinando a largura da zona litoral e a acresção da linha de costa conclui-se que o comprimento ideal dos guia-correntes é de 150m a partir da linha na costa de cota 0m em relação ao nível médio do mar (NMM) A profundidade na extremidade dos guia-correntes é na faixa de 2m em relação ao nível médio do mar.

O engordamento da praia será necessário ao longo de um trecho de 1000m ao norte do guia-correntes. Espera-se que o sedimento que será colocado na praia seja gradualmente transportado na direção norte pela corrente litorânea e seja acumulado no lado sul do guia-correntes localizado no norte. As características do sistema de proteção da linha de costa são apresentadas na Tabela 6-1 e na Figura 6-1.

Tabela 6-1 Características do sistema de proteção da linha de costa recomendado

Característica do sistema de proteção da linha de costa	Área		
	Praia norte (entre a foz do R. Bela Cruz e a marina)	Praia central (entre as fozes dos rios Perequê e Bela Cruz)	Praia sul (entre o costão do Balneário de Perequê e a foz do R. Perequê)
Comprimento dos guia-correntes (m)	-	150m	140m
Volumes de engordamento (m ³)	50.000m ³	150.000m ³	100.000m ³
Frequência de engordamento	Após a construção do guia-correntes e a marina.	7 anos	7 anos



Figura 6-1 Sistema de proteção da linha de costa recomendado

7 Conclusões

- A altura significativa de onda média H_s na zona costeira é de aproximadamente 0,5m a 1,0m. A altura significativa de onda raramente excede 2,5 m.
- O período de pico de ondas mais frequente T_p na zona costeira é 10-12 segundos na parte norte da praia e 8-9 segundos na parte sul. O período de pico de ondas raramente excede 18s.
- A direção de onda prevalecente é ESE na parte norte da praia e NE na parte sul.
- A altura de onda extrema, com período de recorrência de 100 anos é 2,3m em frente à foz do Rio Perequê e 2,8m em frente à foz do Rio Bela Cruz e da Marina.
- Nos últimos anos/décadas houve flutuações nas condições de ondas. A altura média de onda na zona offshore aumentou de 5 a 10 % e a direção de onda rotacionou no sentido horário aproximadamente 2 graus durante os últimos anos.
- As estruturas da marina providenciam condições de agitação marítima muito calmas dentro da marina.
- O recuo extremo da linha de costa devido ao transporte transversal da costa durante ressacas é da ordem de 28m na parte norte da praia e de 11m na parte sul.
- O transporte de sedimento ao longo da praia é aproximadamente 30.000 m³/ano nas duas direções (NE e SW). Há um pequeno transporte líquido na direção NE.
- As mudanças nas condições de ondas já se manifestam na configuração atual da praia. Análise de fotos aéreas indicam que a praia na parte norte é significativamente mais larga do que na parte sul. Isto indica que há um transporte líquido de sedimento de sul para norte. Esta observação confirma os resultados obtidos nesta análise.
- Sem intervenção nenhuma é esperada que a erosão na parte sul da praia continue no futuro. Esta erosão pode atingir até 40m nos próximos 10 anos se as atuais condições de ondas continuarem a ocorrer.
- A construção dos guia-correntes nas fozes dos rios Bela Cruz e Perequê resultaria em erosão da praia ao norte dos guia-correntes e acresção ao longo do lado sul dos guia-correntes. A erosão atingiria valores inaceitáveis e causaria danos à rua, casas e outras infraestruturas costeiras nestas áreas.
- Se a construção dos guia-correntes for combinado com engordamento da praia será possível estabelecer uma praia estável ao longo de toda a área do projeto. Os volumes de engordamento são de 150.000 m³ na área da foz do Rio Bela Cruz e 100.000 m³ na área da foz do Rio Perequê. O engordamento deve ser repetido a cada 7 anos assumindo as atuais condições de ondas. O comprimento do guia-correntes é 150m na foz do Rio Bela Cruz e 140m na foz do Rio Perequê.
- É recomendável o engordamento da praia entre a foz do Rio Bela Cruz e a Marina para evitar erosão neste trecho da praia. O volume deste engordamento é 50.000 m³ e precisa ser realizado somente uma vez logo após a construção da marina.
- É necessária uma pequena recuperação da praia ao sul da foz do Rio Perequê em combinação com a construção do guia-correntes neste local.
- É necessário dragar/aprofundar o canal conectando os rios com o mar.

8 Referências bibliográficas

- /1/ Alleanza Projetos e Consultoria Ltda., 2012. Navegantes – Obras para controle de Inundações – Desassoreamento e Limpeza de Rios. Projeto Geométrico – Perfil Longitudinal. Maio/2012.
- /2/ Kriebel, D. e Dean, R., 1993. "Convolution Method for Time-Dependent Beach-Profile Response." J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng., 10.1061/(ASCE)0733-950X(1993)119:2(204), 204-226.
- /3/ Dean, R. G., 1987. Coastal Sediment Processes: Toward Engineering Solutions, Proc. Coastal Sediments, ASCE, 1-24.
- /4/ Mangor, K., 2004. Shoreline Management Guidelines. DHI Water & Environment. December 2004.
- /5/ Ruggiero, P., P. D. Komar, W. G. McDougal, J. J. Marra, and R. A. Beach, 2001. Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches, J. Coastal Res., 17, 407–419.