



Coastal Planning & Engineering do Brasil

**MODELAGEM NUMÉRICA COMO SUBSÍDIO AOS ESTUDOS À FIXAÇÃO DA
BARRA DO RIO ARARANGUÁ**

Preparado para:

Engera Engenharia e Gerenciamento de Recursos Ambientais

Preparado por:

Coastal Planning & Engineering do Brasil

Agosto de 2009



Sumário Executivo

A Coastal Planning and Engineering do Brasil foi contratada pela Engera Engenharia e Gerenciamento de Recursos Ambientais para a realização de estudos de modelagem numérica em suporte à fixação da barra do Rio Araranguá, Araranguá-SC. O objetivo do estudo foi a determinação e avaliação dos impactos e mudanças morfológicas decorrentes do projeto de fixação da barra.

Para atingir o objetivo, foi utilizado o Delft-3D, modelo numérico desenvolvido pela Deltares (Delft Hydraulics - Holanda), que apresenta grande histórico de aplicações bem sucedidas em ambientes marinhos, costeiros e estuarinos ao redor do mundo.

Os dados batimétricos utilizados foram obtidos a partir da digitalização de cartas náuticas e de amostragens *in situ*, e os dados de onda usados são provenientes do modelo de reanálise do WAVEWATCH III.

Para a modelagem numérica foram utilizados quatro cenários de simulação, sendo um o cenário atual e os outros três alternativas com diferentes configurações de estruturas de fixação. Para quantificar o impacto das estruturas apresentadas nas alternativas, foram analisadas as mudanças no padrão de propagação das ondas, nas características hidrodinâmicas e nos padrões de transporte de sedimentos.

A escolha dos casos de onda para simulação teve por base o diagrama de ocorrência conjunta de Direção e altura significativa de onda (H_s), e foram escolhidos dois casos representativos. O primeiro caso representa um estado de mar característico de leste/nordeste, com altura significativa (H_s) de 1,5 metros; período de pico (T_p) de 6,8 segundos e Direção predominante de 62° . O segundo caso representa os eventos de maior energia provenientes do quadrante sul associados a deslocamentos de sistemas frontais (H_s : 4,3 m; T_p : 10,7 s; Direção 197°).

A análise do impacto das alternativas no padrão de correntes e no transporte de sedimentos foi feita com base na influência dos dois casos de ondas selecionados durante a maré enchente e vazante, em condições de maré de sizígia. O impacto da obra de fixação na morfologia foi analisado para o período correspondente a um e três anos após a implementação de cada alternativa.

A taxa de progradação da linha de costa foi calculada através de uma quantificação da variância sazonal e interanual da magnitude de transporte de sedimentos ao longo da costa.



Índice Geral

Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. ÁREA DE ESTUDO/DADOS HISTÓRICOS.....	1
3. DADOS DE ENTRADA DO MODELO.....	6
Batimetria.....	6
Constantes Harmônicas	8
Clima de Ondas	9
4. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO	12
Domínio de Cálculo	13
Malhas Computacionais	13
5. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	17
Marés.....	17
6. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO.....	18
Cenário Atual	18
Alternativa 1 (Projeto INPH)	19
Alternativa 2 (Projeto INPH aberto)	20
Alternativa 3 (Projeto INPH aberto, com canal norte fechado por dique)	21
7. ANÁLISE DE IMPACTO DA OBRA NAS ONDAS, CORRENTES E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	22
Análise de Impactos dos Molhes na Propagação de Ondas.....	22
Análise de Impactos na Hidrodinâmica.....	25
Análise de Impactos no Transporte de Sedimentos.....	41
Análise de Impactos na Morfologia	56
8. CÁLCULO DO POTENCIAL DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS AO LONGO DA PRAIA75	
Seleção dos Casos de Onda.....	75
Transporte de Sedimentos ao Longo da Costa	76
9. CÁLCULO DAS TAXAS DE PROGRADAÇÃO DA LINHA DE COSTA INTERNA (DE FRENTE PARA O RIO) DEVIDO AO EFEITO EÓLICO.....	79

10. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA OBRA NO NÍVEL D'ÁGUA DO RIO DURANTE EVENTOS DE VAZÃO EXTREMA	83
11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	86
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

Lista de Figuras

Figura 1: Localização da área de estudo.	2
Figura 2: Região de risco calculada para o rio Araranguá – imagem de 1957. Fonte: SILVA (2009).....	3
Figura 3: Moto aquática (<i>jet sky</i>) utilizada nos levantamentos batimétricos ao largo da praia de Araranguá. É possível observar a haste de suporte do transdutor e antena de transmissão dos dados (x,y e z).	7
Figura 4: Captação em tempo real dos dados de batimetria através do software Hypack.....	7
Figura 5: Constantes harmônicas de Araranguá – SC. Fonte: FEMAR (2000).....	8
Figura 6: Diagrama de ocorrência conjunta de Direção <i>versus</i> Hs (m).....	9
Figura 7: Diagrama de ocorrência conjunta de Direção <i>versus</i> Tp (s).	10
Figura 8: Histograma de Hs.	10
Figura 9: Função de distribuição de Hs.....	10
Figura 10: Rosa de ondas.	11
Figura 11: Grade numérica utilizada para a propagação de ondas em escala regional.....	14
Figura 12: Batimetria utilizada para a propagação de ondas em escala regional.	14
Figura 13: Grade numérica utilizada para a propagação de ondas em escala local.	15
Figura 14: Batimetria utilizada para a propagação de ondas em escala local.	15
Figura 15: Grade numérica utilizada para a simulação hidrodinâmica, transporte de sedimentos e morfologia. .	16
Figura 16: Batimetria utilizada para a simulação hidrodinâmica, transporte de sedimentos e morfologia.	16
Figura 17: Comparação da série temporal de elevação prevista e simulada.	17
Figura 18: Cenário Atual em condições naturais. A escala de cores representa a profundidade, em metros.	18
Figura 19: Cenário proposto pelo INPH (1993), com a estrutura de fixação representada em linhas vermelhas. A escala de cores representa a profundidade, em metros.....	19
Figura 20: Detalhe da geometria dos molhes do cenário de fixação proposto pelo INPH (1993). A escala de cores representa a profundidade, em metros.	19
Figura 21: Cenário de fixação da Alternativa 2 A escala de cores representa a profundidade, em metros.	20
Figura 22: Detalhamento da geometria dos molhes da Alternativa 2. A escala de cores representa a profundidade, em metros.....	21

Figura 23: Cenário de fixação da Alternativa 3. A escala de cores representa a profundidade, em metros.	21
Figura 24: Vetores e magnitude de Hs, resultante da propagação do caso de onda 1 ($H_s = 1,5\text{m}$, $T_p = 6,8\text{s}$, $\text{Dir} = 62^\circ$) para a condição atual (esquerda) e condição com os molhes (direita – Alternativa 1).	23
Figura 25: Mudança relativa da altura significativa entre o cenário com molhes (Alternativa 1) e o atual para o caso de onda 1. Valores positivos (vermelho) representam aumento relativo nas alturas significativas. Valores negativos (azul) representam diminuição relativa nas alturas significativas.	23
Figura 26: Vetores e magnitude de Hs, resultante da propagação do caso de onda 2 ($H_s = 4,3\text{m}$, $T_p = 10,7\text{s}$, $\text{Dir} = 197^\circ$) para a condição atual (esquerda) e condição com os molhes (direita).	24
Figura 27: Mudança relativa da altura significativa entre o cenário com molhes e o atual para o caso de onda 2. Valores positivos (vermelho) representam aumento relativo nas alturas significativas. Valores negativos (azul) representam diminuição relativa nas alturas significativas.	24
Figura 28: Velocidade e direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que a magnitude das correntes longitudinais não ultrapassam 0,5 m/s, com sentido NE-SW. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.	26
Figura 29: Velocidade e direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. Neste caso, verifica-se que a direção longitudinal ainda é NE-SW, com a diferença de haver um aumento da velocidade de correntes junto a desembocadura, chegando a 0,8 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.	27
Figura 30: Velocidade e direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Verifica-se a presença de uma corrente longitudinal marcante, com velocidades chegando a 1 m/s, com direção SW-NE. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.	28
Figura 31: Velocidade e direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Verifica-se que a corrente longitudinal com direção SW-NE ainda está presente, sendo observada uma intensificação das correntes junto à desembocadura. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.	28
Figura 32: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 1, na maré enchente, durante o caso de ondas 1. A velocidade de correntes é de aproximadamente 0,4 m/s, com velocidades praticamente nulas ao Sul da obra e no canal adjacente à obra de engenharia. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.	29
Figura 33: Mudança relativa da velocidade de correntes com relação ao Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, em maré enchente. As mudanças mais significativas estão ao sul da obra e no canal abandonado, onde ocorreu diminuição das correntes. Dentro e nas proximidades do canal ocorreu aumento da velocidade de correntes. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.	29
Figura 34: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 1, na maré vazante, durante o caso de ondas 1. A corrente longitudinal tem sentido NE-SW, e a magnitude chega a 0,6 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.	30
Figura 35: Mudança relativa da velocidade de correntes com relação ao Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, em maré vazante. As mudanças ocorreram nos mesmos locais que durante a maré enchente, porém com maior intensidade. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.	30
Figura 36: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 1, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. A intensidade das correntes é elevada, chegando a pouco mais de 1 m/s. O sentido das correntes é SW-NE, e verifica-se a formação de um vórtice em frente a obra, provocado pelo desvio que esta gera na corrente. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.	31
Figura 37: Mudanças relativas na Alternativa 1 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. Verifica-se que houve um grande aumento nas velocidades de correntes dentro do canal e nas correntes ao sul do molhe, com magnitudes chegando a 0,5 m/s. Uma diminuição das correntes foi verificada próxima a obra de fixação de até 0,5 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.	31

- Figura 38: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 1, na maré vazante, durante o caso de ondas 2. O sentido das correntes é SW-NE, e a intensidade destas chegam a 1 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 32
- Figura 39: Mudanças relativas na Alternativa 1 com relação ao cenário atual, na maré vazante, durante o caso de ondas 2. Verifica uma intensificação nas velocidades das correntes em frente ao molhe e dentro deste, chegando a pouco mais de 0,5 m/s. Uma diminuição da intensidade das correntes de até 0,5 m/s foi verificada próxima a obra de fixação e na antiga desembocadura. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s. 32
- Figura 40: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. A intensidade das correntes não ultrapassa de 0,4 m/s, com direção NE-SW. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 33
- Figura 41: Mudanças relativas na Alternativa 2 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 1. As modificações na intensidade nas correntes foi baixa, não ultrapassando 0,2 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s. 33
- Figura 42: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. A direção das correntes longitudinais apresentam direção NE-SW, e a intensidade máxima destas não ultrapassa de 0,4 cm/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 34
- Figura 43: Mudanças relativas na Alternativa 2 com relação ao cenário atual na maré vazante, durante o caso de ondas 1. As modificações na intensidade nas correntes tiveram pequena magnitude, a maior delas ocorrendo no canal da antiga desembocadura há uma redução nas velocidades de correntes de até 0,4 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s. 34
- Figura 44: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 2, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. A intensidade das correntes é elevada, chegando a 1 m/s. O sentido das correntes é SW-NE, e verifica-se a formação de um pequeno vórtice em frente a obra, provocado pelo desvio que esta gera na corrente. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 35
- Figura 45: Mudanças relativas na Alternativa 2 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. Verifica uma intensificação nas velocidades das correntes em frente ao molhe e dentro deste, bem como no canal que leva a desembocadura antiga, chegando a pouco mais de 0,5 m/s. Uma diminuição da intensidade das correntes de até 0,5 m/s foi verificada próxima a obra de fixação e na antiga desembocadura. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s. 35
- Figura 46: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. A intensidade das correntes chega a até 1 m/s. O sentido das correntes é SW-NE, e verifica-se a formação de um pequeno vórtice em frente a obra, provocado pelo desvio que esta gera na corrente. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 36
- Figura 47: Mudanças relativas na Alternativa 2 com relação ao cenário atual, na maré vazante, durante o caso de ondas 2. Verifica uma intensificação nas velocidades das correntes em frente ao molhe e dentro deste, bem como no canal que leva a desembocadura antiga, chegando a pouco mais de 0,5 m/s. Uma diminuição da intensidade das correntes de até 0,5 m/s foi verificada próxima a obra de fixação e na desembocadura do antigo canal. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s. 36
- Figura 48: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. A intensidade das correntes não ultrapassa de 0,4 m/s, com direção NE-SW. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 37
- Figura 49: Mudanças relativas na Alternativa 3 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 1. As modificações na intensidade nas correntes foi baixa, não ultrapassando 0,3 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s. 37
- Figura 50: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. A intensidade das correntes não ultrapassa de 0,5 m/s, com direção longitudinal NE-SW. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 38

- Figura 51: Mudanças relativas na Alternativa 3 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 1. As modificações na intensidade nas correntes chegou a 0,4 m/s, sendo verificada uma expressiva diminuição nas velocidades de correntes no canal abandonado, paralelo à praia, de até 0,4 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s. 38
- Figura 52: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. As correntes apresentam sentido SW-NE, e chegam a atingir 1 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 39
- Figura 53: Mudanças relativas na Alternativa 3 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. Diminuições nas velocidades de correntes foram verificadas próximas a obra de fixação e no canal abandonado, chegando a pouco mais de 0,5 m/s, e intensificações na velocidade de correntes foram verificadas em frente a obra e em seu interior de até 0,5 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s. 39
- Figura 54: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. As velocidades de correntes chegam a até 1 m/s, e o sentido destas é SW-NE. Observa-se a presença de um vórtice em frente a obra, provocado pelo desvio que esta gera na corrente. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 40
- Figura 55: Mudanças relativas na Alternativa 3 com relação ao cenário atual, na maré vazante, durante o caso de ondas 2. Modificações nas velocidades de correntes, tanto intensificação como diminuição, foram verificadas, chegando a pouco mais de 0,5 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s. 40
- Figura 56: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que o transporte de sedimentos foi muito pequeno, não ultrapassando 0,0002 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 42
- Figura 57: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. Da mesma forma que na maré enchente, o transporte de sedimentos foi muito pequeno. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 42
- Figura 58: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. O transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE, chegando a 0,0016 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 43
- Figura 59: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. O transporte de sedimentos apresentou as mesmas características que o transporte da maré enchente, com direção SW-NE e magnitude de até 0,0016 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 43
- Figura 60: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 1, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, não chegando a 0,0002 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 44
- Figura 61: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 1 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que não houveram modificações no transporte de sedimentos. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. ... 44
- Figura 62: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 1, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, atingindo até 0,0002 m³/m/s, com direção NE-SW. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 45
- Figura 63: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 1 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. Verifica-se que não houveram modificações no transporte de sedimentos, com exceção de uma pequena diminuição junto a desembocadura antiga, da ordem de 0,0002 m³/m/s. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 45
- Figura 64: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 1, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. O O transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE, chegando a 0,0016 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 46

- Figura 65: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 1 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Houve uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação, que chegou a 0,001 m³/m/s, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de 0,0008 m³/m/s. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 46
- Figura 66: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 1, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. O transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE, chegando a mais de 0,0016 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 47
- Figura 67: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 1 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Houve uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação e na antiga desembocadura, que chegou a 0,001 m³/m/s, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de 0,0008 m³/m/s. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 47
- Figura 68: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, não chegando a 0,0002 m³/m/s, com direção NE-SW. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 48
- Figura 69: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 2 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Não houveram mudanças significativas. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 48
- Figura 70: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, apresentou direção NE-SW, chegando a 0,0002 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 49
- Figura 71: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 2 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. Verifica-se que não houveram modificações no transporte de sedimentos, com exceção de uma pequena diminuição junto a desembocadura antiga, da ordem de 0,0002 m³/m/s. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 49
- Figura 72: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. O transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE, chegando a mais de 0,0016 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 50
- Figura 73: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 2 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Houve uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação, que chegou a 0,001 m³/m/s, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de 0,0008 m³/m/s. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 50
- Figura 74: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Como na maré enchente, o transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE e chegou a mais de 0,0016 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 51
- Figura 75: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 2 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Houve uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação e junto à antiga desembocadura, que chegou a 0,001 m³/m/s, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de 0,0008 m³/m/s. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 51
- Figura 76: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, apresentou direção NE-SW, não ultrapassando 0,0002 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 52
- Figura 77: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 3 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que não houve transporte de sedimentos significativo. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 52
- Figura 78: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, apresentou direção NE-SW, chegando a 0,0002 m³/m/s. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em m³/m/s. 53

Figura 79: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 3 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que não houve transporte de sedimentos significativo, somente uma diminuição de menos de $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$ na antiga desembocadura. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$ 53

Figura 80: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Observa-se que o transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE e chegou a mais de $0,0016 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$ 54

Figura 81: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 3 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Observa-se uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação, que chegou a $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de $0,0008 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$ 54

Figura 82: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Da mesma forma que na maré enchente, o transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE e chegou a mais de $0,0016 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$ 55

Figura 83: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 3 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Verifica-se uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação e na antiga desembocadura, que chegou a $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$, e observa-se um aumento do transporte em frente à obra de $0,0008 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença de magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$ 55

Figura 84: 12 classes (linhas pretas) e casos de ondas representativos (pontos vermelhos) selecionados do clima de ondas (pontos azuis) utilizando o método do fluxo de energia..... 57

Figura 85: Erosão e deposição na área de estudo após 1 ano. Cenário atual. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros..... 58

Figura 86: Efeito na morfologia (erosão/deposição) de um evento de vazão extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) durante 2 dias. Cenário Atual. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros. 59

Figura 87: Erosão e deposição na área de estudo após 1 ano, Alternativa 1. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros..... 60

Figura 88: Mudança relativa de erosão e deposição entre o Cenário Alternativa 1 e o Cenário Atual para 1 ano de simulação. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros. 61

Figura 89: Efeito na morfologia (erosão/deposição) de um evento de vazão extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) durante 2 dias, Alternativa 1. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros. 62

Figura 90: Erosão e deposição na área de estudo após 1 ano, Alternativa 2. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros..... 63

Figura 91: Mudança relativa de erosão e deposição entre o cenário Alternativa 2 e o Cenário Atual para 1 ano de simulação. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros. 64

Figura 92: Efeito na morfologia (erosão/deposição) de um evento de vazão extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) durante 2 dias. Alternativa 2. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros. 65

Figura 93: Erosão e deposição na área de estudo após 1 ano, Alternativa 3. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros..... 66

Figura 94: Mudança relativa de erosão e deposição entre o cenário Alternativa 3 e o Cenário Atual para 1 ano de simulação. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros. 67

Figura 95: Efeito na morfologia (erosão/deposição) de um evento de vazão extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) durante 2 dias, Alternativa 3. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros. 68



Figura 96: Batimetria inicial da Alternativa 1..... 69

Figura 97: Batimetria (m) da Alternativa 1 simulada para 1 ano..... 69

Figura 98: Batimetria (m) da Alternativa 1 simulada para 3 anos..... 70

Figura 99: Batimetria (m) inicial da Alternativa 2..... 71

Figura 100: Batimetria (m) da Alternativa 2 simulada para 1 ano..... 71

Figura 101: Batimetria (m) da Alternativa 2 simulada para 3 anos..... 72

Figura 102: Batimetria (m) inicial da Alternativa 3..... 73

Figura 103: Batimetria (m) da Alternativa 3 simulada para 1 ano..... 73

Figura 104: Batimetria (m) da Alternativa 3 simulada para 3 anos..... 74

Figura 106: Variação sazonal do transporte residual de sedimentos ao longo da costa para o período de 1998 a 2008. Valores positivos representam transporte de SW para NE; valores negativos representam transporte de NE para SW..... 77

Figura 107: Variação interanual do transporte residual de sedimentos ao longo da costa para o período de 1998 a 2008. Valores positivos representam transporte de SW para NE; valores negativos representam transporte de NE para SW..... 77

Figura 108: Contornos de terra da região da desembocadura do rio Araranguá em 1938. A área branca no canto superior esquerdo da imagem se encontra fora dos limites das fotografias aéreas utilizadas. 79

Figura 109: Contornos de terra da região da desembocadura do rio Araranguá em 1957. A área branca no canto superior esquerdo da imagem se encontra fora dos limites das fotografias aéreas utilizadas. 80

Figura 110: Contornos de terra da região da desembocadura do rio Araranguá em 1938. A área branca na parte superior da imagem deve ser desconsiderada pois se encontra fora dos limites das fotografias aéreas utilizadas.80

Figura 111: Evolução morfológica do canal abandonado do rio Araranguá..... 82

Figura 112: Nível de água ao longo da área de estudo para a simulação de um evento de vazão fluvial extrema (800 m³/s), cenário atual. 84

Figura 113: Nível de água ao longo da área de estudo para a simulação de um evento de vazão fluvial extrema (800 m³/s), cenário com obra (Alternativa 1)..... 84

Figura 114: Diferença relativa de nível de água entre o cenário com obra e atual para a simulação de um evento de vazão fluvial extrema (800 m³/s)..... 85

Figura 115: Nível de água ao longo da área de estudo para a simulação de um evento de vazão fluvial extrema (800 m³/s), num cenário com uma alternativa com molhes fixados em frente à Comunidade de Ilhas. 86

Lista de Tabelas

Tabela 1: Altura significativa (Hs), período significativo (Tp) e direção de onda para os casos de simulação 1 e 2. 22

Tabela 2: Casos de ondas representativos selecionados pelo método do fluxo de energia. 58



MODELAGEM NUMÉRICA COMO SUBSÍDIO AOS ESTUDOS À FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ

1. INTRODUÇÃO

Este relatório descreve os procedimentos de implementação e os resultados gerados através do modelo numérico Delft3D, utilizado para a determinação e avaliação dos impactos e mudanças morfológicas decorrentes da fixação da barra do Rio Araranguá.

Um modelo numérico morfodinâmico tridimensional do sistema do Rio Araranguá e área oceânica adjacente foi utilizado para este propósito, afim de possibilitar a avaliação dos impactos das obras propostas na morfodinâmica costeira e nas taxas de variação da linha de costa e de sedimentação do canal proposto. Para isso, foram utilizados como dados de entrada casos de ondas selecionados a partir de uma série temporal de aproximadamente 11 anos nas proximidades da região de estudo. A série de dados foi obtida através da reanálise de campos de ventos e implementação do modelo de geração e propagação de ondas em águas profundas *WAVEWATCH III*. Para a modelagem morfodinâmica foram utilizados diversos módulos do modelo numérico Delft3D desenvolvido pelo instituto Deltares, Delft, Holanda, simulando ondas, correntes, transporte de sedimentos e mudanças de morfologia costeira.

2. ÁREA DE ESTUDO/DADOS HISTÓRICOS

A área de estudo está localizada no sul do estado de Santa Catarina, a aproximadamente 200 km ao sul da cidade de Florianópolis (Figura 1). Segundo D'Aquino *et al.* (2008), a bacia hidrográfica abrange uma área de 3.020 km², sendo formada pela confluência dos rios Itoupavas e Mãe Luzia, recebendo mais um tributário próximo a desembocadura, o rio dos Porcos. Nos últimos 7 km do rio, o curso está voltado para a direção nordeste é paralelo à linha de costa. O regime de maré para a região do rio Araranguá é de micromaré, com amplitude de maré astronômica de aproximadamente 0,9 m (INPH, 1993), havendo aumento apenas em consequência das marés meteorológicas provocadas pela entrada de frentes frias (BARRETO, 2008).

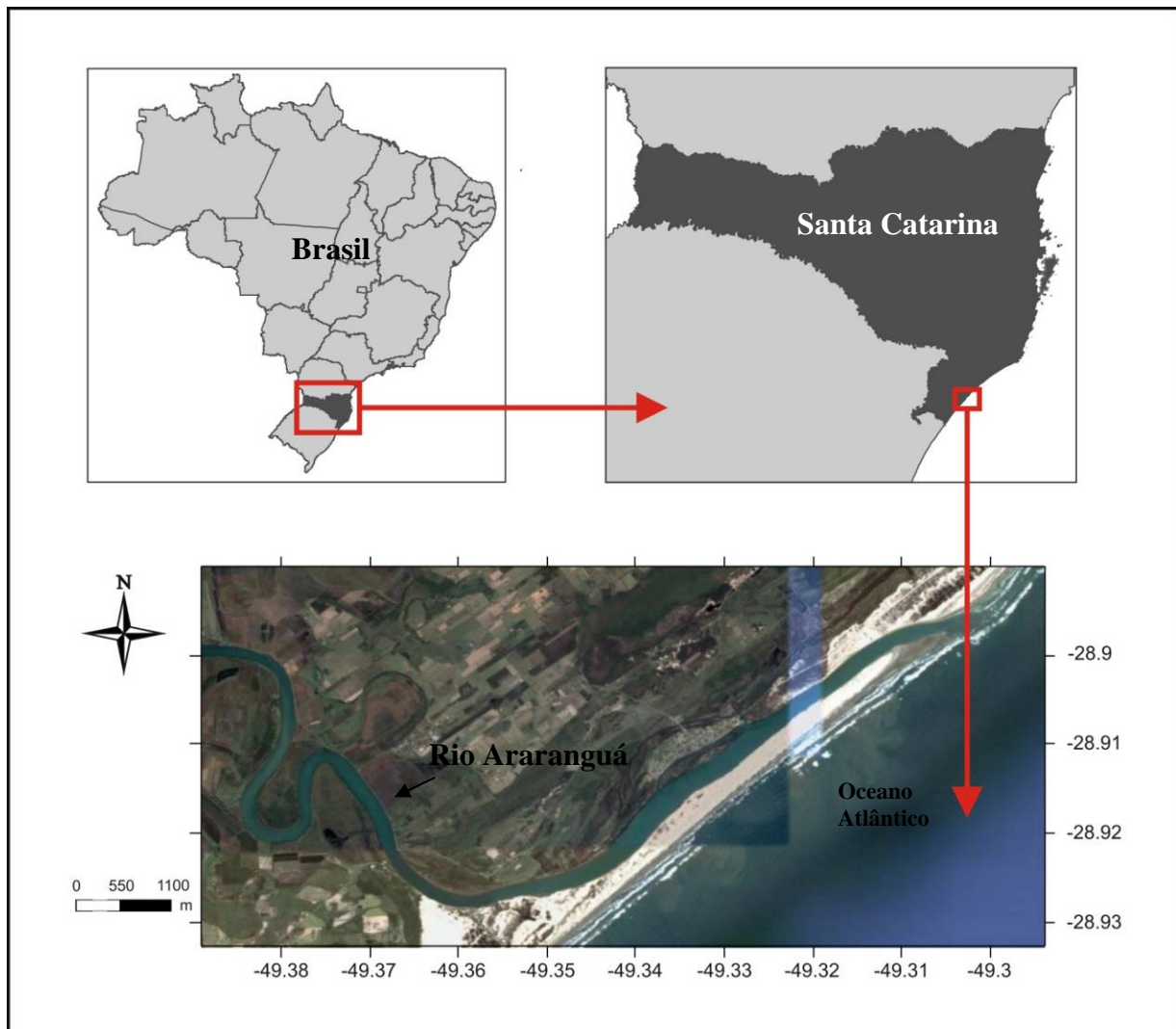


Figura 1: Localização da área de estudo.

De acordo com o Coastal Area Management Act (CAMA, 2004), as áreas de risco ou de perigo (IHA – *Inlet Hazard Área*) são áreas de importância natural e ambiental que facilmente podem ser destruídas por erosão ou enchentes, compreendendo as terras próximas aos canais, onde as linhas de costa destes podem apresentar grandes variações. Silva (2009) estimou que a região de risco para a região de influência da desembocadura do rio Araranguá é de 8.634 metros de linha de costa (Figura 2), sendo considerada uma extensão relativamente grande quando comparada à de outros rios, como a do Rio da Madre, com 180 m, e a da Barra do Camacho, com 358 m. Neste mesmo trabalho foi estimada a variação espaço-temporal da desembocadura do rio Araranguá, resultando numa taxa de migração média anual do canal de cerca de 100 m/ano, calculada por Silva (2009) para o período entre 1938 e 2005 ocasionada pelo transporte de sedimentos que ocorre ao longo da costa com direção sudoeste-nordeste.

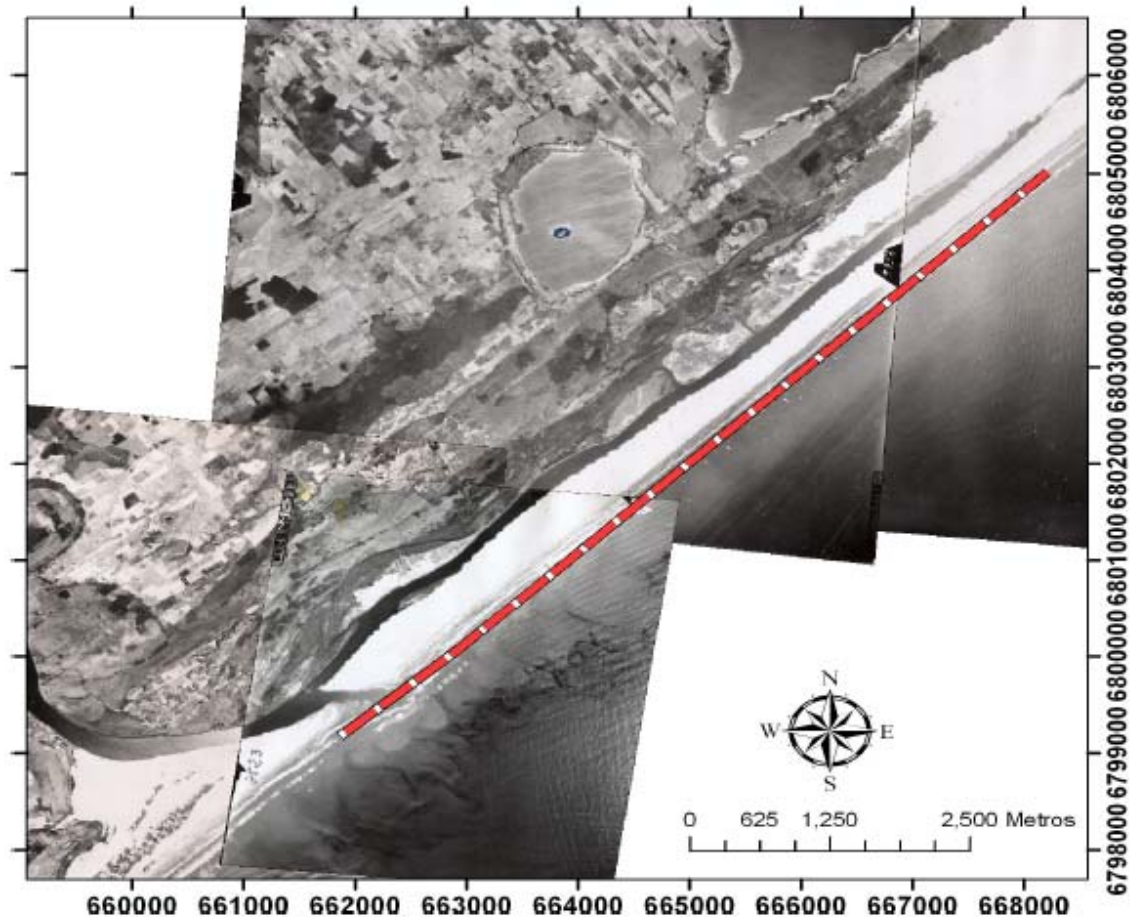


Figura 2: Região de risco calculada para o rio Araranguá – imagem de 1957. Fonte: SILVA (2009).

A descarga fluvial do rio Araranguá é monitorada diariamente em uma série de estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA), sendo que os registros históricos apresentam grande variabilidade temporal e baixo padrão sazonal. As estações mais a jusante sem influência da maré são: a Estação de Taquaruçu, que fornece uma vazão histórica (1943 a 2004) média de $42,2 \pm 73,2 \text{ m}^3/\text{s}$, com um pico histórico de $847 \text{ m}^3/\text{s}$, e a Estação de Forquilha, com vazão histórica (1942 a 2004) média de $23,5 \pm 51,4 \text{ m}^3/\text{s}$, com um pico histórico de $1103 \text{ m}^3/\text{s}$ (D'Aquino *et al.*, 2008). Os mesmos autores afirmam que a dinâmica estuarina muda rapidamente de acordo com os eventos hidrológicos repentinos que ocorrem na região.

A profundidade média no canal é de 3 m, podendo chegar a até 8,5 m, sendo que a desembocadura é mais rasa (entre 1 e 3). De acordo com INPH (1993), o fato da desembocadura ser rasa e do canal migrar para Nordeste, causa inundações à montante em períodos de alta pluviosidade.



Segundo INPH (1993), estudos já foram realizados na região de Araranguá com o mesmo propósito, de implantação de estruturas para fixação da desembocadura, cuja finalidade é reduzir os efeitos das inundações e facilitar a navegação para os pescadores. Um destes estudos foi conduzido pelo próprio INPH no ano de 1993, sendo que informações do mesmo foram utilizadas para a configuração de um dos cenários de simulação do presente relatório e serão discutidas com mais detalhamento a seguir.

Estudo desenvolvido pelo INPH: Projeto de Abertura e Fixação da Barra do Rio Araranguá-SC

O projeto realizado pelo INPH (1993) teve como principal objetivo a realização de estudos para a fixação da barra do Rio Araranguá, cujas finalidades foram: proteção do canal de acesso, permitindo assim a navegação de barcos com até 5 (cinco) metros de calado, e escoamento rápido das cheias da bacia hidrográfica a fim de minimizar os efeitos das inundações.

Os dados utilizados para a realização do projeto foram:

- Maré:

Amplitude máxima: 0,89 m

- Nível D'Água (datum IBGE):

Cota máxima atingida: +0,65 m

Cota mínima atingida: -0,58 m

Variação total: 1,23 m

- Correntes:

Nas proximidades e ao largo da barra: 0,6 a 1,0 m/s

Correntes de vazante: 0,42 m/s

Correntes de enchente: 0,80 m/s

- Descarga Normal de Estiagem:

Somatório dos afluentes do Rio Araranguá: 39 m³/s



- Vento

Dominante: 12 m/s com direção NNE/ENE

Com maior intensidade: 23,7 m/s com direção SW e SSW

- Ondas

Altura máxima (H_{max}): 5,2 m

Altura significativa (H_{s30}): 4,09 m

Período (T_z): 9,5 s

Período mais frequente (T_z): 6,05 s

Onda máxima de maior ocorrência (H_{max}): 1,95 m

Período (T): 6 a 7 s

Segunda onda de maior ocorrência (H_s): 1,25 m

Direção de maior ocorrência: 112° S

Para estimativa do transporte litorâneo em Araranguá-SC, INPH (1993) utilizou os dados de ondas do Ocean Waves Statistics – Área Marsden 44, e aplicou a fórmula do CERC/DELFT a cada uma das 48 ondas ali amostradas, chegando a:

Transporte bruto de SW para NE: 1.654.153 m³/ano

Transporte bruto NE para SW: 1.187.143 m³/ano

Transporte líquido resultante: 467.019.50 m³/ano SW para NE

No estudo do INPH (1993) foram concebidas 3 (três) alternativas de projetos de engenharia, sendo que a Alternativa 3 constitui uma evolução das Alternativas 1 e 2. As configurações da Alternativa 3 desenvolvida pelo INPH (1993) são utilizadas no presente estudo como Alternativa 1. Essa alternativa é caracterizada por: um molhe Nordeste (NE), enraizado na margem esquerda, e um molhe Sudoeste (SW), enraizado na margem direita, com geometria do conjunto semi-convergente de montante para jusante. Os molhes apresentam distância de 150 metros quando estiverem paralelos entre si, e o canal de navegação apresenta profundidade de 6 metros.



O INPH também descreve quatro etapas para a efetuação da obra de fixação:

- 1) Fixação da barra do rio por meio de 2 molhes.
- 2) Dragagem de um canal de navegação a 6 metros de profundidade, para barcos com 5 metros de calado.
- 3) Fixação das dunas.
- 4) Implementação de um sistema fixo de transpasse de areia.

3. DADOS DE ENTRADA DO MODELO

Batimetria

Os dados utilizados na definição da batimetria do domínio de modelagem foram obtidos a partir da digitalização das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da região e de amostragens *in situ*. Os procedimentos adotados no levantamento batimétrico visaram coletar informações em áreas não hidrografadas pela DHN, e essenciais para resolver os processos de transformação das ondas na plataforma interna associada a praia de Araranguá.

Como trata-se de uma zona de surfe larga, onde a presença de ondas gera perigos a navegação de embarcações, para a coleta de dados de campo, optou-se em utilizar uma moto aquática (*jet sky*) com sonda batimétrica e sistema de posicionamento sub-métrico (GPS) acoplado. As linhas de navegação foram planejadas e executadas através do software de navegação Hypack 2008, sendo os dados reduzidos para o RN IBGE, localizado na comunidade de Ilhas (N 6801111,745 e E 662982,254) com altitude 1,749 metros (Datum SAD-1969 MC 51°). Salienta-se que todos os valores digitalizados foram reduzidos para o mesmo datum vertical (IBGE).

Esta metodologia possibilita amostragens em áreas extremamente rasas (> 50 cm de coluna de água), como bancos arenosos associados à barras, deltas de maré vazante e enchente e áreas de quebra de onda. As Figura 3 e Figura 4 mostram os equipamentos utilizados.



Figura 3: Moto aquática (*jet sky*) utilizada nos levantamentos batimétricos ao largo da praia de Araranguá. É possível observar a haste de suporte do transdutor e antena de transmissão dos dados (x,y e z).



Figura 4: Captação em tempo real dos dados de batimetria através do software Hypack.

Constantes Harmônicas

Valores de amplitude e fase de cada constituinte harmônico foram extraídos de FEMAR (2000). A Figura 5 mostra as constantes harmônicas relacionadas para a região de Araranguá, sendo o ponto correspondente situado no interior do canal do rio Araranguá ($28^{\circ} 55,2'S$ - $49^{\circ} 20,5'W$).

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação : ARARANGUÁ – SC					
Localização : No Trapiche do late Clube de Araranguá					
Organ. Responsável : DHN					
Latitude : $28^{\circ} 55,2' S$			Longitude : $49^{\circ} 20,5' W$		
Período Analisado : 25/07/63 a 22/08/63			Nº de Componentes : 37		
Análise Harmônica : Método Tidal Liverpool Institute					
Classificação : Maré de Desigualdades Diurnas					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		II H 50 min	Nível Médio (Zo):		32 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		55 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		37 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		25 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		11 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	0,3	341
Ssa	-	-	N ₂	2,5	214
Mm	13,3	345	NU ₂	0,5	214
Mf	-	-	M ₂	6,4	086
MTM	-	-	L ₂	0,9	176
Msf	6,9	351	T ₂	0,4	074
Q ₁	5,2	053	S ₂	7,3	074
O ₁	10,4	077	K ₂	2,0	074
M ₁	0,4	308	MO ₃	0,5	145
P ₁	2,0	136	M ₃	0,6	176
K ₁	6,0	136	MK ₃	0,2	134
J ₁	1,2	136	MN ₄	0,6	052
OO ₁	1,0	230	M ₄	1,6	349
MNS ₂	-	-	SN ₄	1,1	083
2N ₂	0,3	342	MS ₄	0,6	035
Referências de Nível: RNs implantadas no patamar do trapiche do late Clube					
Obs: Não há referências a outros períodos					

Código BNDO: 60280

Figura 5: Constantes harmônicas de Araranguá – SC. Fonte: FEMAR (2000).

Clima de Ondas

Os dados de ondas utilizados neste trabalho são referentes a uma série temporal de onze anos (meados de 1997 à meados de 2009) obtida para região próxima à profundidade de quebra da plataforma continental adjacente a área de estudo. Foram utilizados dados do modelo WavewatchIII, que simula processos de geração/propagação de ondas em águas profundas, com base em dados meteorológicos reanalisados. As simulações foram conduzidas em escala global pela NOAA (National Ocean and Atmosphere Agency) e estão disponíveis no website da agência no formato grib (código binário). A transformação dos dados de grib para ASCII foram feitas utilizando programas desenvolvidos pela empresa Coastal Planning & Engineering (CPE). A série temporal apresenta valores de altura significativa (H_s), período de pico (T_p) e direção predominante de propagação a cada três horas.

A Figura 6 apresenta a distribuição de frequências de ocorrência conjunta dos dados de ondas ao longo de classes de direção e altura significativa (H_s). Nota-se que as maiores frequências de ocorrência são de ondas provenientes do quadrante sul e de leste/nordeste. Estas ondas estão relacionadas com a passagem de sistemas frontais junto a costa (de sul para nordeste) e com o sistema de alta pressão do Atlântico Sul (gerando ventos de nordeste ao longo da costa sudeste do Brasil), respectivamente. O grupo de ondas do quadrante sul, de maneira geral, apresenta maiores alturas significativas em relação ao grupo de ondas provenientes de leste/nordeste.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	TOTAL
7 - 7.5																	
6.5 - 7							0.01				0.01						0.01
6 - 6.5									0.01	0.01	0.01						0.04
5.5 - 6						0.01	0.03		0.01	0.06	0.04						0.15
5 - 5.5						0.01	0.02		0.06	0.12	0.07	0.01					0.29
4.5 - 5						0.01	0.02	0.04	0.14	0.22	0.14	0.02					0.58
4 - 4.5		0.01	0.03	0.06	0.02	0.02	0.13	0.11	0.28	0.56	0.24	0.03					1.47
3.5 - 4		0.01	0.05	0.10	0.11	0.12	0.17	0.20	0.72	0.84	0.47	0.07					2.86
3 - 3.5	0.01	0.04	0.41	0.54	0.28	0.42	0.39	0.42	1.58	1.46	0.57	0.12					6.25
2.5 - 3	0.14	0.28	0.84	1.43	0.84	0.75	0.93	1.04	2.93	2.25	0.74	0.13	0.01				12.30
2 - 2.5	0.58	1.28	1.82	2.70	2.08	1.87	1.61	1.84	4.83	3.20	0.62	0.15	0.01			0.03	22.63
1.5 - 2	1.39	2.18	3.08	4.96	3.59	2.66	2.22	2.00	4.81	2.85	0.59	0.08	0.02	0.01		0.12	30.57
1 - 1.5	0.78	1.28	1.78	4.69	2.76	2.10	1.19	1.57	2.29	1.33	0.20	0.05	0.01		0.03	0.08	20.14
0.5 - 1	0.08	0.16	0.31	0.73	0.40	0.19	0.13	0.26	0.25	0.08	0.03	0.01			0.01	0.04	2.67
0 - 0.5			0.01	0.01	0.01												0.02
TOTAL	2.97	5.23	8.32	15.22	10.08	8.16	6.84	7.47	17.93	12.99	3.72	0.67	0.05	0.01	0.03	0.29	100.0

Figura 6: Diagrama de ocorrência conjunta de Direção versus H_s (m).

Na Figura 7 são apresentadas as freqüências de ocorrência de classes de direção e período de pico (Tp). Como no diagrama da Figura 6, grande parte dos dados analisados se encontram em dois grupos: ondas provenientes do quadrante sul e de leste/nordeste. As ondas provenientes do quadrante sul apresentam maiores períodos de pico, na faixa de 12 segundos, sendo o estado de mar característico de marulho (*swell*). As ondas de leste/nordeste apresentam menores períodos de pico (na faixa de 8 segundos). O centro de geração destas ondas está localizado mais próximo da área de estudo, sendo estado de mar característico de vagas (*sea*). Esta análise corrobora com os resultados de Araujo *et al.*(2003), que usaram dados de ondas coletados por um bóia situada na isóbata de 80 metros, a leste da ilha de Santa Catarina.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	TOTAL
16 - 18																	
14 - 16						0.02	0.01		0.27	0.03							0.33
12 - 14						0.05	0.20	0.23	2.21	1.00							3.69
10 - 12				0.04	0.10	0.65	1.29	1.61	6.61	4.43	0.12						14.84
8 - 10			0.31	2.51	3.26	3.41	2.69	3.11	5.97	3.82	0.89	0.11					26.07
6 - 8	0.16	0.68	4.48	10.76	5.86	3.69	2.38	2.16	2.31	2.38	1.69	0.31	0.00			0.01	36.87
4 - 6	2.70	4.40	3.42	1.85	0.84	0.32	0.27	0.37	0.54	1.29	0.99	0.24	0.04	0.01	0.03	0.25	17.57
2 - 4	0.11	0.15	0.11	0.07	0.03	0.01	0.01		0.01	0.04	0.03	0.02			0.00	0.03	0.61
TOTAL	2.97	5.23	8.32	15.22	10.09	8.16	6.85	7.47	17.93	12.99	3.72	0.67	0.05	0.01	0.03	0.29	100.0

Figura 7: Diagrama de ocorrência conjunta de Direção versus Tp (s).

As Figura 8 e Figura 9 apresentam a distribuição de freqüências de classes de Hs. Com base nestas figuras é possível se ter uma idéia da energia do clima de ondas da região.

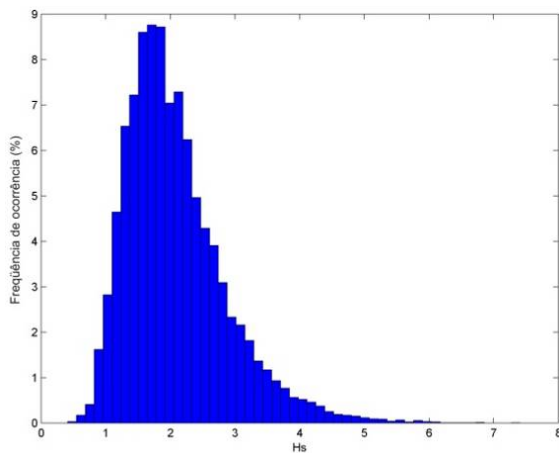


Figura 8: Histograma de Hs.

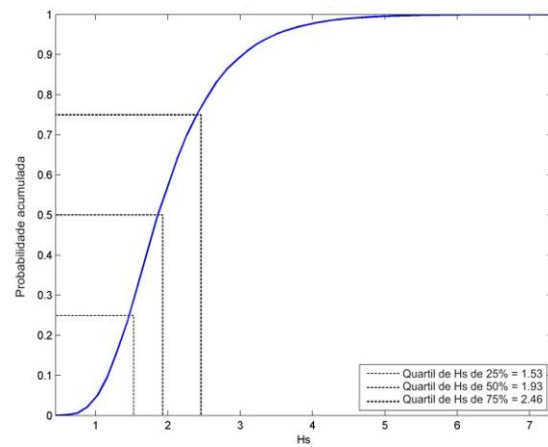


Figura 9: Função de distribuição de Hs.

As maiores ocorrências de ondas se encontram na faixa de Hs de 1,5 a 2 metros, sendo este o regime modal (Figura 8). Na Figura 9, as alturas significativas de ondas são divididas em 4 quartis, de acordo com a distribuição da ocorrência, de forma que cada grupo possui frequências de ocorrência de 25%. Desta maneira, observa-se que 25% dos casos de ondas da série temporal analisada possuem altura significativa entre 0 e 1,53 metros. O segundo quartil se encontra entre 1,53 e 1,93 metros, ou seja, 50% dos dados são maiores de 1,93 metros. O grupo das maiores ondas, que possui 25% da frequências de ocorrência, possui altura significativa maior que 2,46 metros.

A Figura 10 apresenta a distribuição dos quatro quartis de Hs, apresentados na Figura 9, ao longo de classes direcionais.

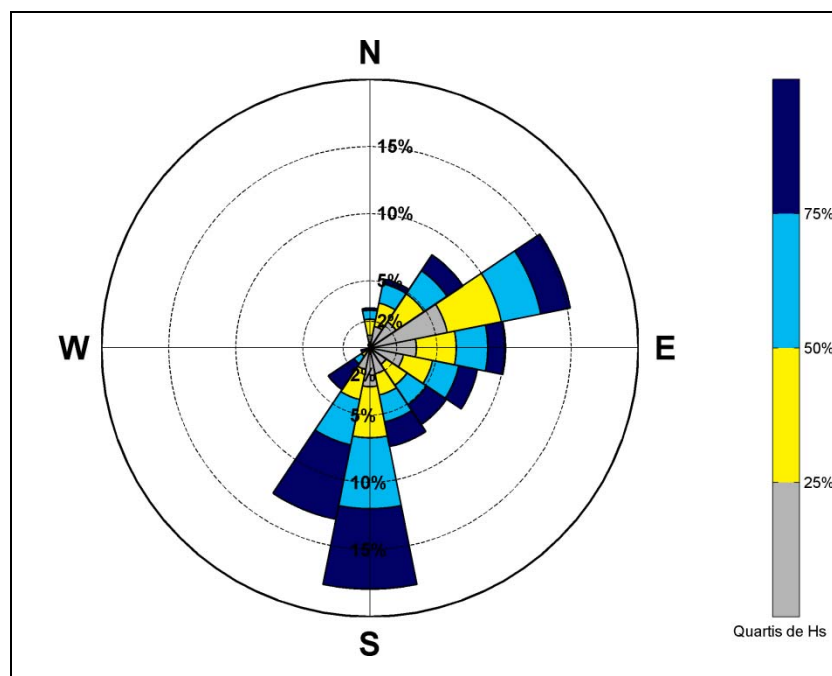


Figura 10: Rosa de ondas.

Nota-se a dominância em frequências de ocorrência das ondas do quadrante sul e de leste/nordeste. Adicionalmente pode ser observado a predominância dos quartis extremos no grupo de ondas provenientes de sul e maiores frequências dos quartis de ondas menores no grupo de ondas provenientes de leste/nordeste.

4. MODELO NUMÉRICO UTILIZADO

Para o presente estudo foi utilizado o modelo numérico Delft3D, desenvolvido pela Deltares, em Delft, Holanda. O modelo numérico Delft3D constitui-se em um avançado sistema de modelos numéricos 2D/3D (duas e três dimensões) que inclui vários módulos para possibilitar a simulação de processos costeiros complexos, tais como geração e propagação ondas, hidrodinâmica, transporte de sedimentos e mudanças da morfologia (erosão e deposição sedimentar, variação da linha de costa).

O modelo se baseia nas equações de águas rasas, de difusão-advecção para concentrações em suspensão (*suspended transport*) e uma equação separada para transporte de fundo (*bed-load transport*), para três dimensões (3D). O modelo integra o transporte de sedimento e alterações do fundo a cada passo de tempo e é altamente recomendado para estudos em ambientes costeiros por conter acoplamento direto com o modelo espectral de ondas SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) para calcular os processos de interação onda-corrente, além de incorporar uma técnica robusta de cálculo de células inundadas e secas (*flood and dry cells*). Vários outros processos, tais como fricção do vento e correntes de densidade, também são incluídos na formulação.

A propagação das ondas desde águas profundas até a região de interesse foi feita utilizando o módulo de propagação/geração de ondas Delft3D-WAVE, que tem por base a formulação do modelo SWAN, um dos mais conceituados no mundo. O modelo simula processos de refração, difração, dissipação de energia, empinamento, interações onda-onda em águas profundas e rasas, quebra, entre outros, mudando as características espectrais dos estados de mar propagados ao longo do domínio de modelagem.

A incidência de ondas na costa gera correntes, principalmente na região de quebra de ondas (zona de surfe). Estas correntes têm alta capacidade de transportar sedimentos ao longo e através da costa. O módulo de simulação de correntes (Delft3D-FLOW) acoplado ao módulo de transporte de sedimentos (Delft3D-SED) são ferramentas eficazes e amplamente utilizadas ao redor do mundo para quantificar o transporte de sedimentos.



Domínio de Cálculo

As simulações de propagação de ondas ao longo da plataforma continental, geração de correntes e transporte de sedimentos foram conduzidas utilizando o programa Delft3D. Nestas simulações foram definidas, além das forçantes de entrada (ex: marés, ondas, descarga fluvial, ventos), as grades computacionais que serviram de base para os cálculos (domínio de modelagem) e a batimetria da região de abrangência de cada grade utilizada.

Malhas Computacionais

Foram utilizadas três malhas ou grades computacionais para a propagação de ondas de águas profundas até a área de estudo e simulação dos processos hidrodinâmicos, de transporte de sedimentos e morfologia.

A grade de propagação de ondas com menor resolução tem como limite externo a região da quebra da plataforma continental (aproximadamente 200 metros de profundidade), se estendendo desde a região da Guarda do Embaú (centro sul de Santa Catarina) até a região de Tramandaí (norte do Rio Grande do Sul – Figura 11). Na Figura 12 é apresentado o mapa batimétrico correspondente a grade de abrangência regional e de menor resolução.

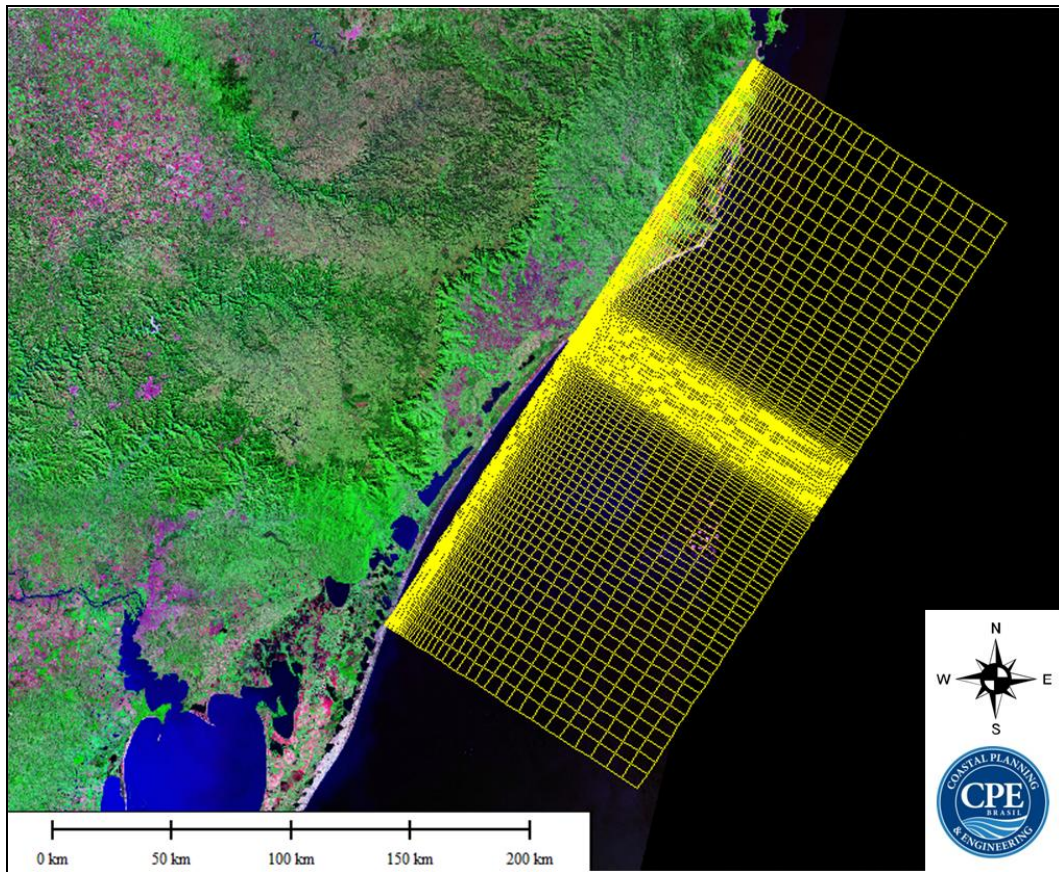


Figura 11: Grade numérica utilizada para a propagação de ondas em escala regional.

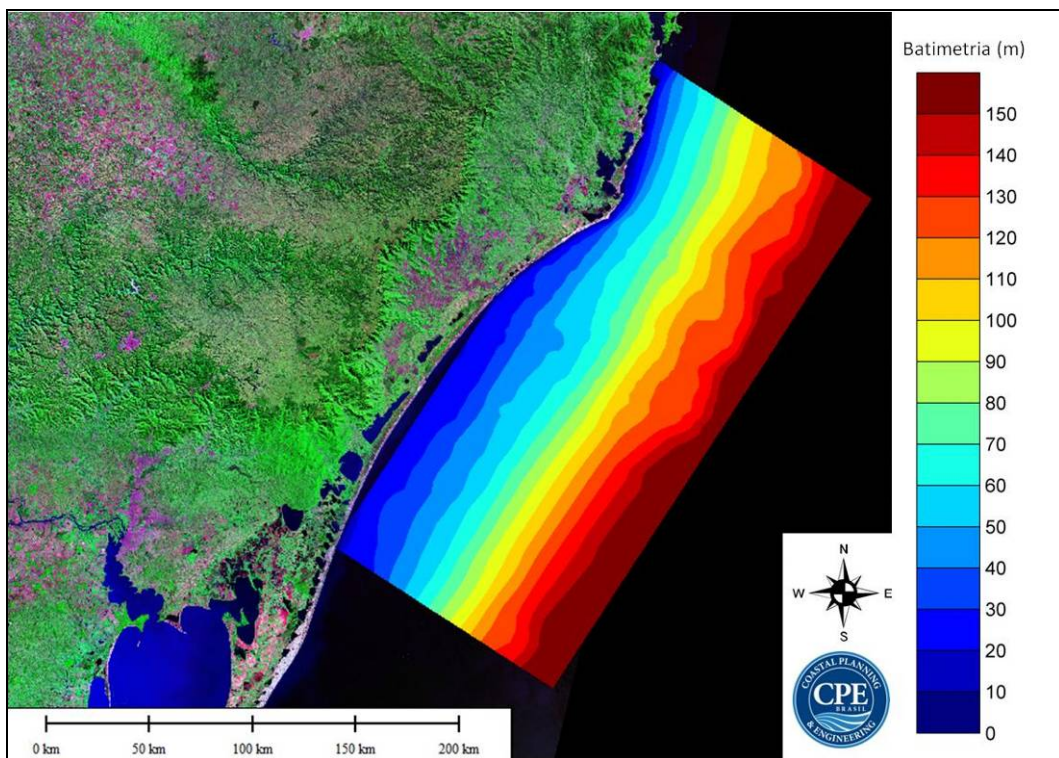


Figura 12: Batimetria utilizada para a propagação de ondas em escala regional.

Aninhada a esta grade regional de propagação de ondas foi utilizada um grade de propagação de ondas em escala local, com maior resolução espacial (Figura 13). Os resultados das propagações de ondas em escala regional servem de condição de fronteira para a grade de maior detalhe, responsável por simular processos de propagação importantes que ocorrem em escalas espaciais menores. Na Figura 14 é apresentado o mapa batimétrico associado.

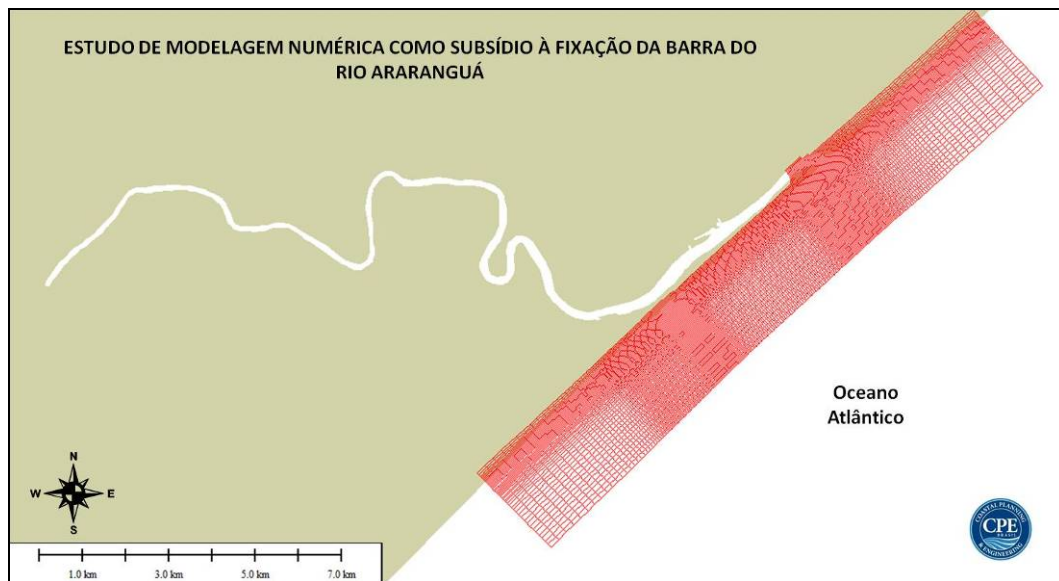


Figura 13: Grade numérica utilizada para a propagação de ondas em escala local.

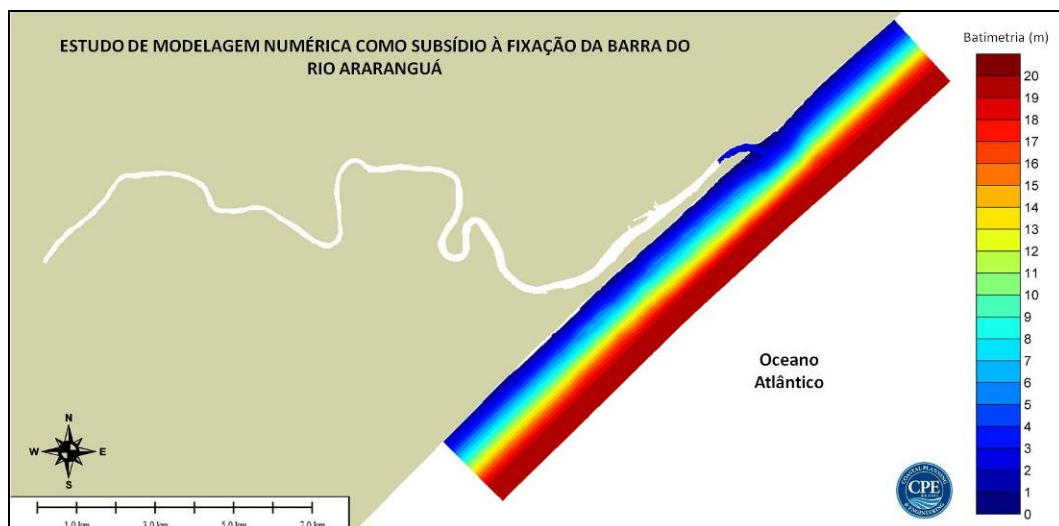


Figura 14: Batimetria utilizada para a propagação de ondas em escala local.

A terceira grade numérica utilizada possui a maior resolução e serve de base para a simulação dos processos hidrodinâmicos (forçados por ondas, marés e descarga fluvial), transporte de sedimentos e variações morfológicas (mudanças de batimetria devido ao transporte de sedimentos) (Figura 15). Na Figura 16 é apresentado o mapa batimétrico associado a esta última grade numérica.



Figura 15: Grade numérica utilizada para a simulação hidrodinâmica, transporte de sedimentos e morfologia.

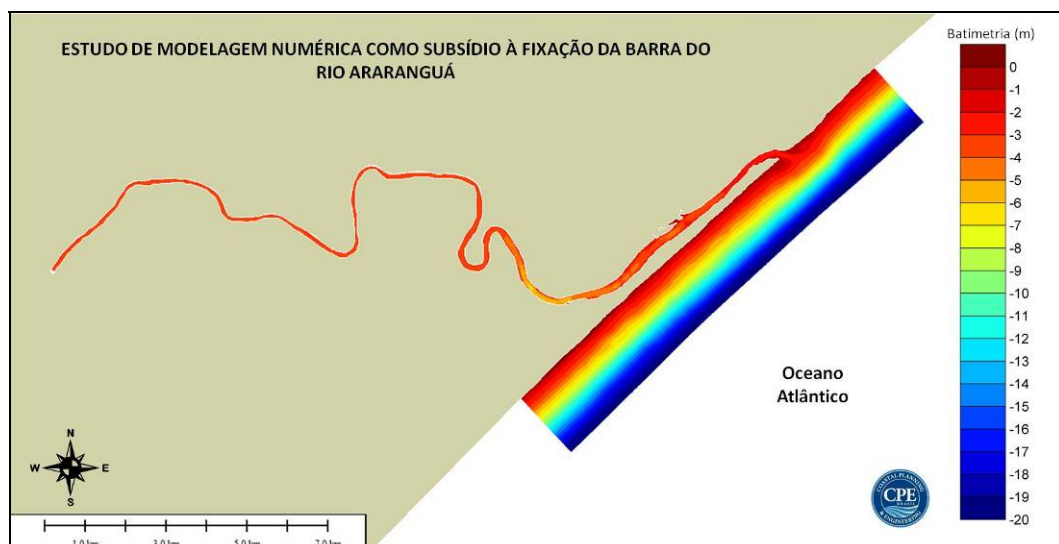


Figura 16: Batimetria utilizada para a simulação hidrodinâmica, transporte de sedimentos e morfologia.

Todas as grades numéricas criadas apresentam valores de ortogonalidade, suavidade e razão de aspecto dos elementos dentro dos limites aceitáveis pelo modelo, conforme descrito no manual do módulo RGFGRID (WL| Delft Hydraulics, 2006).

5. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

Marés

Para a calibração e validação da simulação da propagação da maré ao longo do domínio de modelagem, foi simulado um período de 16 dias, contemplando um ciclo de maré de sizígia e quadratura, utilizando como base as principais constantes harmônicas descritas pela FEMAR (2000) (ver Figura 5). O resultado da comparação da simulação com a série temporal prevista para o mesmo período e ponto ($28^{\circ} 55,2'S$ / $49^{\circ} 20,5'W$) é apresentado na Figura 17. Analisando a Figura 17, é possível concluir que o modelo representa adequadamente a amplitude e a fase da maré no ponto analisado.

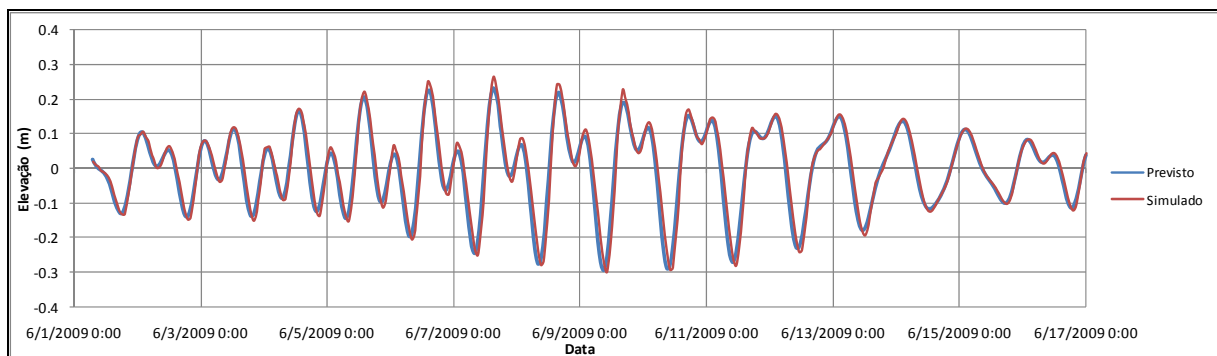


Figura 17: Comparação da série temporal de elevação prevista e simulada.

6. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Cenário Atual

O cordão arenoso apresenta uma desembocadura na sua extremidade norte. A construção deste cenário de simulação envolve dados atualizados de topografia da barreira arenosa e batimétricos ao largo da praia de Araranguá, incluindo áreas rasas próximo a desembocadura. Os valores de batimetria referentes a parte interna do canal foram extraídos de FUNDESPA (2004).

Como nos dias atuais a barreira arenosa encontra-se aberta ao sul, devido aos eventos de cheias ocorridos em novembro de 2008, foram estimados valores de topografia nesta área a fim de montar este cenário. Cabe salientar que a nova barra foi aberta artificialmente e que estas simulações visam avaliar os impactos decorrentes da fixação e abertura de uma nova barra na parte sul da barreira arenosa, em relação ao cenário natural, onde existe apenas uma barra ao norte. A batimetria utilizada no modelo para esse cenário é apresentada na Figura 18.

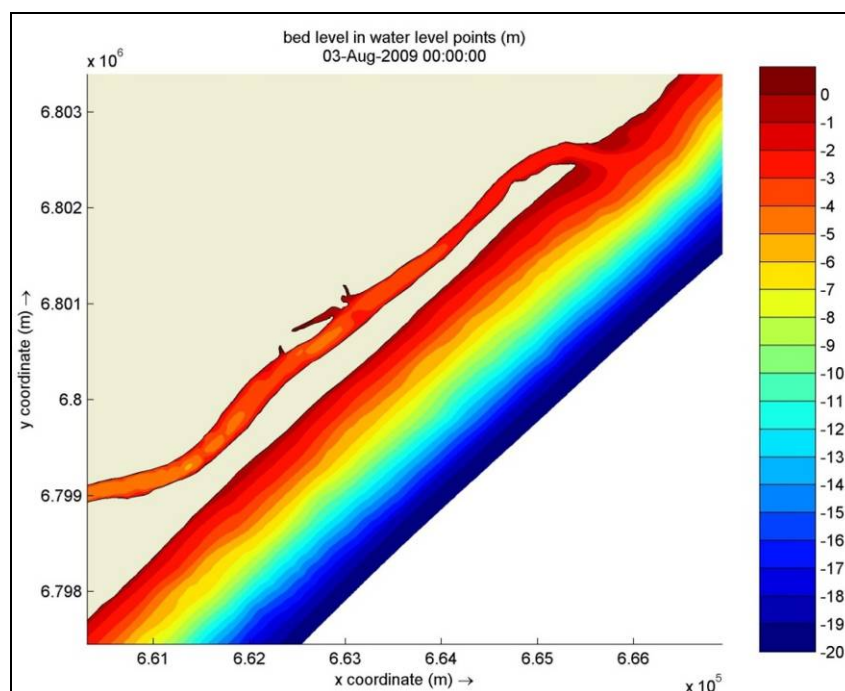


Figura 18: Cenário Atual em condições naturais. A escala de cores representa a profundidade, em metros.

Alternativa 1 (Projeto INPH)

Corresponde ao cenário proposto pelo projeto do INPH desenvolvido em 1993 (Figura 19 e Figura 20). Neste cenário a geometria dos molhes apresentam forma semi-convergente de montante para jusante. O canal de navegação possui profundidade de 6 metros.

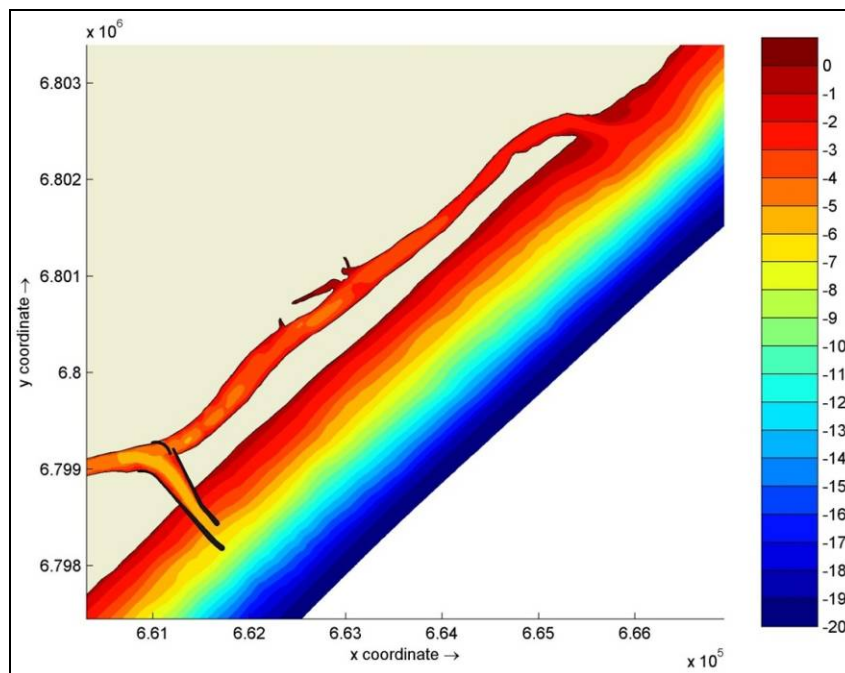


Figura 19: Cenário proposto pelo INPH (1993), com a estrutura de fixação representada em linhas vermelhas. A escala de cores representa a profundidade, em metros.

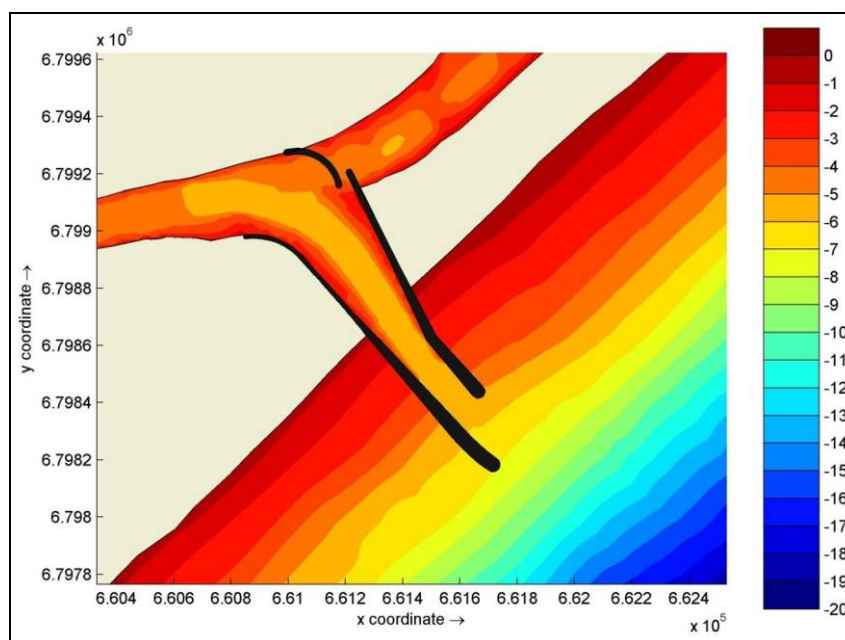


Figura 20: Detalhe da geometria dos molhes do cenário de fixação proposto pelo INPH (1993). A escala de cores representa a profundidade, em metros.

Alternativa 2 (Projeto INPH aberto)

Este cenário de simulação é o mesmo da Alternativa 1, descrita no item anterior, com exceção da presença do molhe curvado que separa o braço interno da barreira arenosa, em frente a comunidade de Ilhas. Esta alternativa não considera o fechamento da barra localizada ao norte do sistema. As Figura 21 e Figura 22 mostram em detalhe a configuração deste cenário.

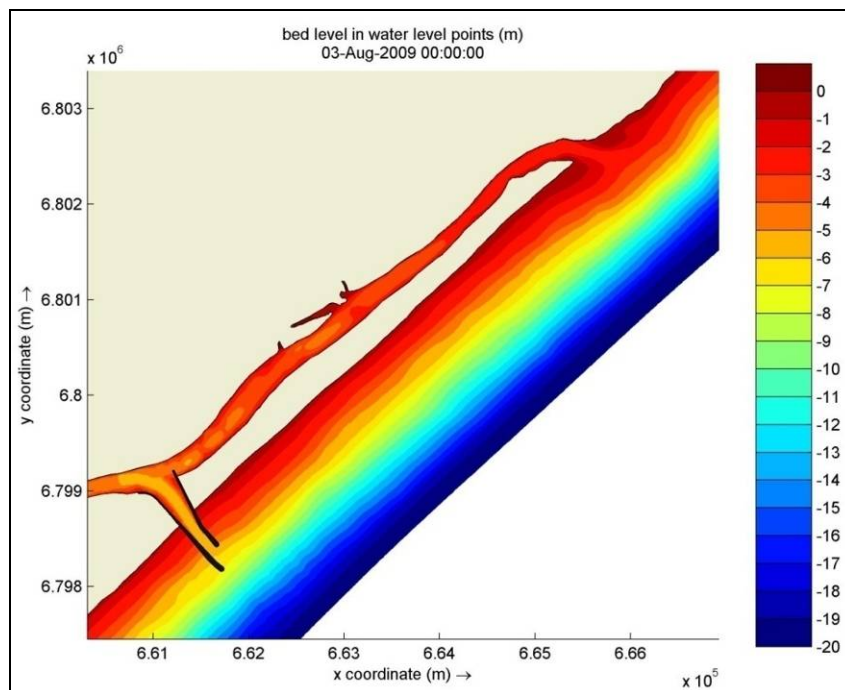


Figura 21: Cenário de fixação da Alternativa 2 A escala de cores representa a profundidade, em metros.

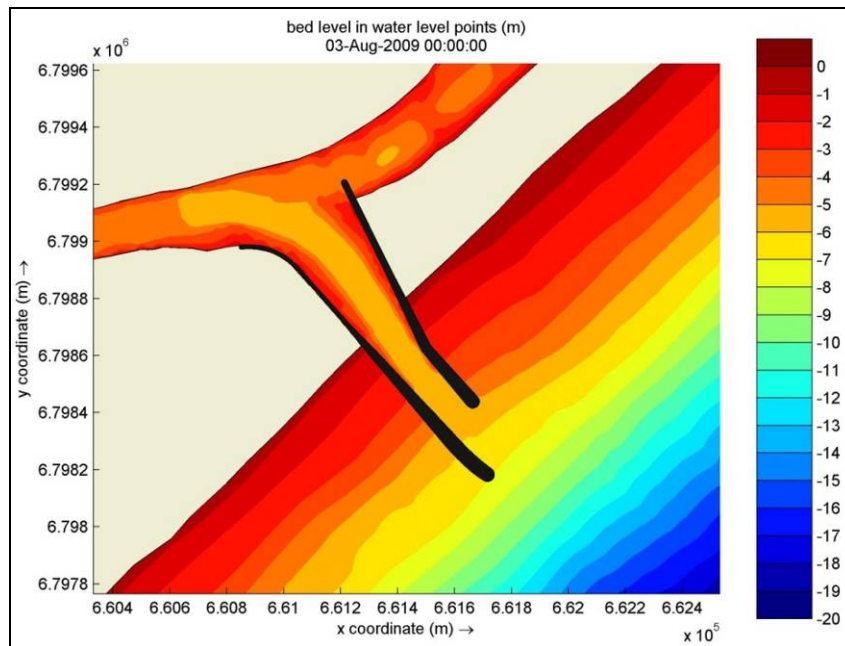


Figura 22: Detalhamento da geometria dos molhes da Alternativa 2. A escala de cores representa a profundidade, em metros.

Alternativa 3 (Projeto INPH aberto, com canal norte fechado por dique)

Corresponde às mesmas configurações da Alternativa 2, considerando o fechamento da barra ao norte (Figura 23).

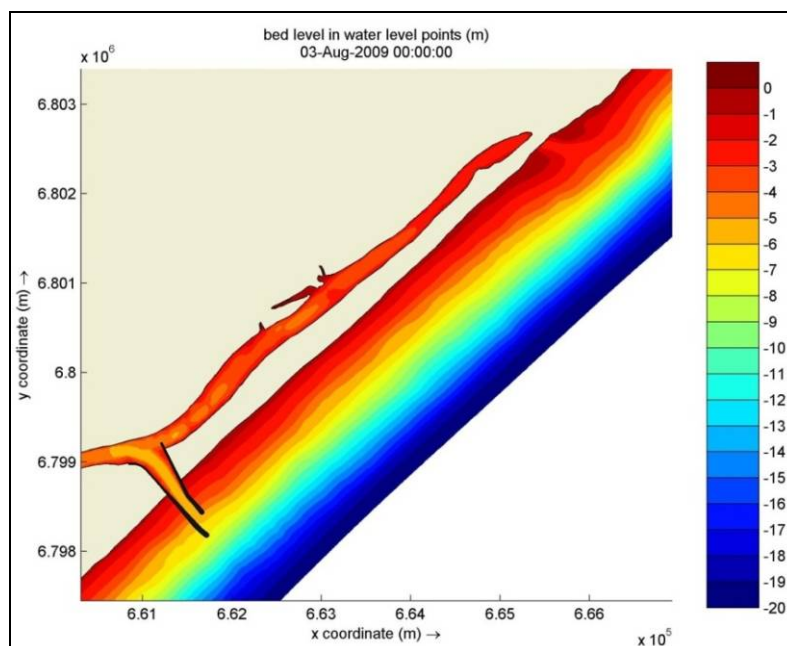


Figura 23: Cenário de fixação da Alternativa 3. A escala de cores representa a profundidade, em metros.

7. ANÁLISE DE IMPACTO DA OBRA NAS ONDAS, CORRENTES E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Para quantificar o impacto da obra de fixação da desembocadura apresentadas nas 3 alternativas descritas na sessão anterior, foram analisadas as mudanças no padrão de propagação das ondas, nas características hidrodinâmicas e nos padrões de transporte de sedimentos.

A escolha dos casos de onda para simulação se baseou no diagrama de ocorrência conjunta de Direção *versus* Hs (Figura 6). Foram escolhidos dois casos representativos, sendo o primeiro caso de um estado de mar característico de leste/nordeste, com altura significativa e período de pico relativamente menores (vagas). O segundo caso representa os eventos de maior energia provenientes do quadrante sul associados a passagens de frentes frias, com altura significativa e período de pico relativamente maiores (marulho) (Tabela 1).

Tabela 1: Altura significativa (Hs), período significativo (Tp) e direção de onda para os casos de simulação 1 e 2.

	Altura significativa (Hs)	Período de pico (Tp)	Direção predominante
Caso 1	1,5 m	6,8 s	62°
Caso 2	4,3 m	10,7 s	197°

Análise de Impactos dos Molhes na Propagação de Ondas

Os casos de onda selecionados foram propagados desde águas profundas até a área do empreendimento proposto. Os molhes agem como uma barreira física a propagação da ondas. No modelo numérico esta barreira foi configurada de modo a impedir a transmissão da energia de ondas para a parte posterior, havendo reflexão difusa de parte da energia incidente. O coeficiente de reflexão adotado foi de 0,2 (REEVE *et al.*, 2004).

Na Figura 24 é apresentado o resultado da propagação do caso de onda 1 na região da obra, para os cenários com e sem molhes (Alternativa 1). A mudança relativa do campo de alturas significativas entre o cenário com molhes e o cenário atual pode ser observado na Figura 25.

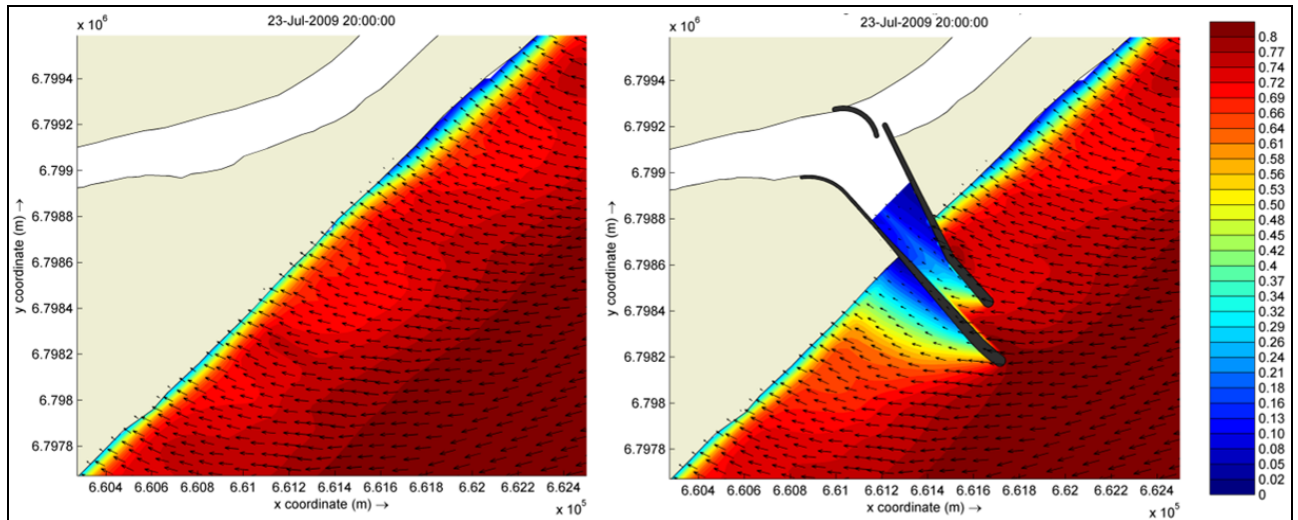


Figura 24: Vetores e magnitude de Hs, resultante da propagação do caso de onda 1 ($H_s = 1,5m$, $T_p = 6,8s$, $Dir = 62^\circ$) para a condição atual (esquerda) e condição com os molhes (direita – Alternativa 1).

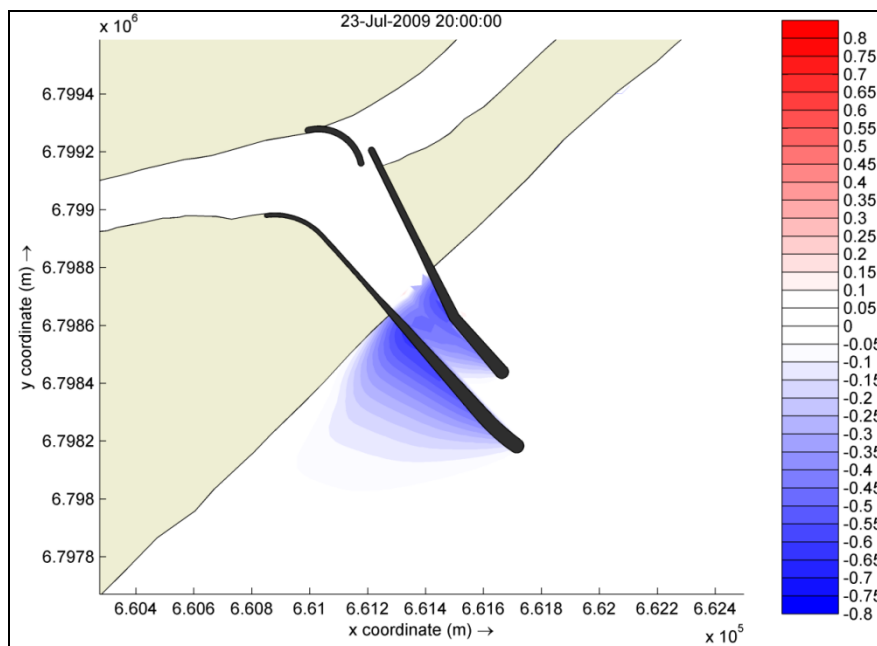


Figura 25: Mudança relativa da altura significativa entre o cenário com molhes (Alternativa 1) e o atual para o caso de onda 1. Valores positivos (vermelho) representam aumento relativo nas alturas significativas. Valores negativos (azul) representam diminuição relativa nas alturas significativas.

Na Figura 26 é apresentado o resultado da propagação do caso de onda 2 na região da obra, para os cenários com (Alternativa 1) e sem molhes. A mudança relativa do campo de alturas significativas entre o cenário com molhes e o cenário atual pode ser observado na Figura 27.

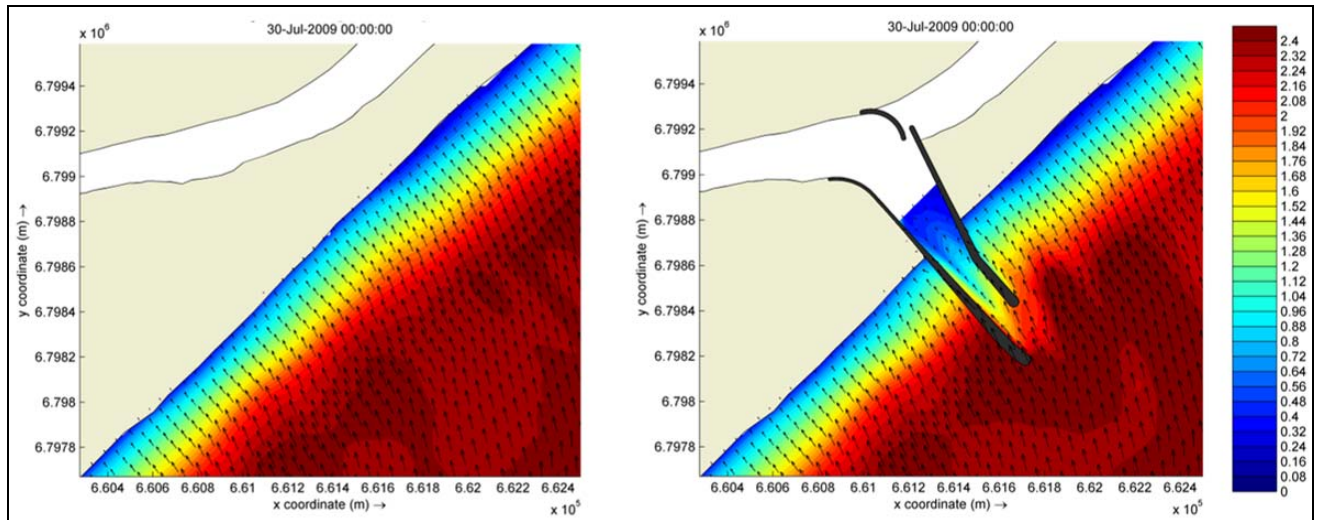


Figura 26: Vetores e magnitude de H_s , resultante da propagação do caso de onda 2 ($H_s = 4,3\text{m}$, $T_p = 10,7\text{s}$, $\text{Dir} = 197^\circ$) para a condição atual (esquerda) e condição com os molhes (direita).

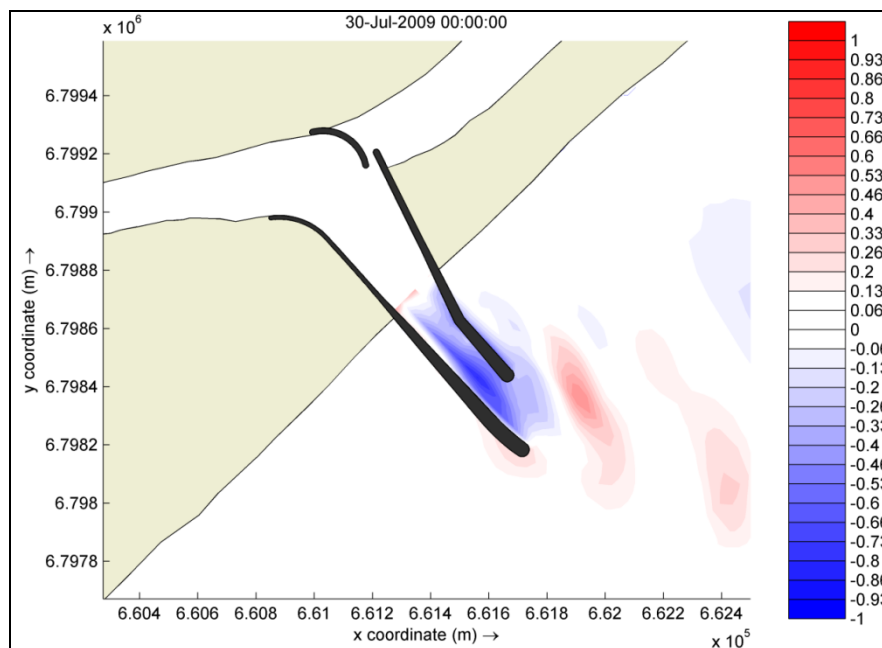


Figura 27: Mudança relativa da altura significativa entre o cenário com molhes e o atual para o caso de onda 2. Valores positivos (vermelho) representam aumento relativo nas alturas significativas. Valores negativos (azul) representam diminuição relativa nas alturas significativas.

As mudanças no campo de alturas significativas (Figura 25 e Figura 27) são explicadas principalmente pela proteção exercida pelos molhes. Efeitos relacionados a reflexão de ondas e interação entre ondas e correntes também exercem influência sobre a propagação das ondas.

Análise de Impactos na Hidrodinâmica

A análise do impacto das alternativas no padrão de correntes foi feita com base na influência dos dois casos de ondas selecionados durante a maré enchente e vazante. O período selecionado para as análises corresponde a maré de sizígia, que apresenta maiores variações de nível e maiores velocidades de correntes, sendo analisados assim os maiores efeitos da obra no campo de correntes.

Os resultados mostram que dependendo das características das ondas que atuam em Araranguá, pode ocorrer um incremento nas velocidades de correntes na ordem de 0,5 m/s, principalmente na zona de arrebentação de ondas, que se estende cerca de 500 metros em direção a mar aberto. Ao longo da praia, ondulações representativas do quadrante nordeste (caso 1) geram intensidades de correntes menores que ondas representativas do quadrante sul (caso 2).

Nas análises de impacto na hidrodinâmica, foi utilizado o valor de vazão média do rio Araranguá (42 m³/s). Neste canal observam-se maiores valores de velocidade de corrente durante períodos de vazante (cerca de 0,6m/s) se comparados com períodos de enchente (cerca de 0,4 m/s).

Na área da desembocadura, com a ocorrência de ondas do quadrante sul observa-se uma passagem de fluxo sobre a ponta da barreira arenosa, fato associado à baixa cota topográfica do local e grande energia de ondas que atua no local.

As mudanças nos padrões hidrodinâmicos na praia, devido à implementação das alternativas de projeto, restringem-se às cercanias dos molhes simulados. Como as correntes litorâneas são paralelas à linha de costa, observa-se que estas estruturas causam mudança na direção das correntes, gerando vórtices no local.

De modo geral, com a implementação das Alternativas 1, 2 ou 3, os valores de velocidades de correntes diminuem no canal adjacente a barreira arenosa, com exceção da Alternativa 2 com ondas do quadrante sul, que mostra um pequeno aumento na magnitude na ordem de 0,1 m/s. Neste caso, há um favorecimento do escoamento das águas em direção aos molhes, pois esta alternativa não considera a construção do enrocamento curvo no interior do canal, ao contrário da Alternativa 1.

A implementação da Alternativa 3, que considera o fechamento total da barra ao norte, proporciona uma estagnação do escoamento hidrodinâmico no canal paralelo a barreira arenosa, comprovado pelos pequenos valores de velocidade de corrente simulados (valores próximos de zero). Comparando-se com a situação atual observa-se uma redução de cerca de 0,2 m/s na parte mais interior do canal e 0,4 m/s na área da desembocadura.

Nas Figura 28 a Figura 31 são apresentadas velocidades de correntes e suas direções para o Cenário Atual. Nas Figura 32 a Figura 55 as velocidades de correntes e as mudanças relativas são apresentadas para as Alternativas 1, 2 e 3.

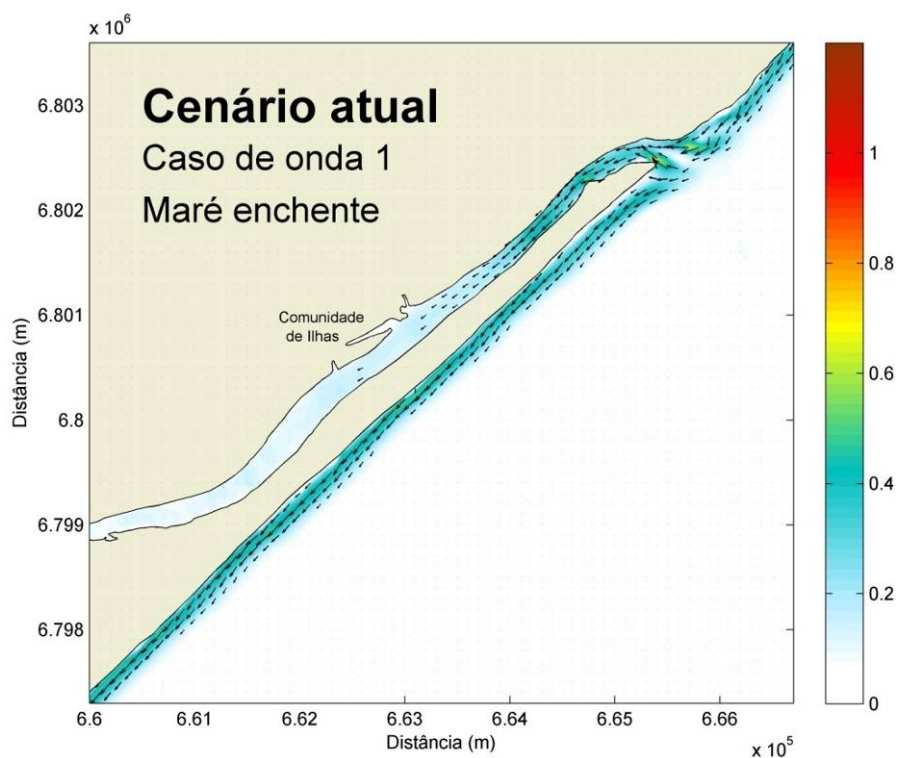


Figura 28: Velocidade e direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que a magnitude das correntes longitudinais não ultrapassam 0,5 m/s, com sentido NE-SW. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

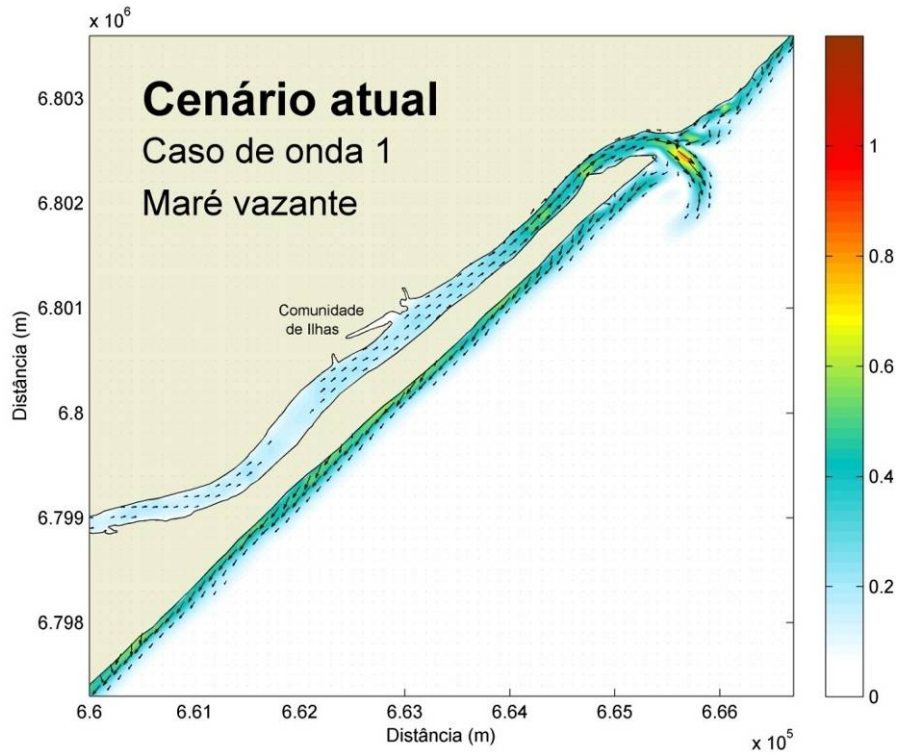


Figura 29: Velocidade e direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. Neste caso, verifica-se que a direção longitudinal ainda é NE-SW, com a diferença de haver um aumento da velocidade de correntes junto a desembocadura, chegando a 0,8 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

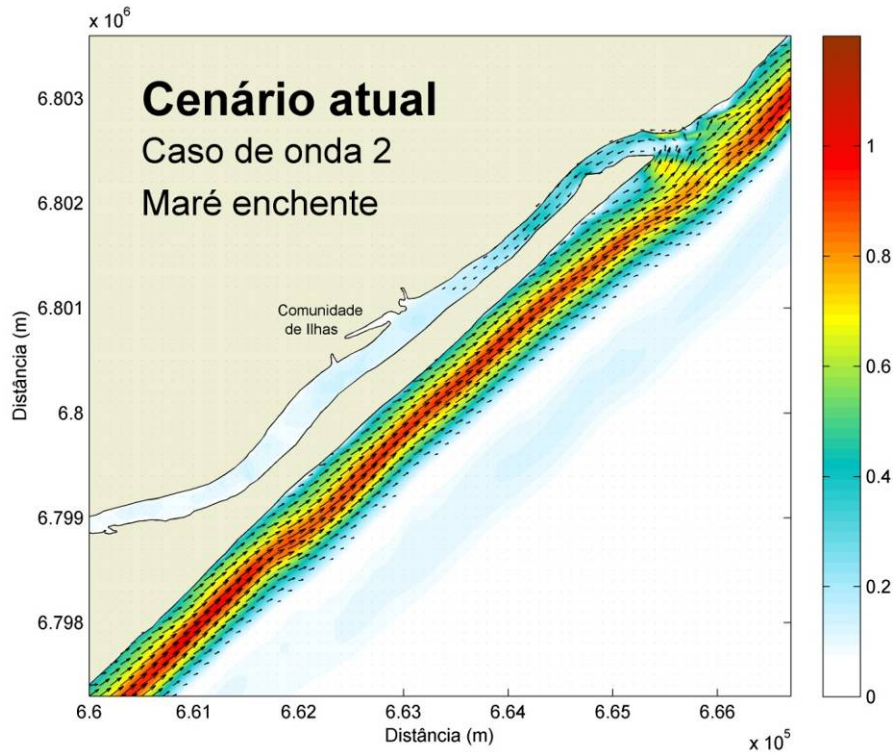


Figura 30: Velocidade e direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Verifica-se a presença de uma corrente longitudinal marcante, com velocidades chegando a 1 m/s, com direção SW-NE. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

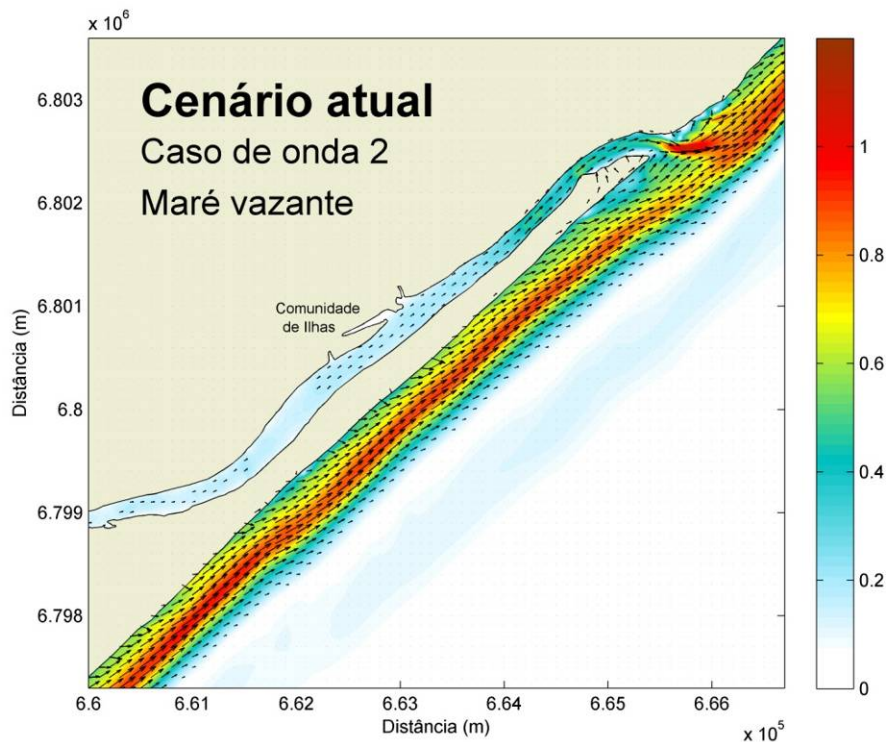


Figura 31: Velocidade e direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Verifica-se que a corrente longitudinal com direção SW-NE ainda está presente, sendo observada uma intensificação das correntes junto à desembocadura. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

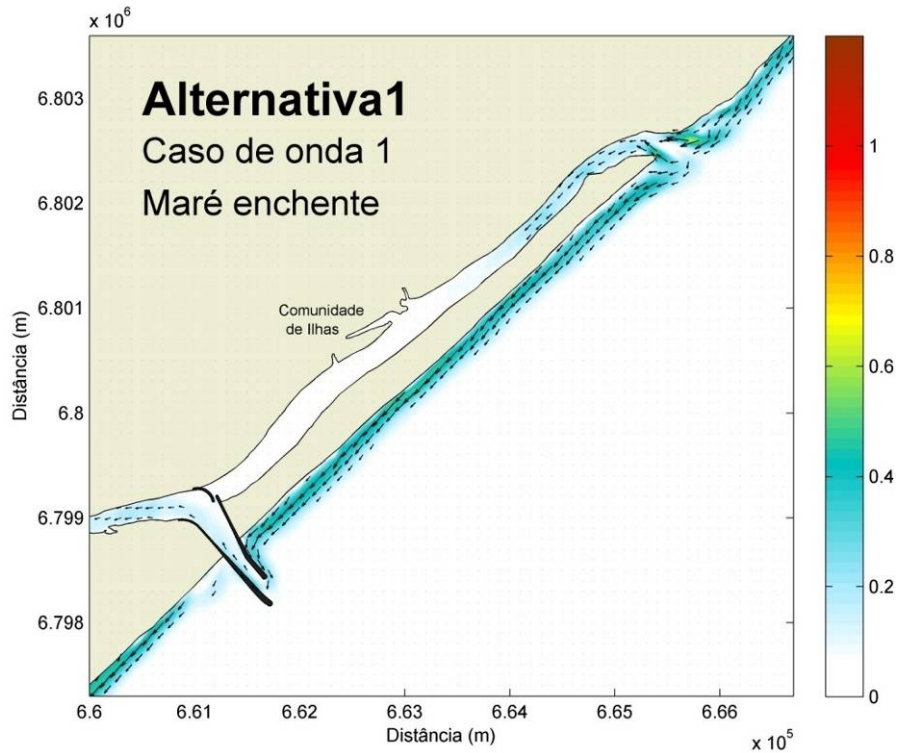


Figura 32: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 1, na maré enchente, durante o caso de ondas 1. A velocidade de correntes é de aproximadamente 0,4 m/s, com velocidades praticamente nulas ao Sul da obra e no canal adjacente à obra de engenharia. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

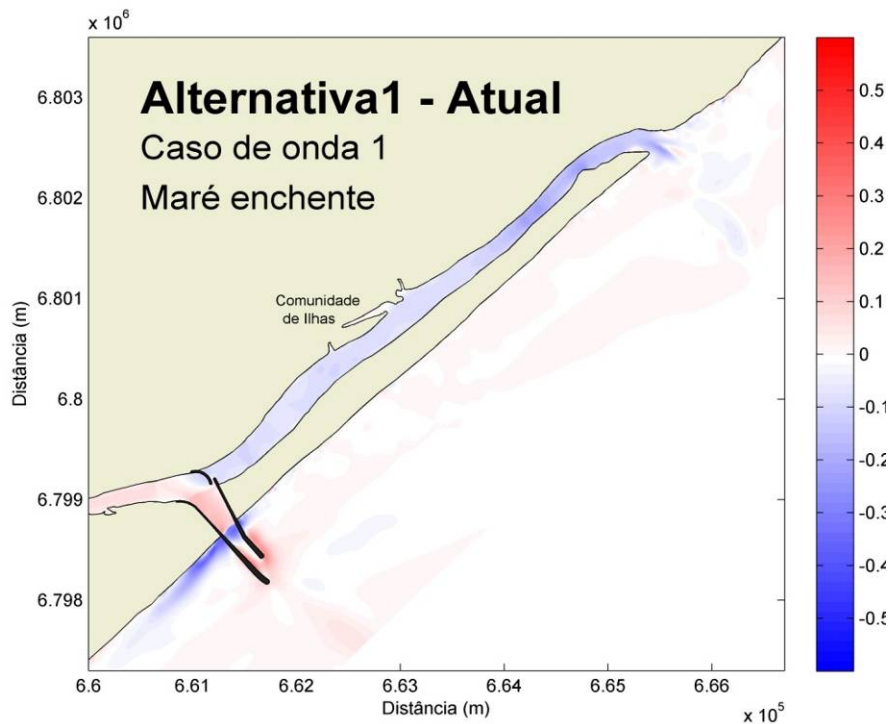


Figura 33: Mudança relativa da velocidade de correntes com relação ao Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, em maré enchente. As mudanças mais significativas estão ao sul da obra e no canal abandonado, onde ocorreu diminuição das correntes. Dentro e nas proximidades do canal ocorreu aumento da velocidade de correntes. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

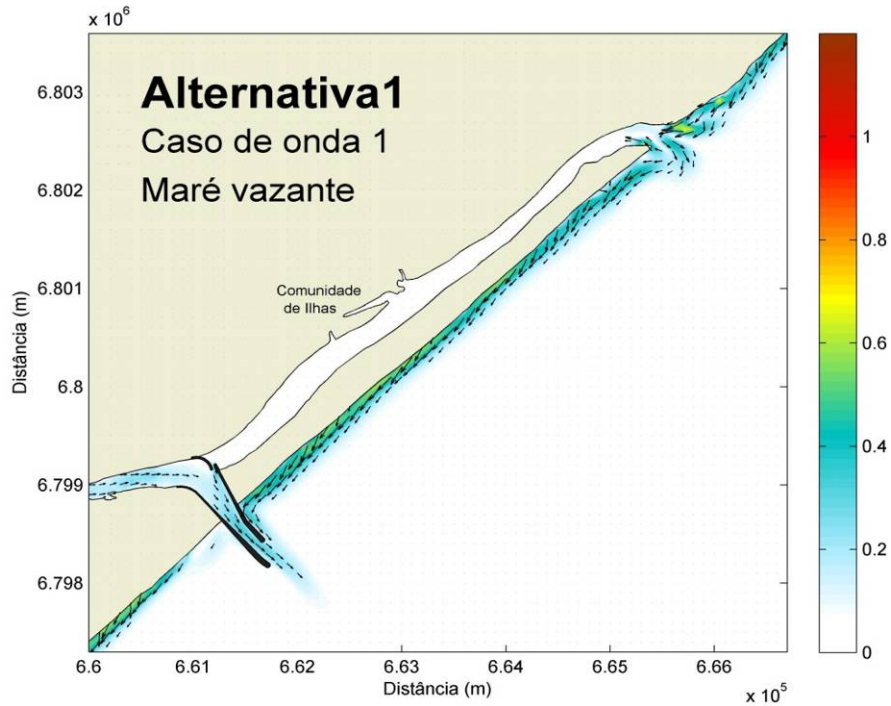


Figura 34: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 1, na maré vazante, durante o caso de ondas 1. A corrente longitudinal tem sentido NE-SW, e a magnitude chega a 0,6 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

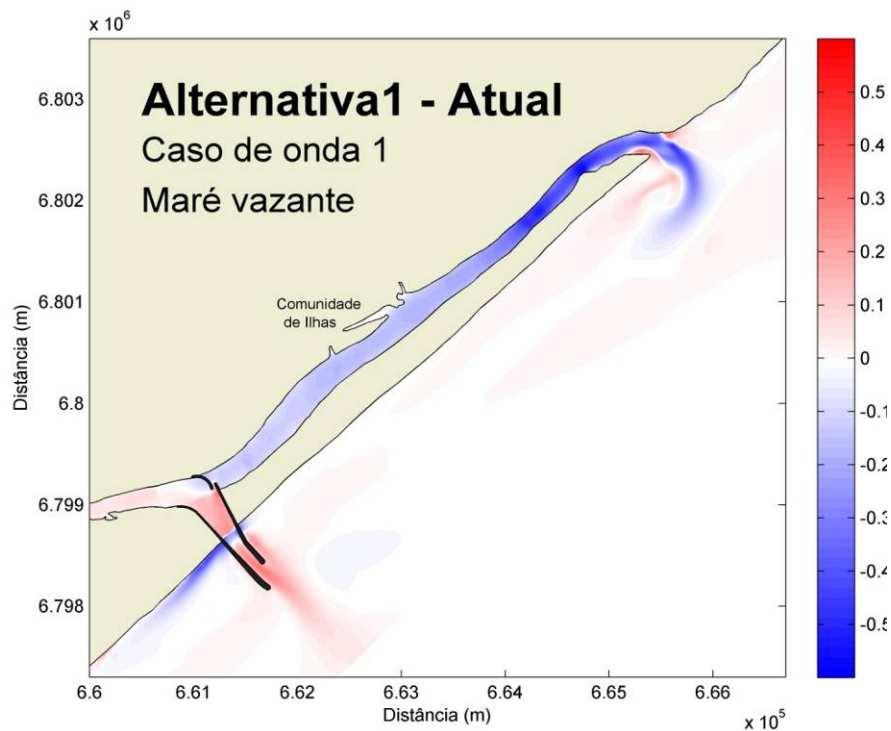


Figura 35: Mudança relativa da velocidade de correntes com relação ao Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, em maré vazante. As mudanças ocorreram nos mesmos locais que durante a maré enchente, porém com maior intensidade. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

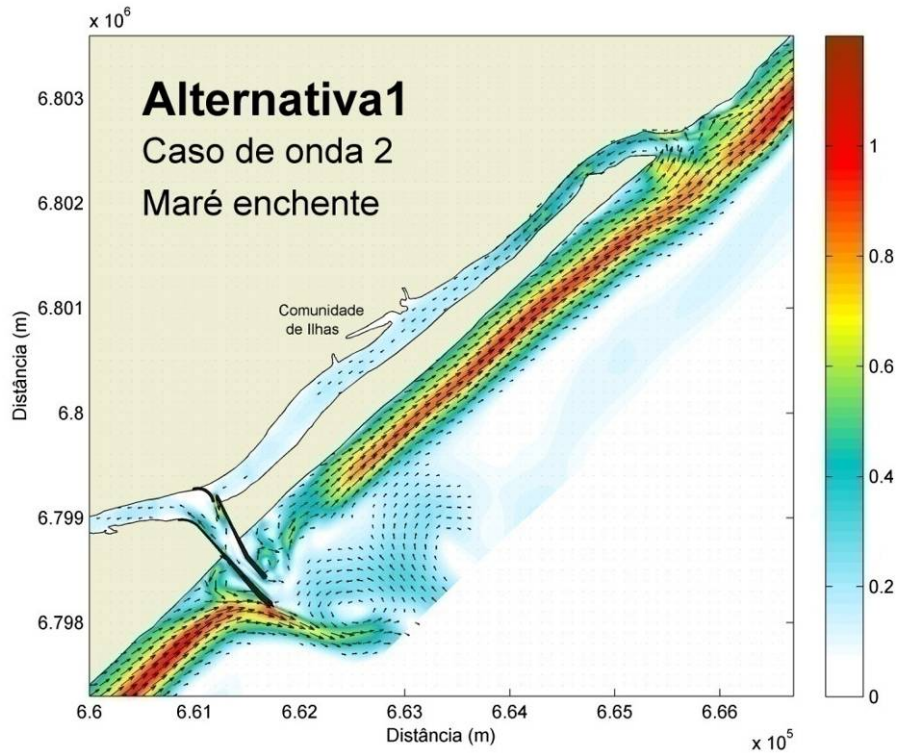


Figura 36: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 1, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. A intensidade das correntes é elevada, chegando a pouco mais de 1 m/s. O sentido das correntes é SW-NE, e verifica-se a formação de um vórtice em frente a obra, provocado pelo desvio que esta gera na corrente. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

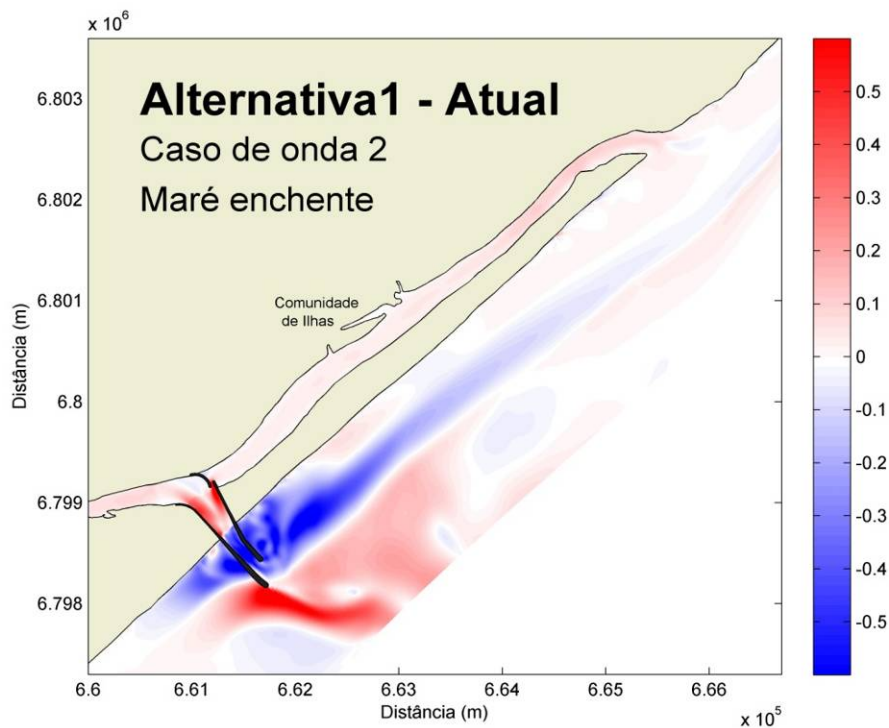


Figura 37: Mudanças relativas na Alternativa 1 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. Verifica-se que houve um grande aumento nas velocidades de correntes dentro do canal e nas correntes ao sul do molhe, com magnitudes chegando a 0,5 m/s. Uma diminuição das correntes foi verificada próxima a obra de fixação de até 0,5 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

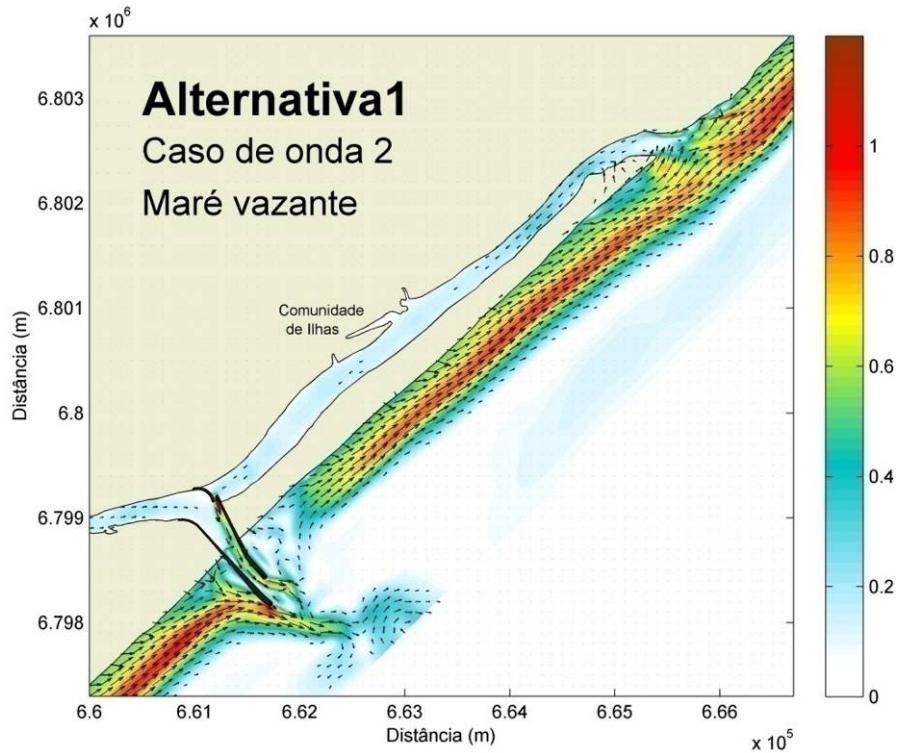


Figura 38: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 1, na maré vazante, durante o caso de ondas 2. O sentido das correntes é SW-NE, e a intensidade destas chegam a 1 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

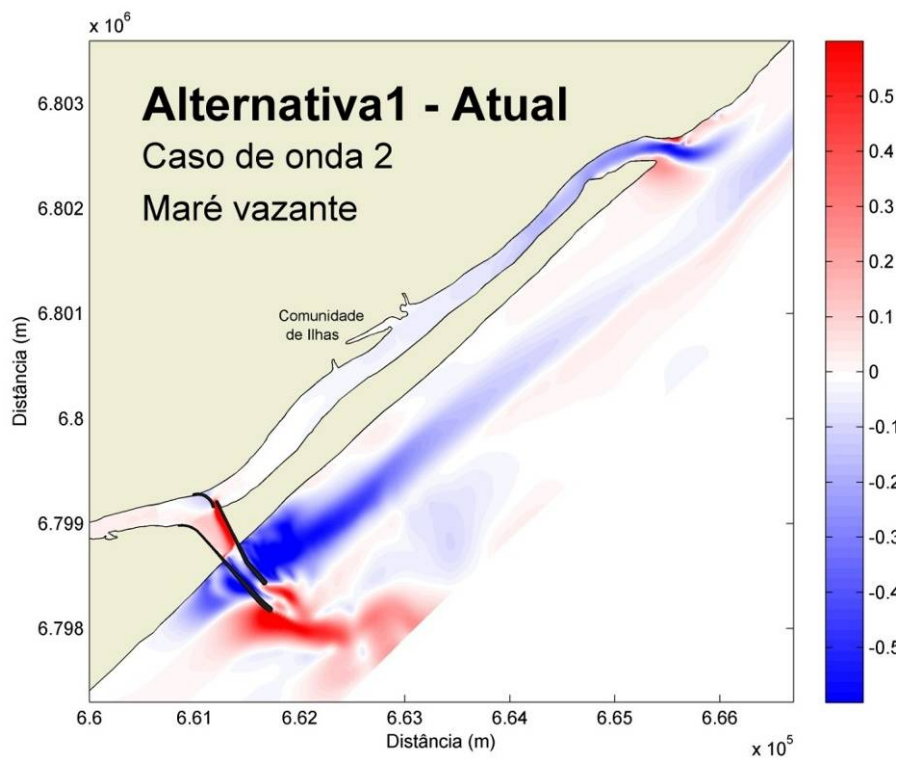


Figura 39: Mudanças relativas na Alternativa 1 com relação ao cenário atual, na maré vazante, durante o caso de ondas 2. Verifica uma intensificação nas velocidades das correntes em frente ao molhe e dentro deste, chegando a pouco mais de 0,5 m/s. Uma diminuição da intensidade das correntes de até 0,5 m/s foi verificada próxima a obra de fixação e na antiga desembocadura. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

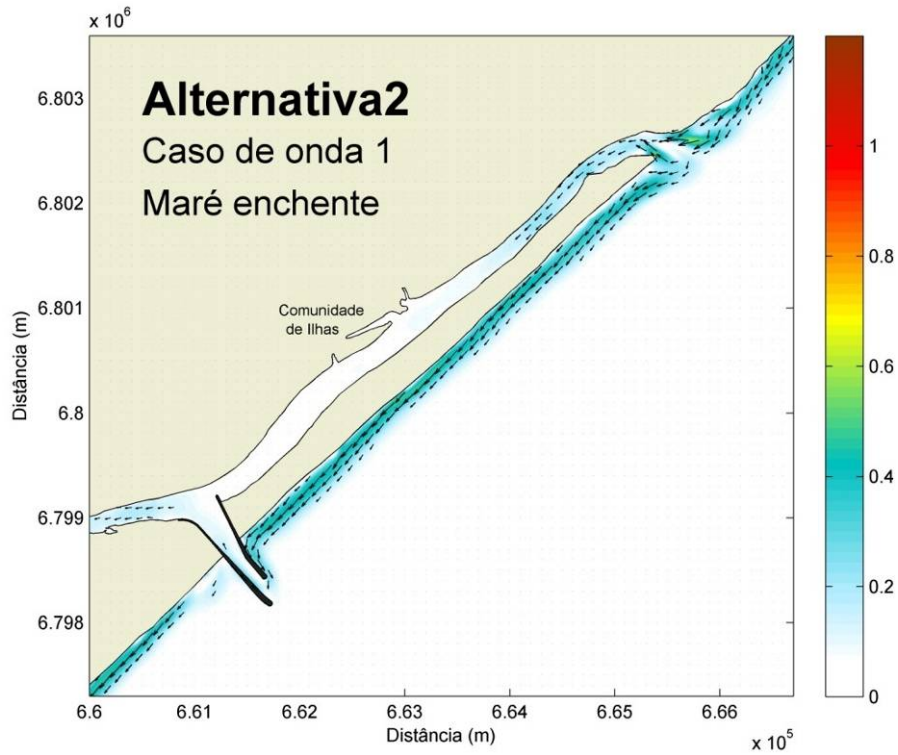


Figura 40: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. A intensidade das correntes não ultrapassa de 0,4 m/s, com direção NE-SW. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

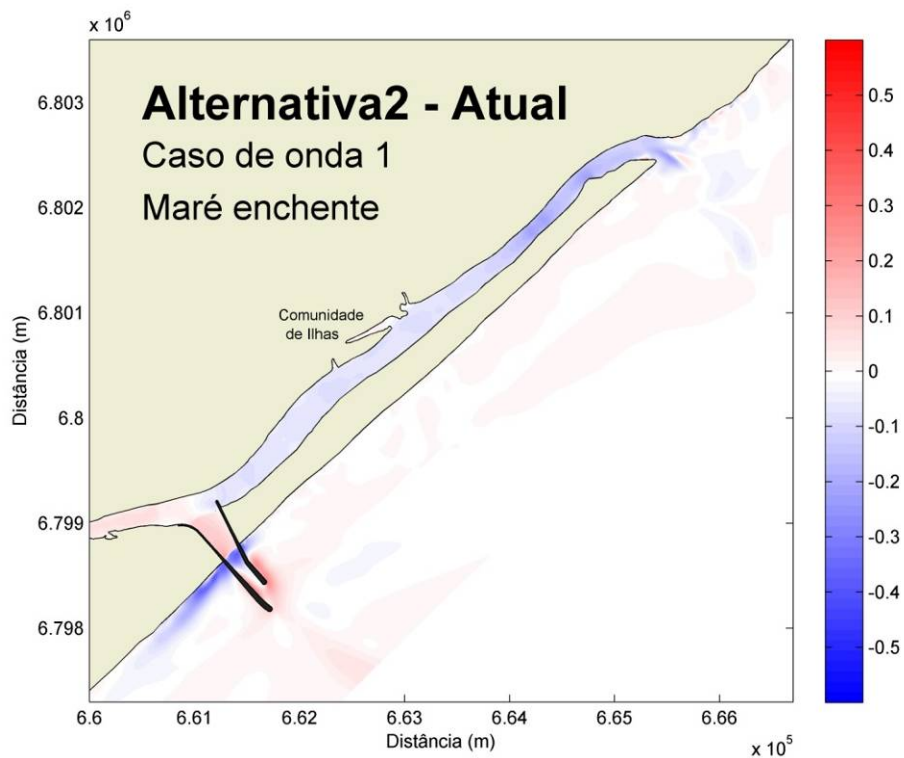


Figura 41: Mudanças relativas na Alternativa 2 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 1. As modificações na intensidade nas correntes foi baixa, não ultrapassando 0,2 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

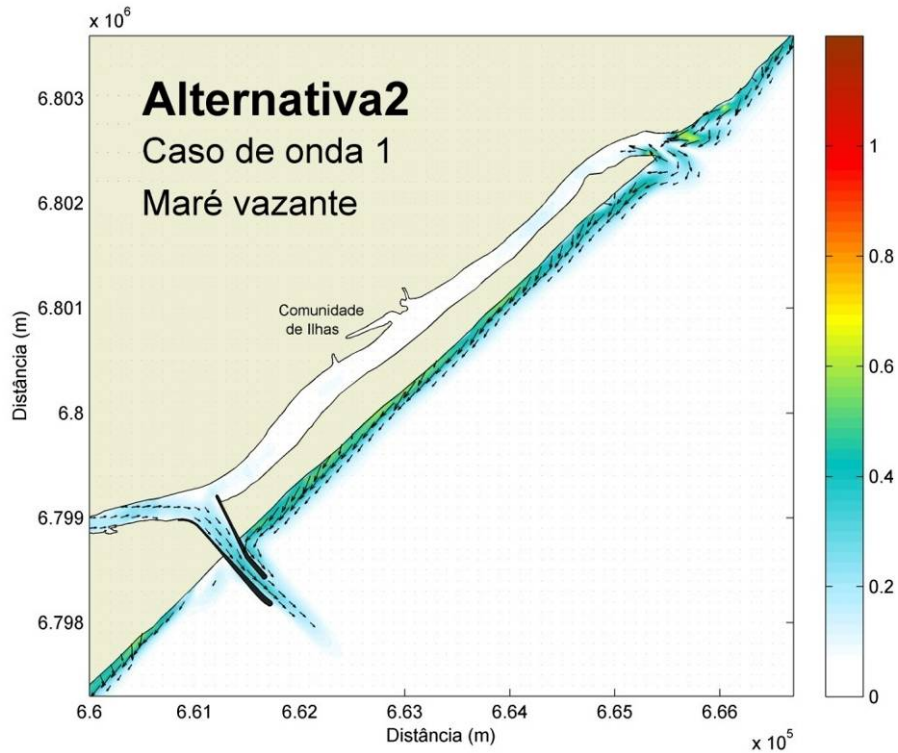


Figura 42: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. A direção das correntes longitudinais apresentam direção NE-SW, e a intensidade máxima destas não ultrapassa de 0,4 cm/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

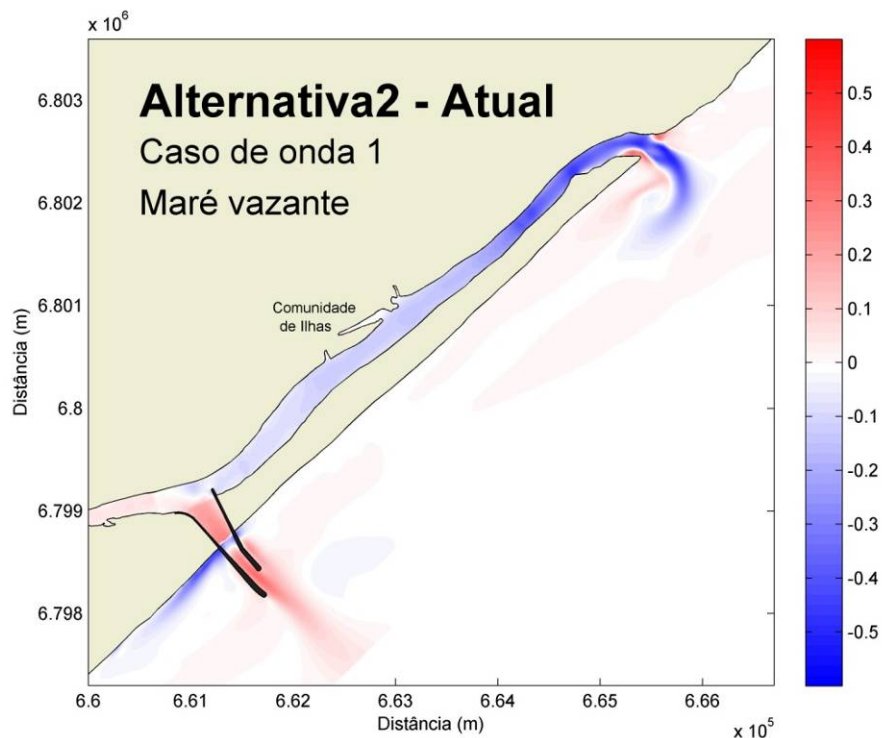


Figura 43: Mudanças relativas na Alternativa 2 com relação ao cenário atual na maré vazante, durante o caso de ondas 1. As modificações na intensidade nas correntes tiveram pequena magnitude, a maior delas ocorrendo no canal da antiga desembocadura há uma redução nas velocidades de correntes de até 0,4 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

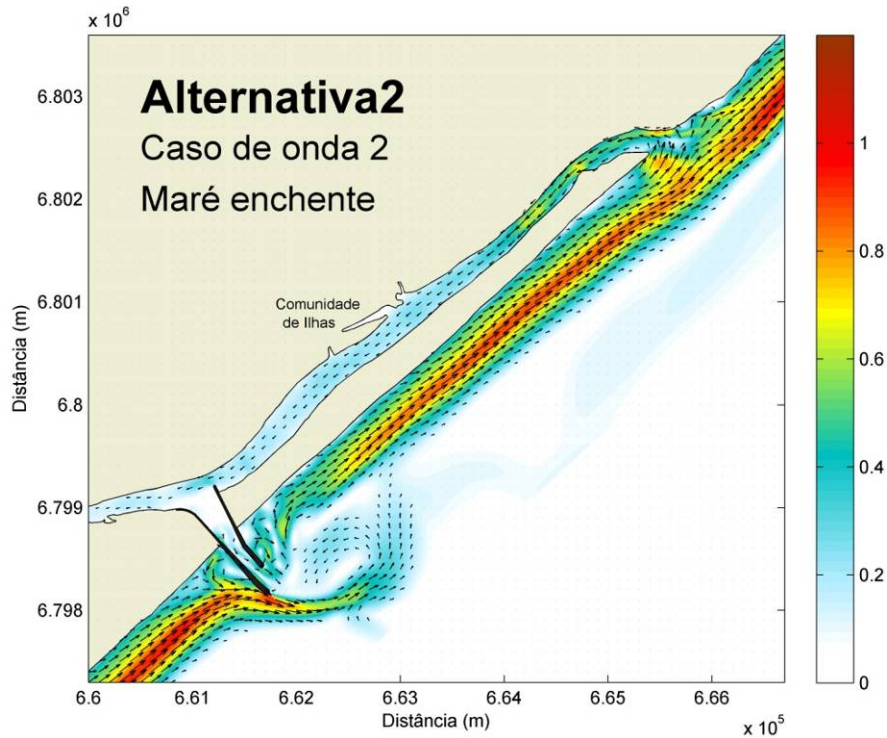


Figura 44: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 2, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. A intensidade das correntes é elevada, chegando a 1 m/s. O sentido das correntes é SW-NE, e verifica-se a formação de um pequeno vórtice em frente a obra, provocado pelo desvio que esta gera na corrente. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

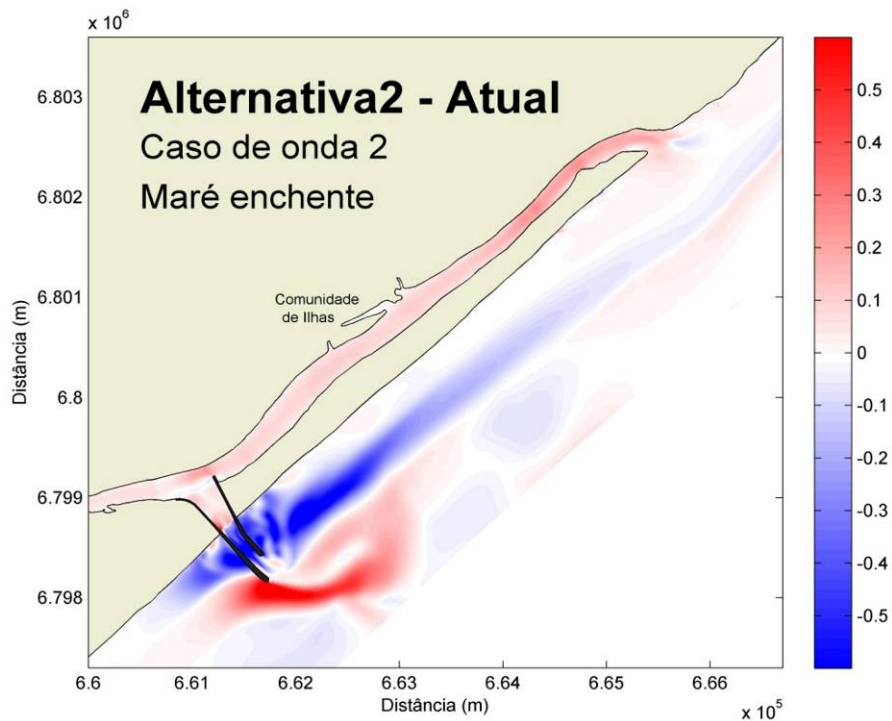


Figura 45: Mudanças relativas na Alternativa 2 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. Verifica uma intensificação nas velocidades das correntes em frente ao molhe e dentro deste, bem como no canal que leva a desembocadura antiga, chegando a pouco mais de 0,5 m/s. Uma diminuição da intensidade das correntes de até 0,5 m/s foi verificada próxima a obra de fixação e na antiga desembocadura. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

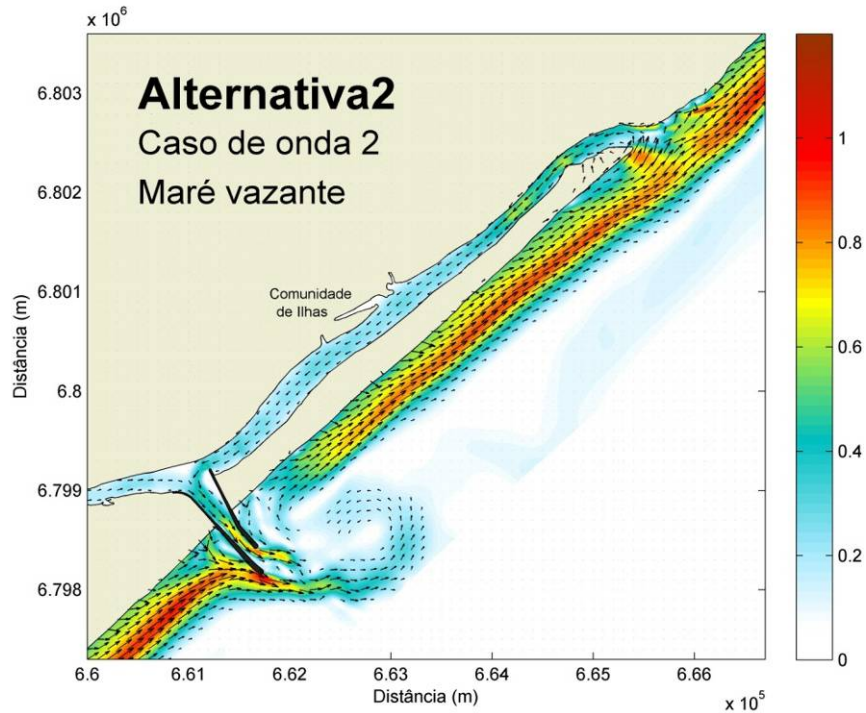


Figura 46: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. A intensidade das correntes chega a até 1 m/s. O sentido das correntes é SW-NE, e verifica-se a formação de um pequeno vórtice em frente a obra, provocado pelo desvio que esta gera na corrente. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

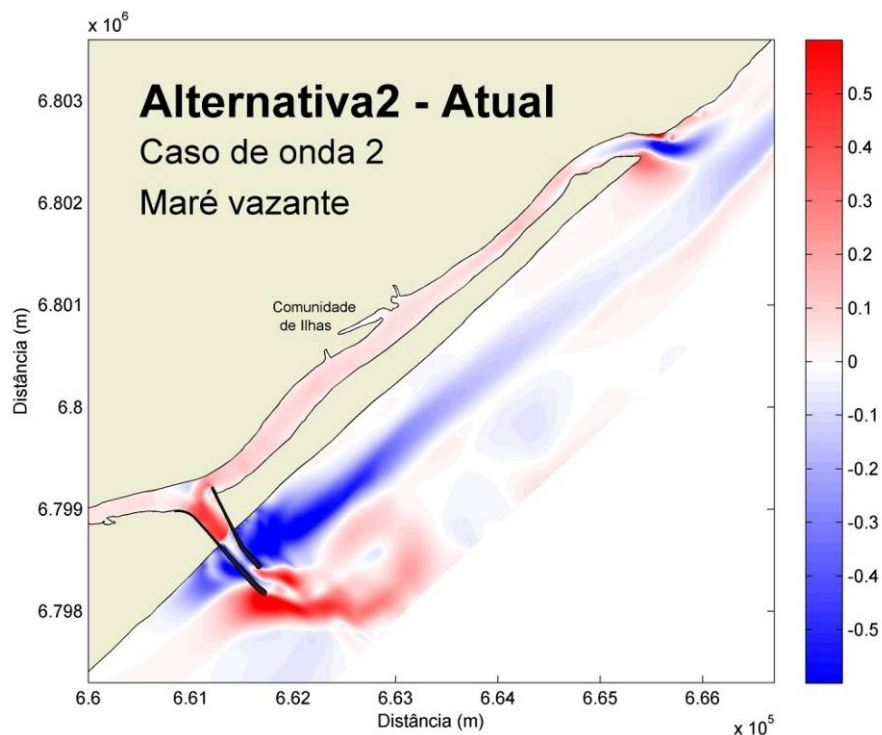


Figura 47: Mudanças relativas na Alternativa 2 com relação ao cenário atual, na maré vazante, durante o caso de ondas 2. Verifica uma intensificação nas velocidades das correntes em frente ao molhe e dentro deste, bem como no canal que leva a desembocadura antiga, chegando a pouco mais de 0,5 m/s. Uma diminuição da intensidade das correntes de até 0,5 m/s foi verificada próxima a obra de fixação e na desembocadura do antigo canal. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

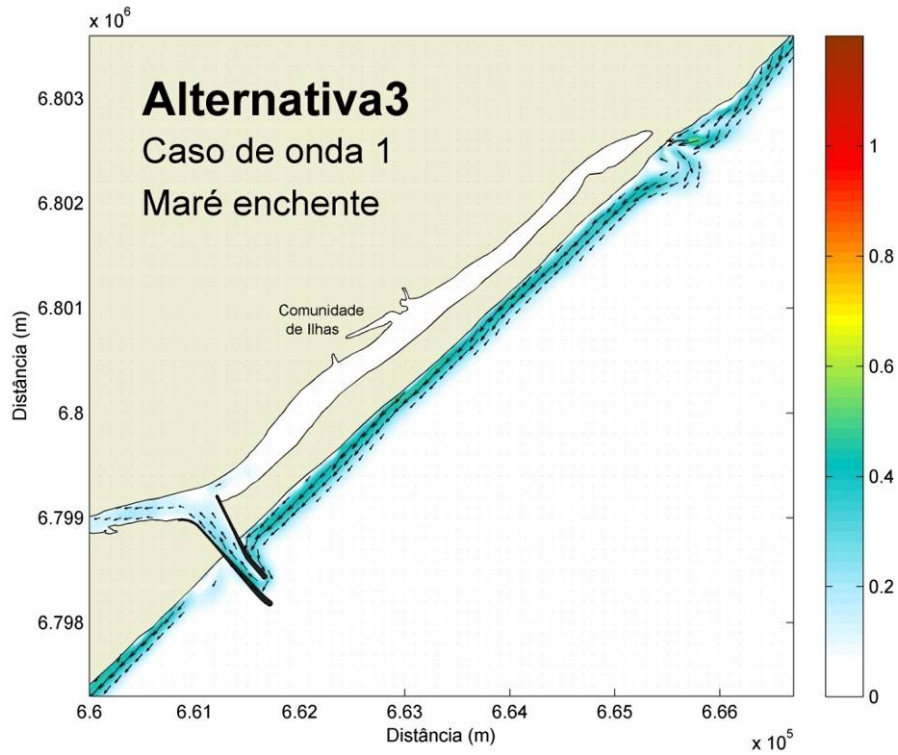


Figura 48: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. A intensidade das correntes não ultrapassa de 0,4 m/s, com direção NE-SW. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

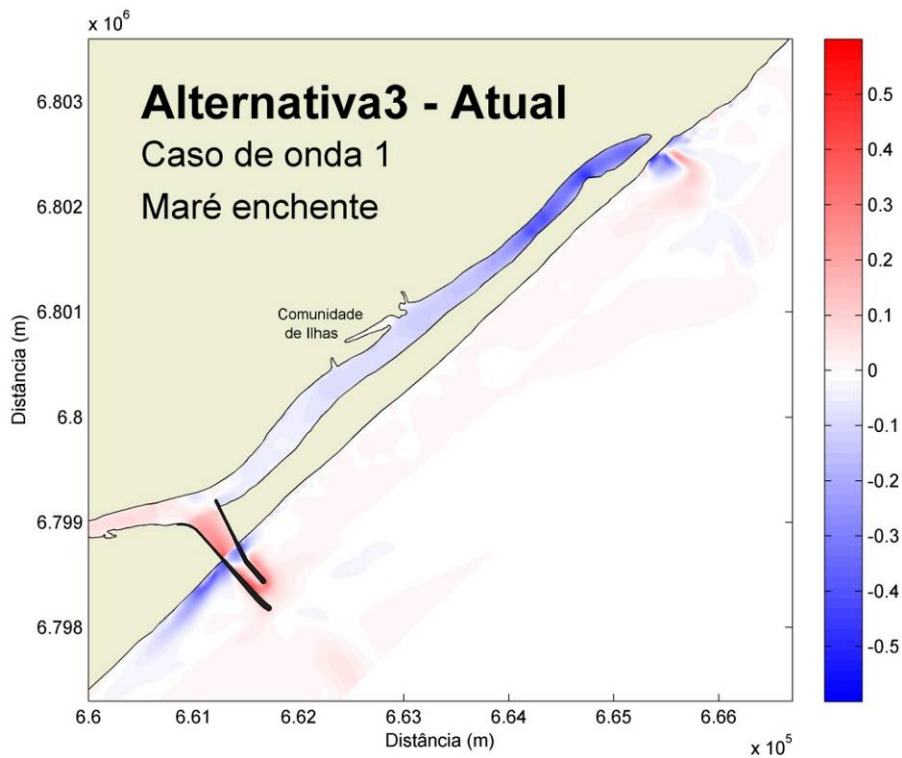


Figura 49: Mudanças relativas na Alternativa 3 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 1. As modificações na intensidade nas correntes foi baixa, não ultrapassando 0,3 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

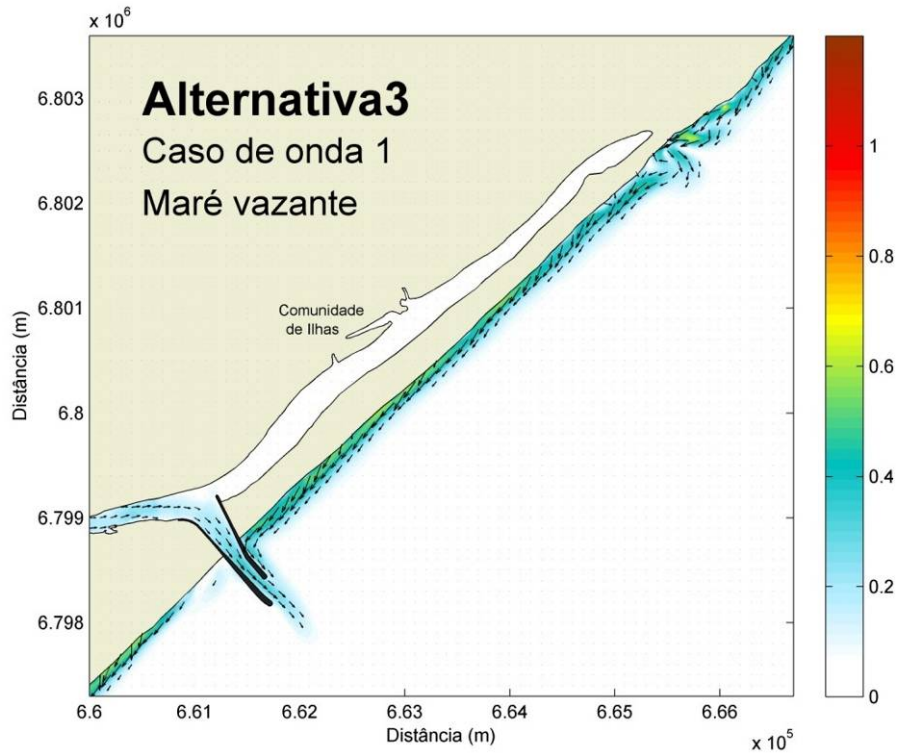


Figura 50: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. A intensidade das correntes não ultrapassa de 0,5 m/s, com direção longitudinal NE-SW. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

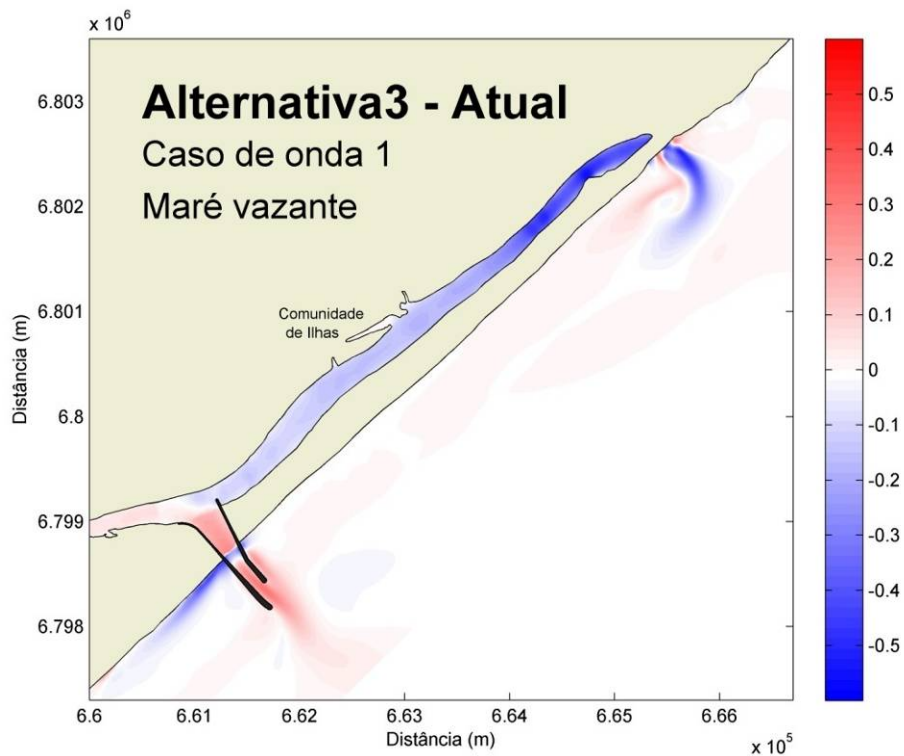


Figura 51: Mudanças relativas na Alternativa 3 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 1. As modificações na intensidade nas correntes chegou a 0,4 m/s, sendo verificada uma expressiva diminuição nas velocidades de correntes no canal abandonado, paralelo à praia, de até 0,4 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

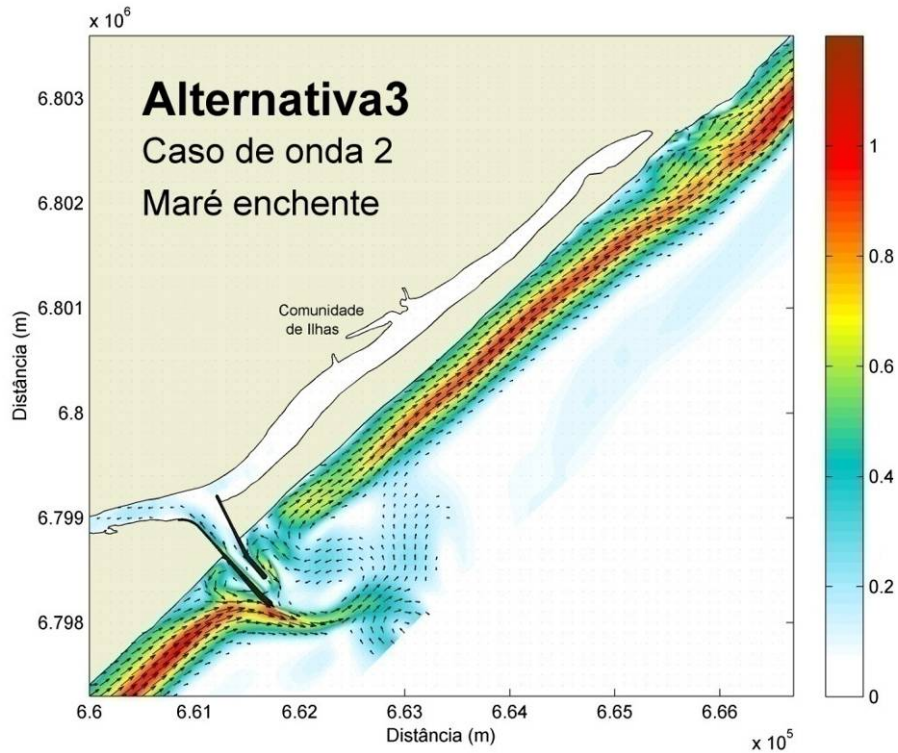


Figura 52: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. As correntes apresentam sentido SW-NE, e chegam a atingir 1 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

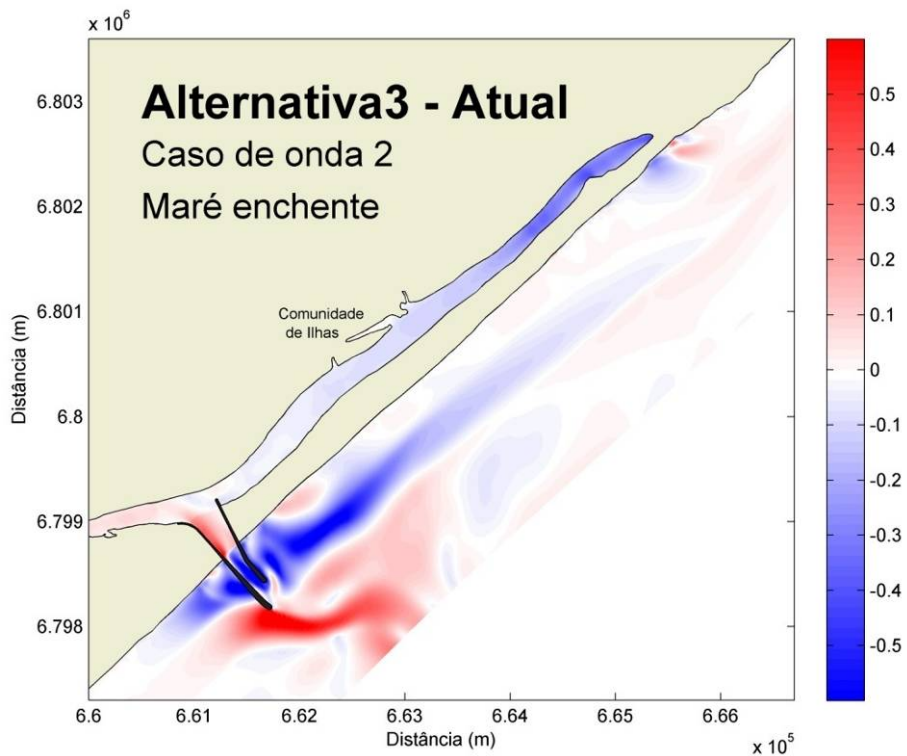


Figura 53: Mudanças relativas na Alternativa 3 com relação ao cenário atual, na maré enchente, durante o caso de ondas 2. Diminuições nas velocidades de correntes foram verificadas próximas a obra de fixação e no canal abandonado, chegando a pouco mais de 0,5 m/s, e intensificações na velocidade de correntes foram verificadas em frente a obra e em seu interior de até 0,5 m/s. A escala de cores representa a diferença de velocidade das correntes, em m/s.

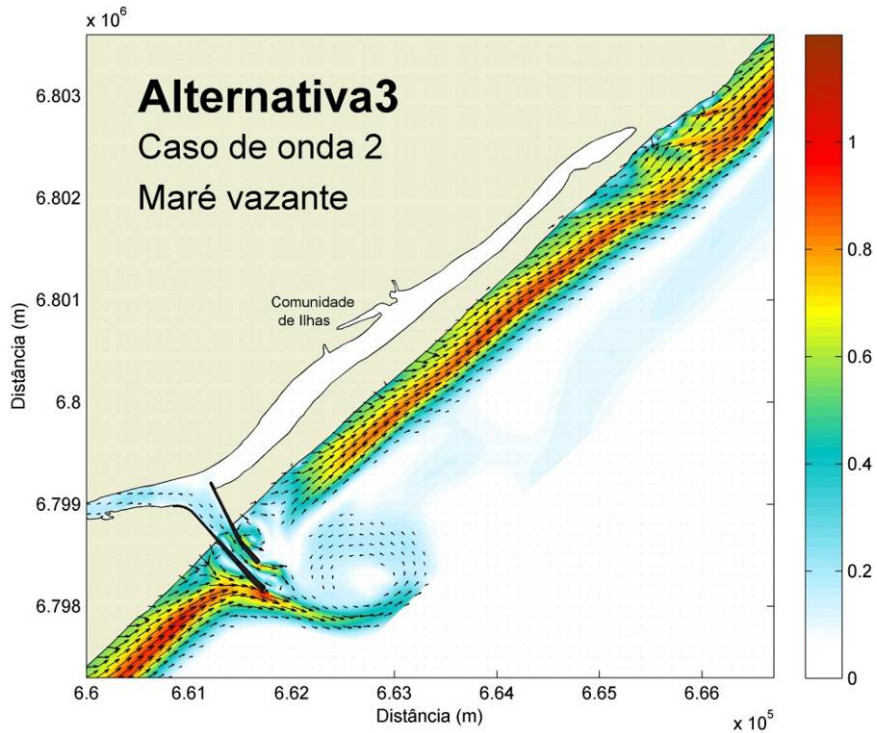


Figura 54: Velocidade e direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. As velocidades de correntes chegam a até 1 m/s, e o sentido destas é SW-NE. Observa-se a presença de um vórtice em frente a obra, provocado pelo desvio que esta gera na corrente. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

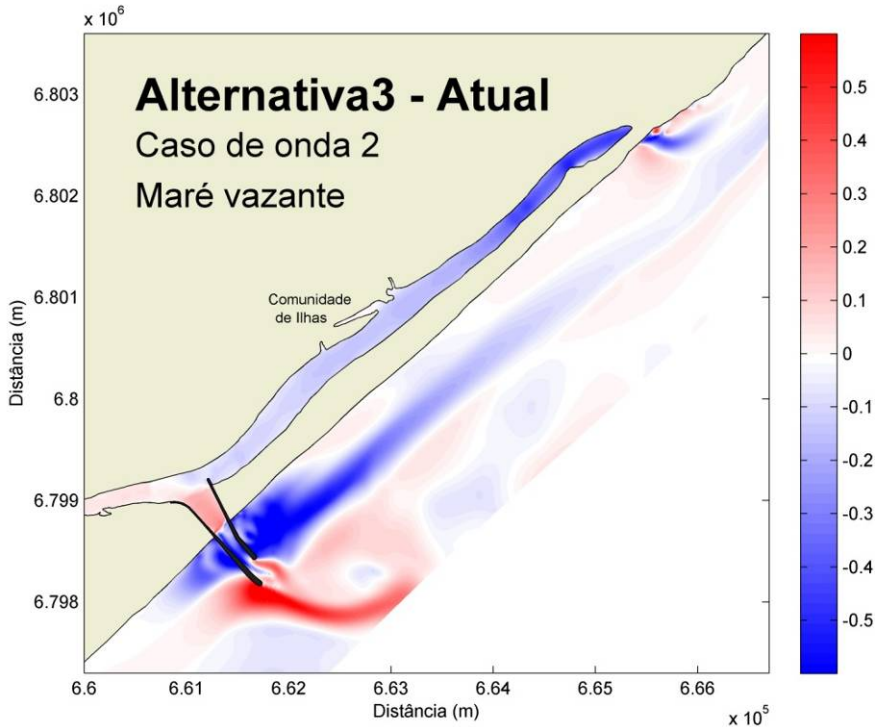


Figura 55: Mudanças relativas na Alternativa 3 com relação ao cenário atual, na maré vazante, durante o caso de ondas 2. Modificações nas velocidades de correntes, tanto intensificação como diminuição, foram verificadas, chegando a pouco mais de 0,5 m/s. A escala de cores representa a velocidade das correntes, em m/s.

Análise de Impactos no Transporte de Sedimentos

A análise do impacto das alternativas no transporte de sedimentos também foi feita com base na influência dos dois casos de ondas selecionados durante a maré enchente e vazante, para o período de sizígia. Os resultados de transporte de sedimentos foram gerados para o mesmo período de tempo dos gráficos de correntes, portanto é possível comparar, para cada alternativa, o caso de onda e a condição de maré.

Para as três alternativas simuladas, verifica-se que as características das ondas influenciam diretamente o transporte de sedimentos. Foi observado que a intensidade do transporte de sedimentos foi menor quando simulado com ondas do quadrante nordeste (caso 1) do que quando simulado com ondas do quadrante sul (caso de onda 2). Quando simulado com o caso 2 o transporte chegou a valores maiores que $0,0016 \text{ m}^3/\text{m/s}$

O canal fixado pela obra não apresentou alteração significativa no transporte de sedimentos. Já na antiga desembocadura, observou-se que ocorreram mudanças no transporte de sedimentos dos cenários das Alternativas com relação ao Cenário Atual. Em geral, houve diminuição no transporte de sedimentos de até $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$, sendo esta redução mais pronunciada durante a incidência das ondas do caso 1, de sul.

As maiores mudanças no transporte de sedimentos ocorreram nas proximidades das obras de fixação implementadas, e para as três alternativas propostas observou-se o mesmo padrão de variação. As maiores modificações foram verificadas durante a propagação do caso de onda do quadrante sul (caso 1). De forma geral, houve uma pronunciada diminuição no transporte de sedimentos ao lado sudoeste, no interior e ao lado nordeste dos molhes, que chegou a até $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$. Um aumento no transporte de sedimentos foi verificado em frente à obra, causada pela mudança na direção do transporte de sedimentos causada pela estrutura mais a sul. Observa-se ainda nas figuras abaixo que sob condições de ondas de alta energia do quadrante sul (caso de onda 2) o transporte de sedimentos ao longo da costa é interrompido pela estrutura dos molhes sendo re-estabelecido à aproximadamente 800 m ao norte dos molhes.

Nas Figura 56 a Figura 59 são apresentadas as magnitudes de transporte total (em suspensão e sobre o fundo) e suas direções para o Cenário Atual. Os campos de transporte e as mudanças relativas para as Alternativas 1, 2 e 3 são apresentadas nas Figura 60 a Figura 83.

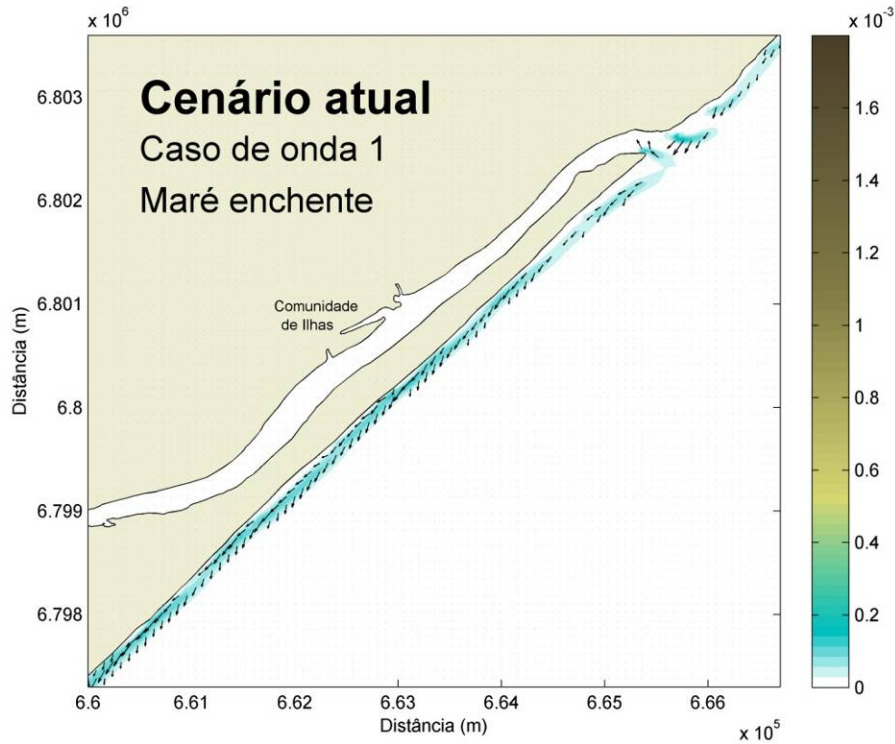


Figura 56: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que o transporte de sedimentos foi muito pequeno, não ultrapassando $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

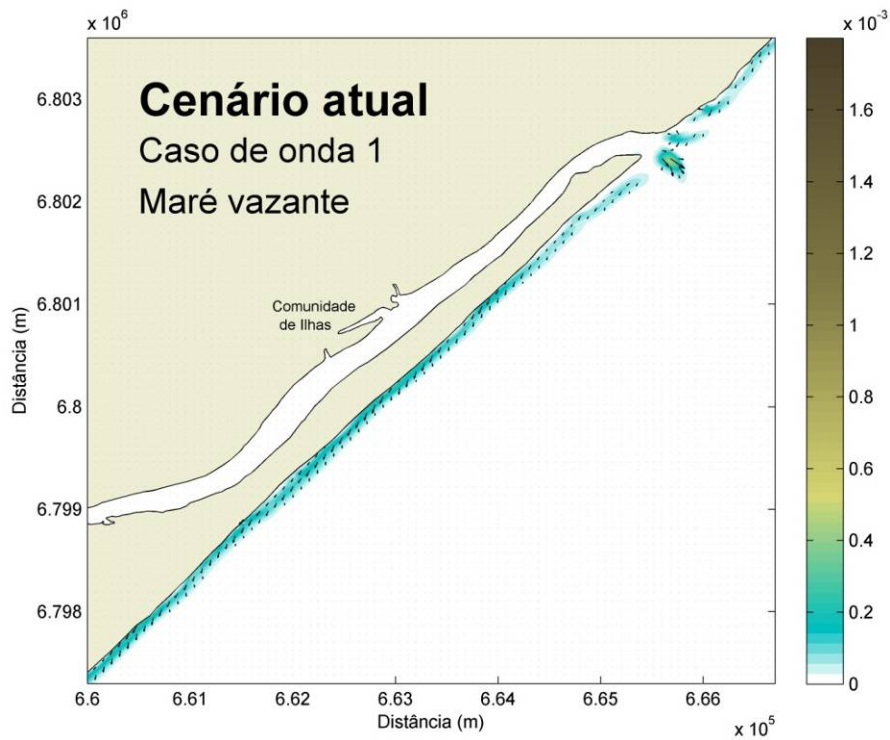


Figura 57: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. Da mesma forma que na maré enchente, o transporte de sedimentos foi muito pequeno. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

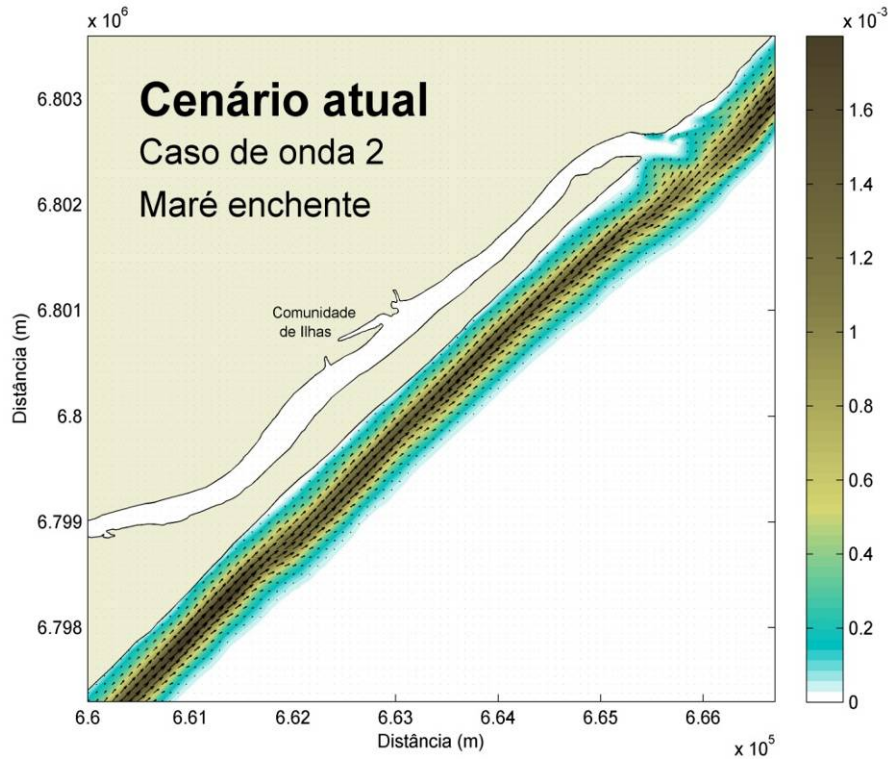


Figura 58: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. O transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE, chegando a $0,0016 \text{ m}^3/\text{m}/\text{s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$.

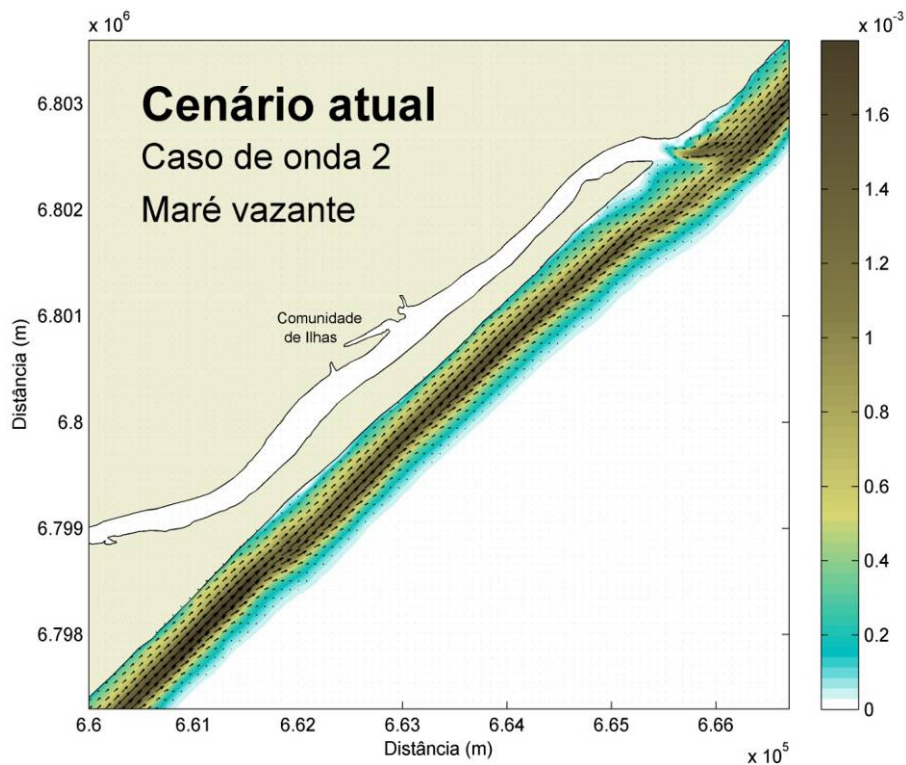


Figura 59: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para o Cenário Atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. O transporte de sedimentos apresentou as mesmas características que o transporte da maré enchente, com direção SW-NE e magnitude de até $0,0016 \text{ m}^3/\text{m}/\text{s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$.

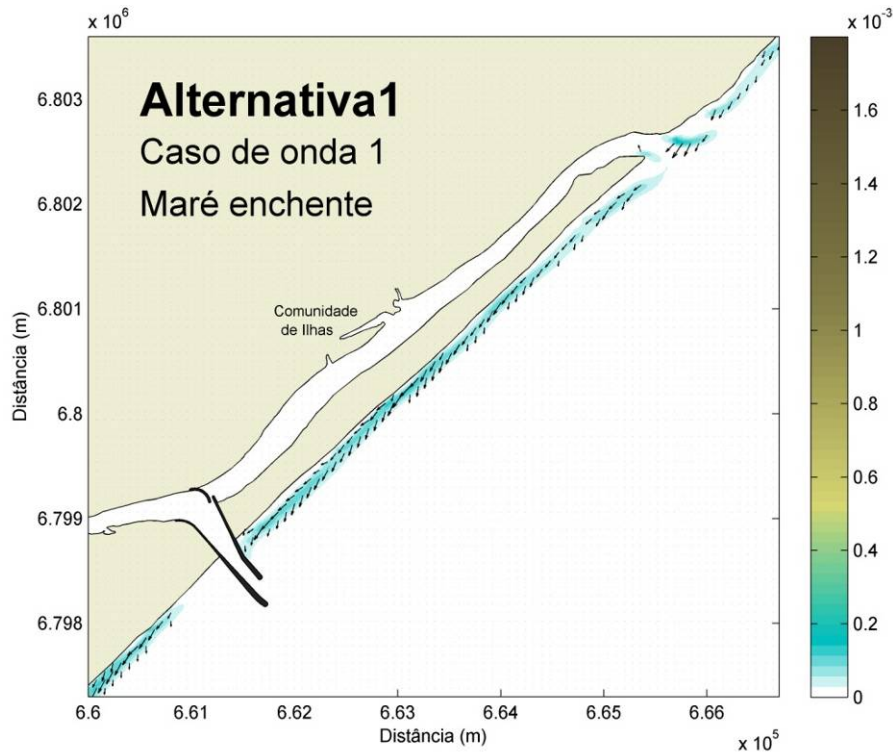


Figura 60: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 1, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, não chegando a $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

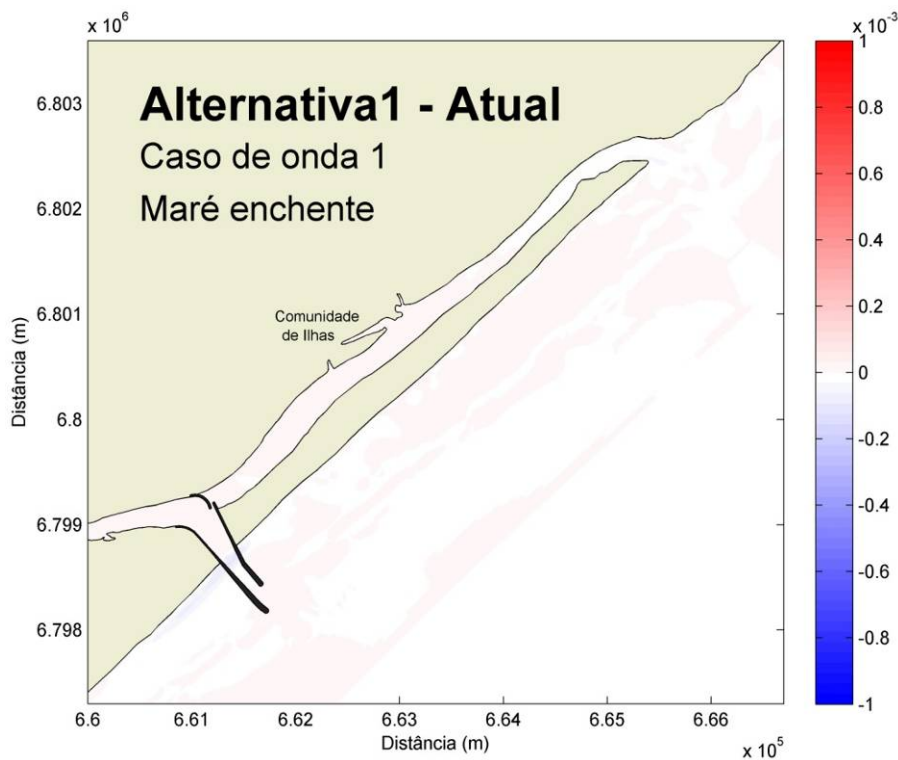


Figura 61: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 1 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que não houveram modificações no transporte de sedimentos. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

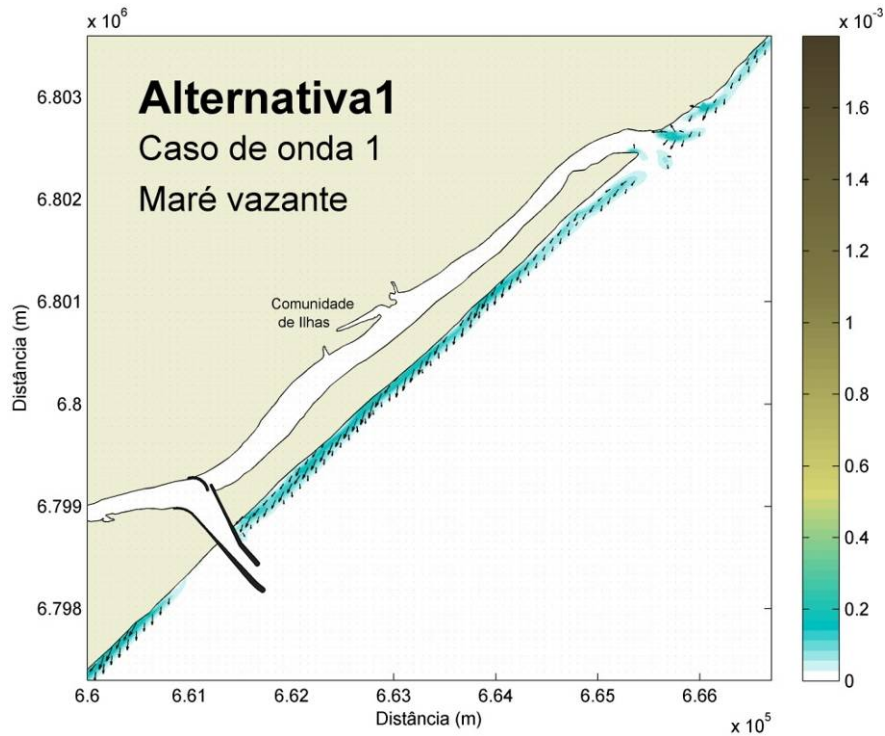


Figura 62: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 1, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, atingindo até $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$, com direção NE-SW. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

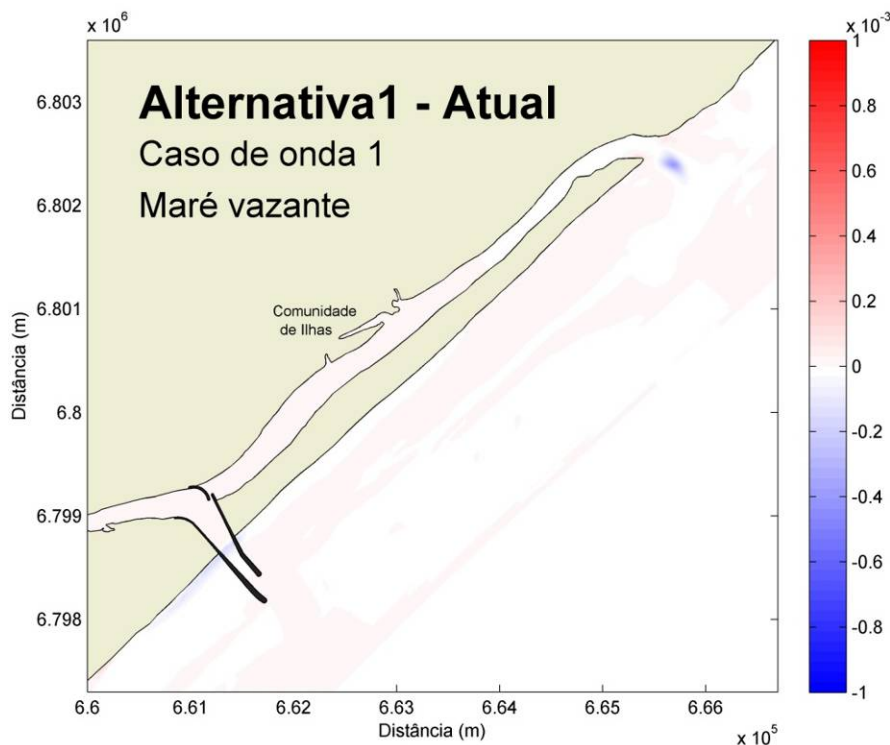


Figura 63: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 1 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. Verifica-se que não houveram modificações no transporte de sedimentos, com exceção de uma pequena diminuição junto a desembocadura antiga, da ordem de $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

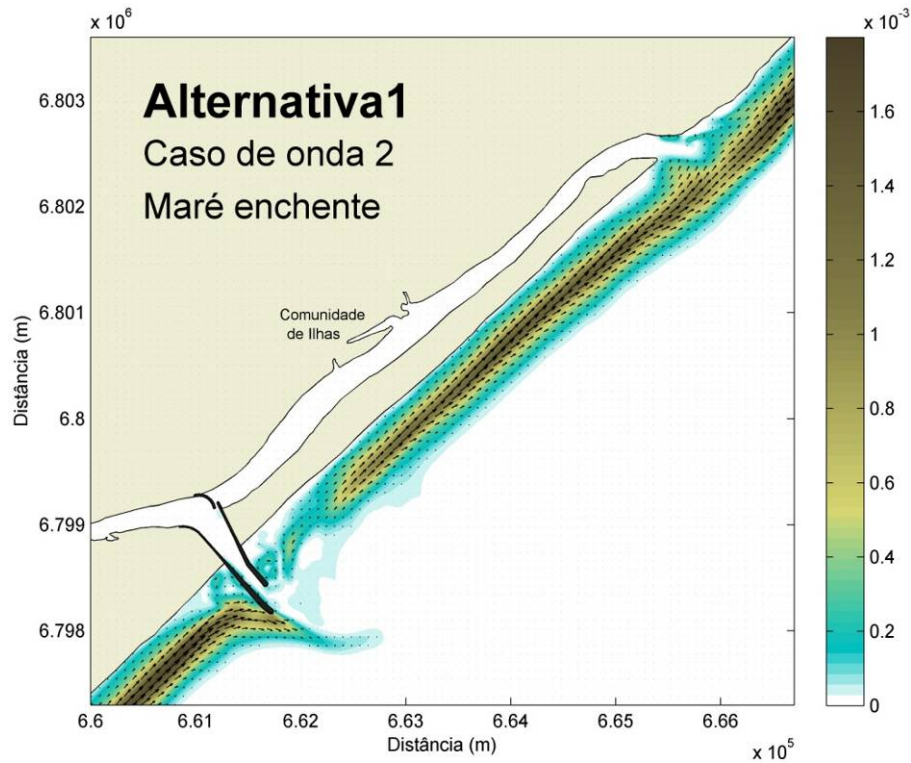


Figura 64: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 1, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. O transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE, chegando a $0,0016 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

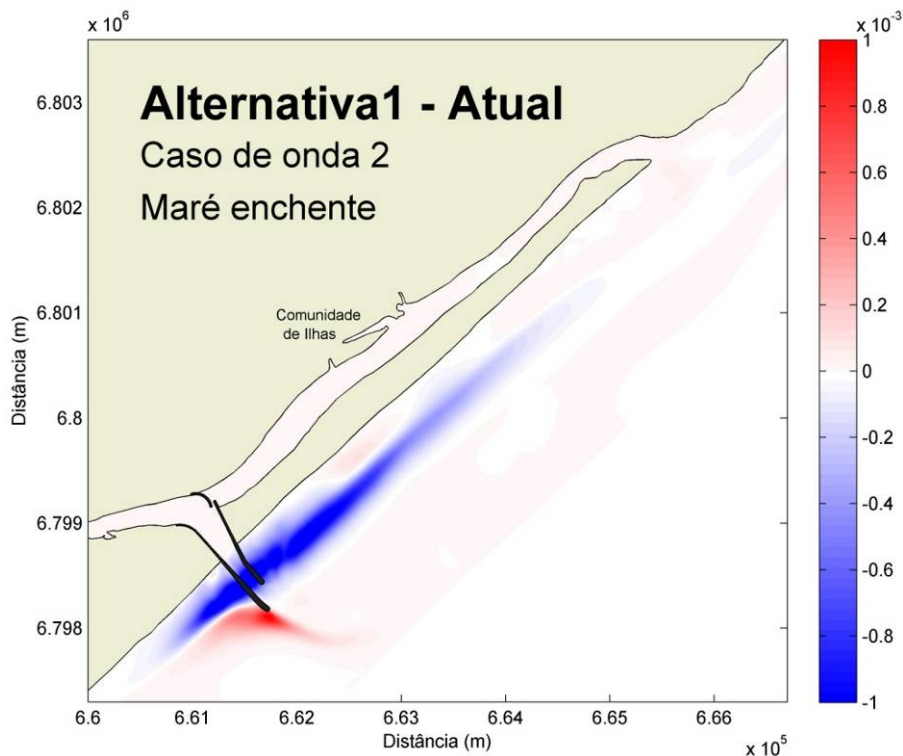


Figura 65: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 1 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Houve uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação, que chegou a $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de $0,0008 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

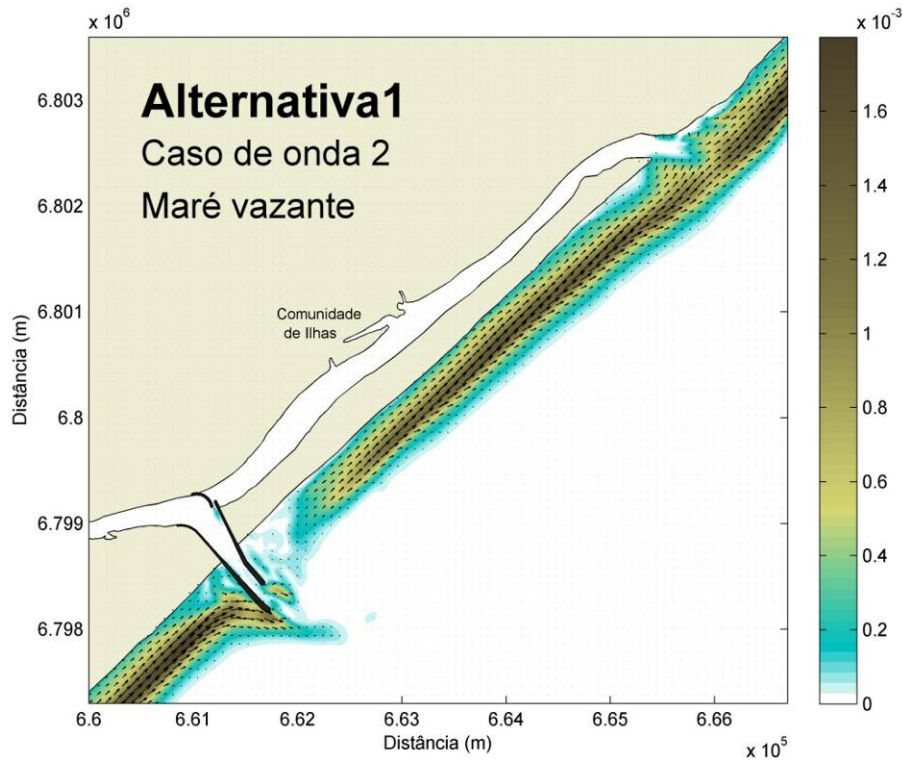


Figura 66: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 1, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. O transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE, chegando a mais de $0,0016 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

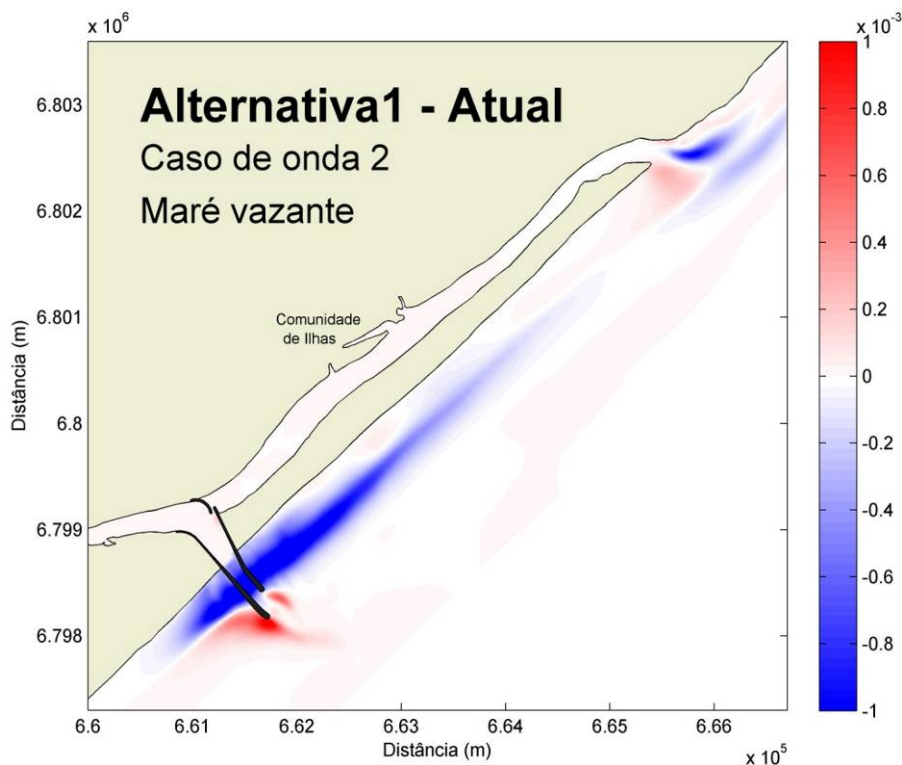


Figura 67: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 1 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Houve uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação e na antiga desembocadura, que chegou a $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de $0,0008 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

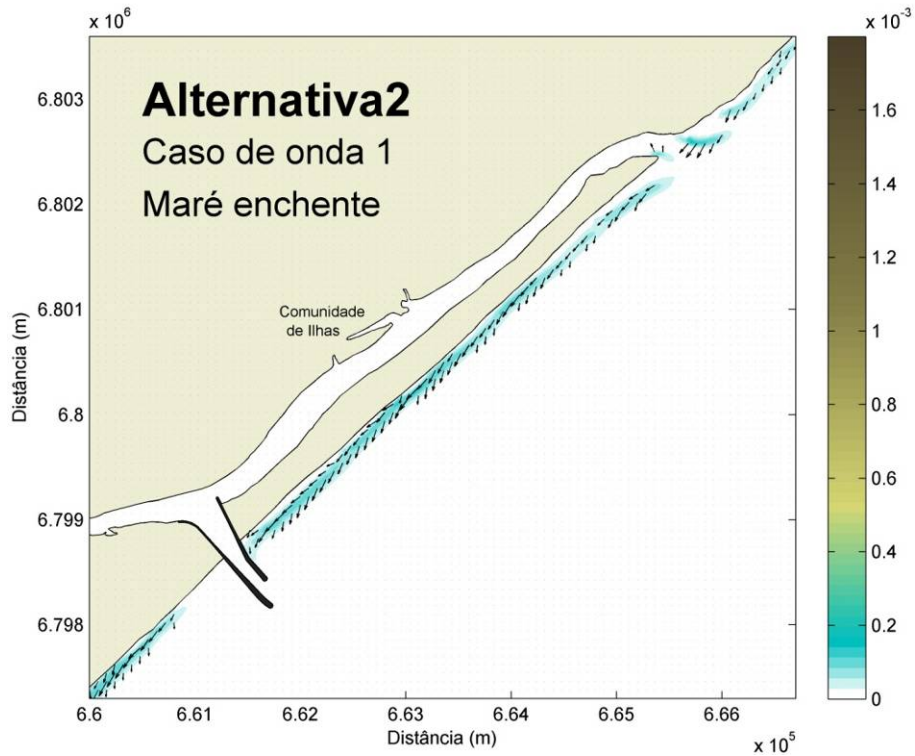


Figura 68: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, não chegando a $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$, com direção NE-SW. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

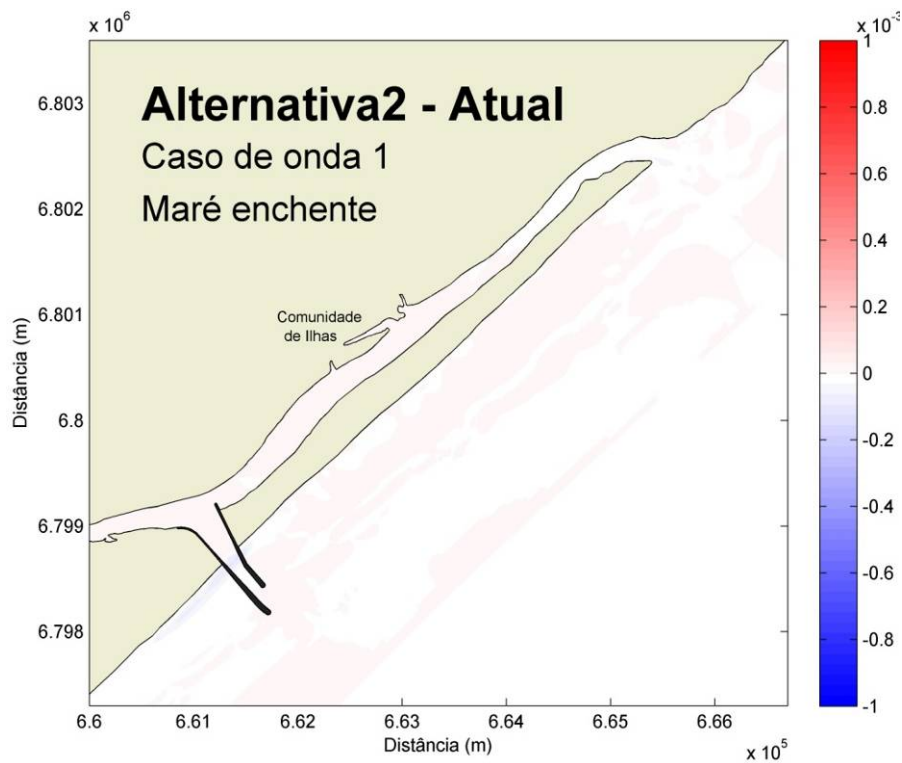


Figura 69: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 2 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Não houveram mudanças significativas. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

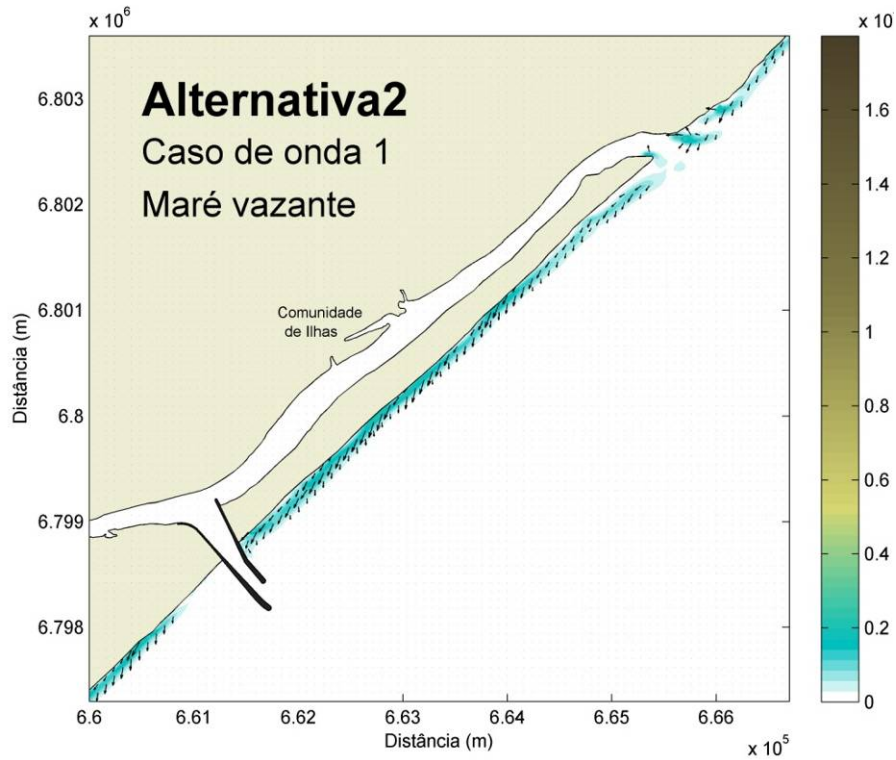


Figura 70: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, apresentou direção NE-SW, chegando a $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

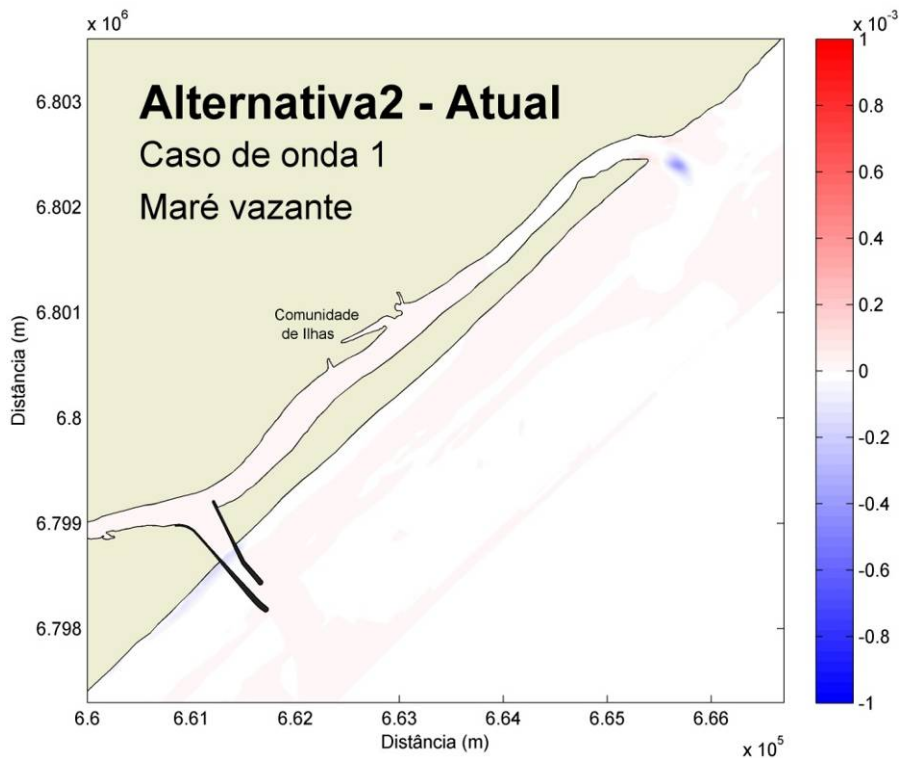


Figura 71: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 2 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. Verifica-se que não houveram modificações no transporte de sedimentos, com exceção de uma pequena diminuição junto a desembocadura antiga, da ordem de $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

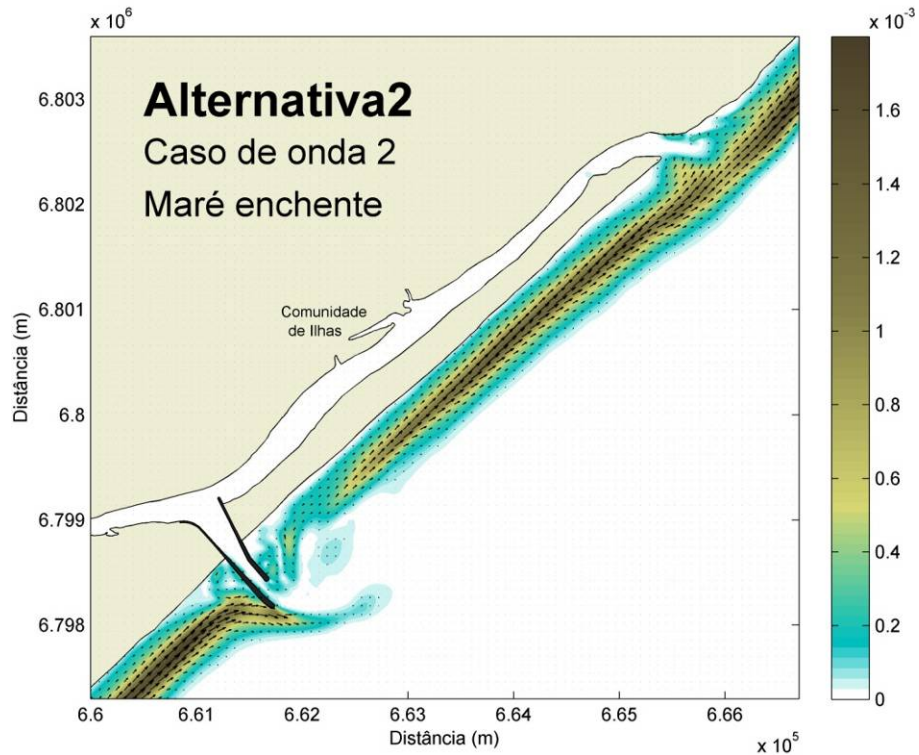


Figura 72: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. O transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE, chegando a mais de $0,0016 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

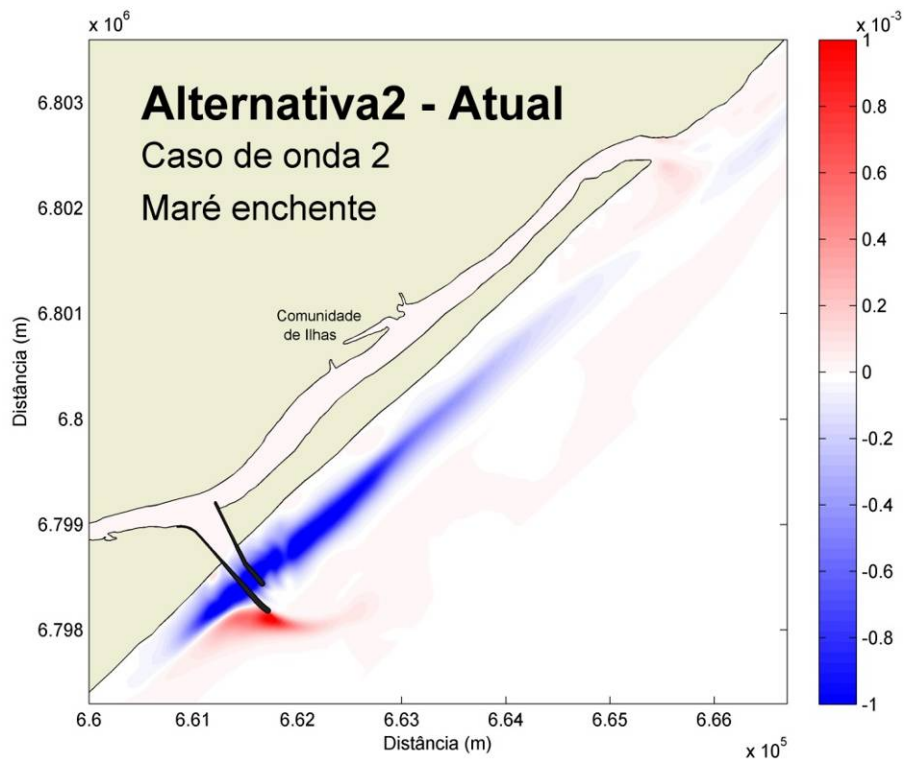


Figura 73: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 2 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Houve uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação, que chegou a $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de $0,0008 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

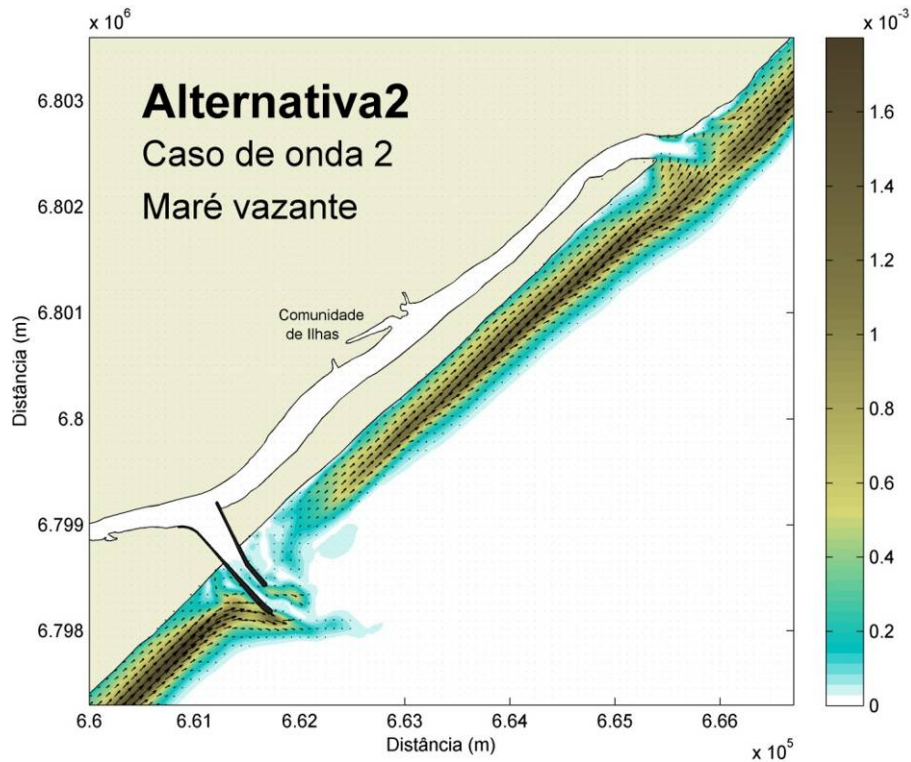


Figura 74: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 2, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Como na maré enchente, o transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE e chegou a mais de $0,0016 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

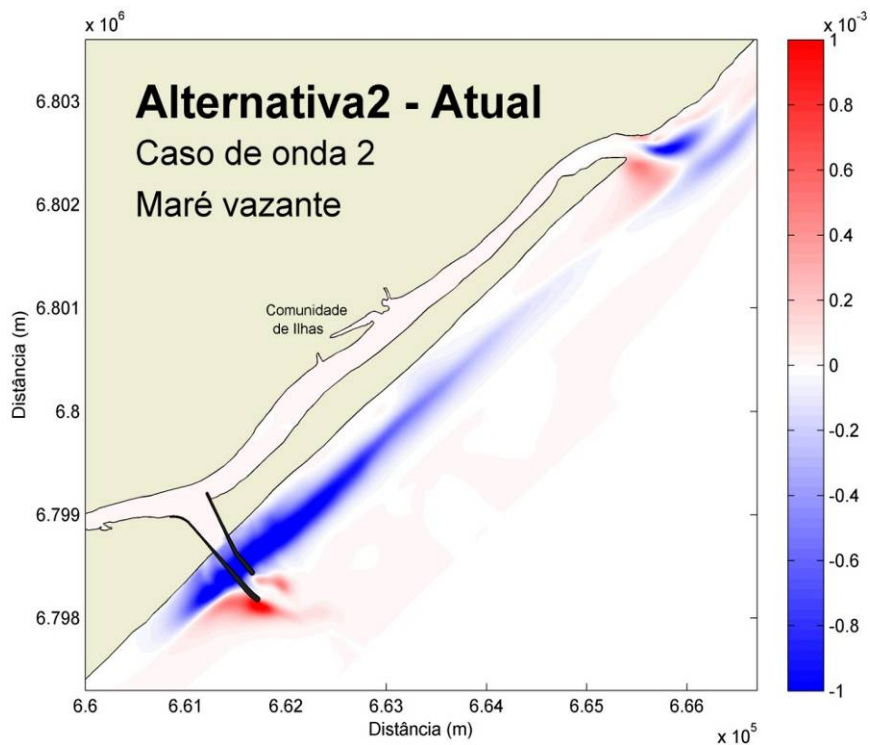


Figura 75: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 2 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Houve uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação e junto à antiga desembocadura, que chegou a $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de $0,0008 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

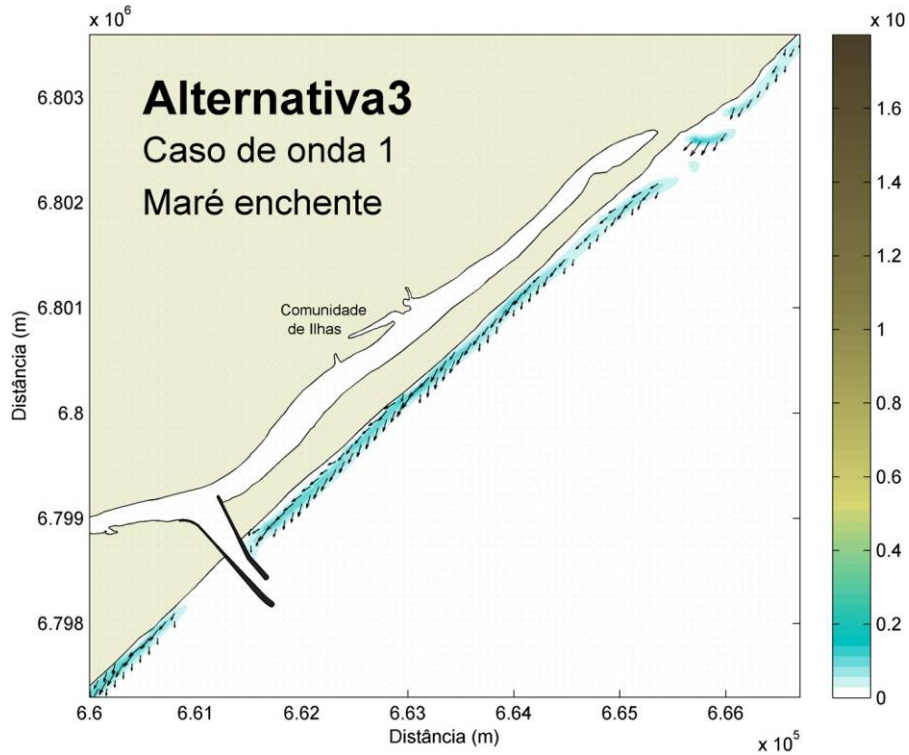


Figura 76: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, apresentou direção NE-SW, não ultrapassando $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

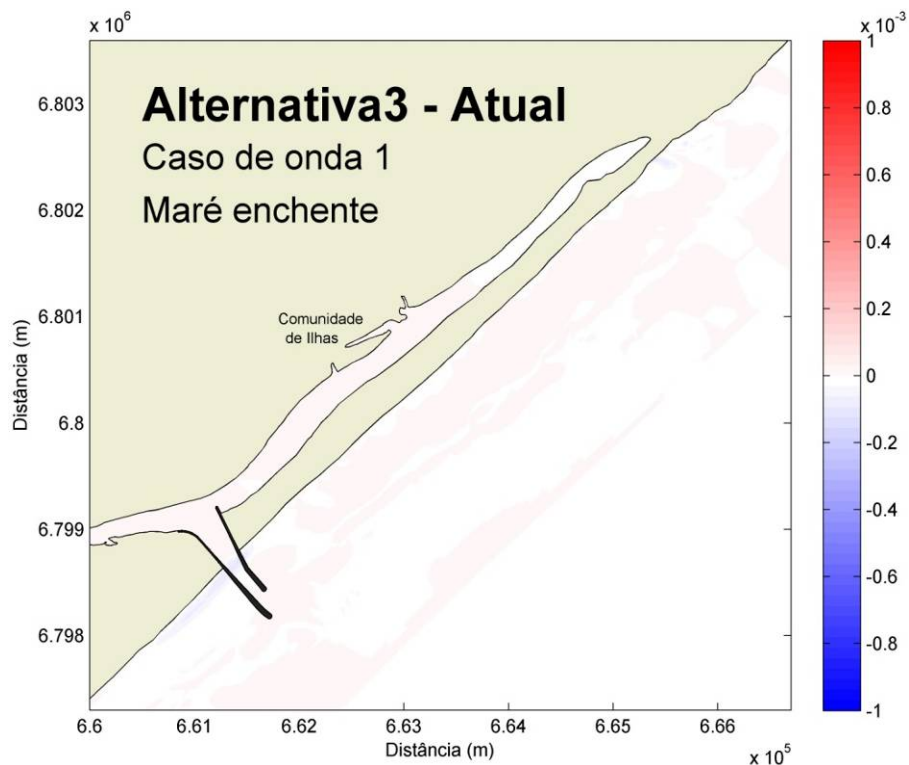


Figura 77: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 3 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que não houve transporte de sedimentos significativo. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

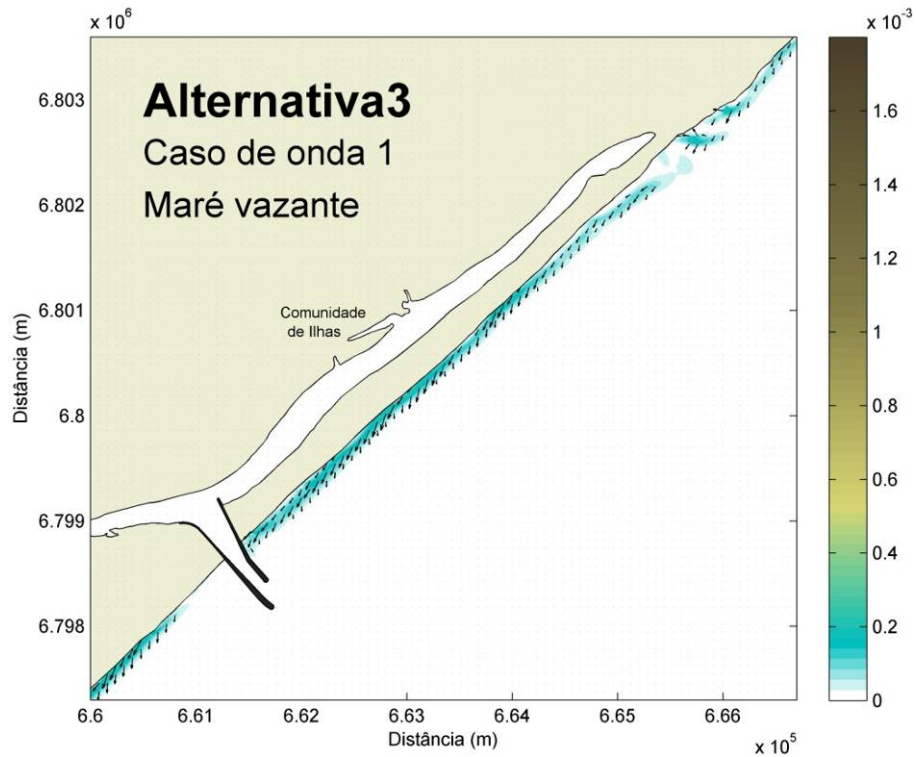


Figura 78: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 1, na maré vazante. O transporte de sedimentos foi muito pequeno, apresentou direção NE-SW, chegando a $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

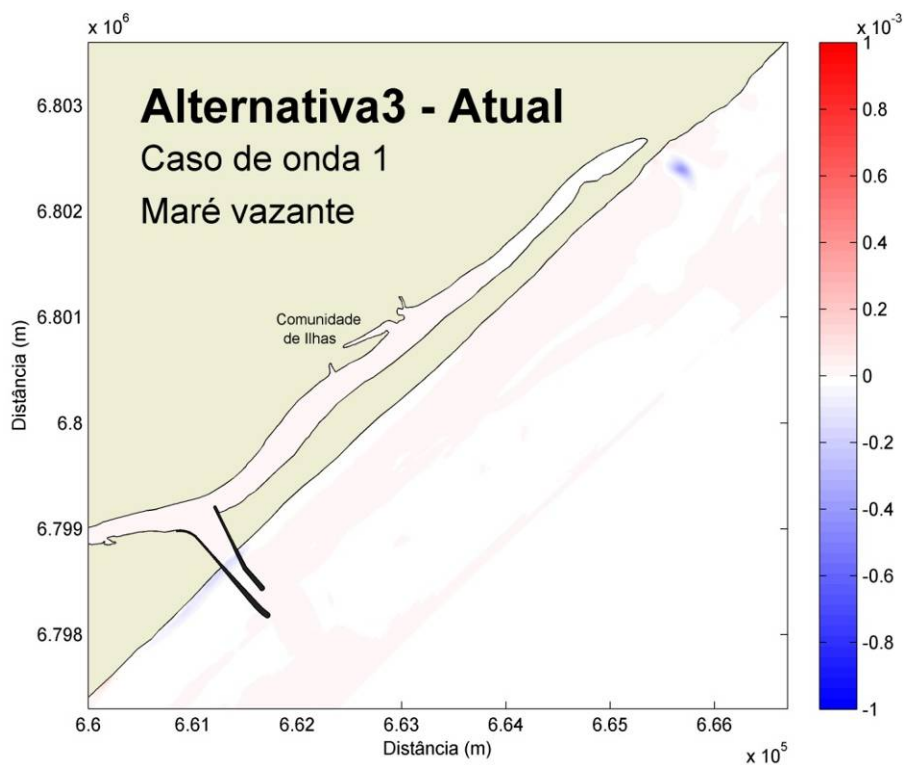


Figura 79: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 3 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 1, na maré enchente. Verifica-se que não houve transporte de sedimentos significativo, somente uma diminuição de menos de $0,0002 \text{ m}^3/\text{m/s}$ na antiga desembocadura. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

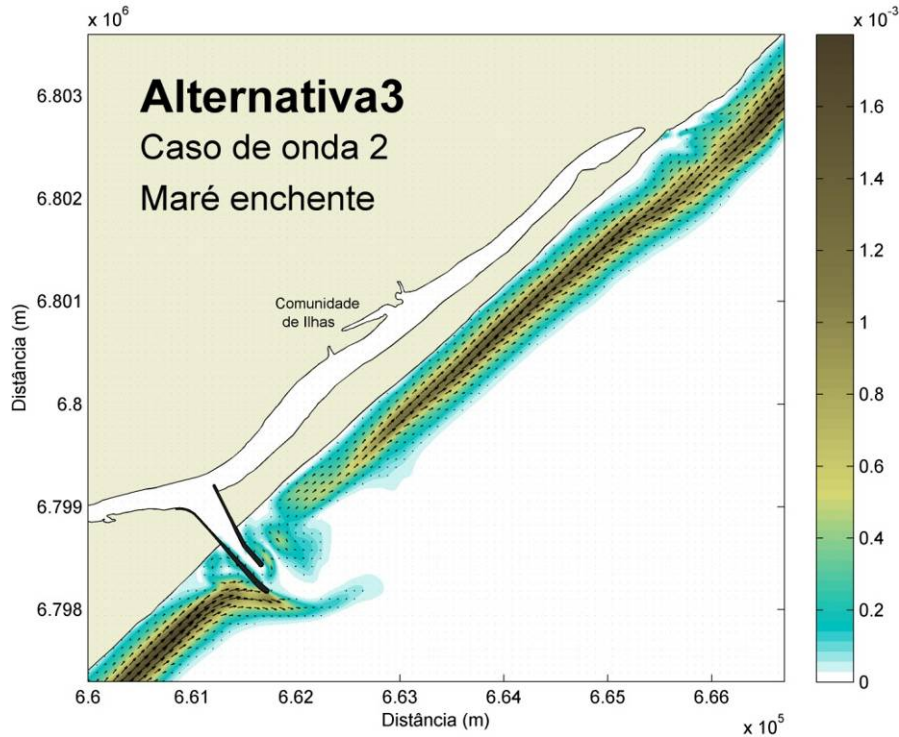


Figura 80: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Observa-se que o transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE e chegou a mais de $0,0016 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

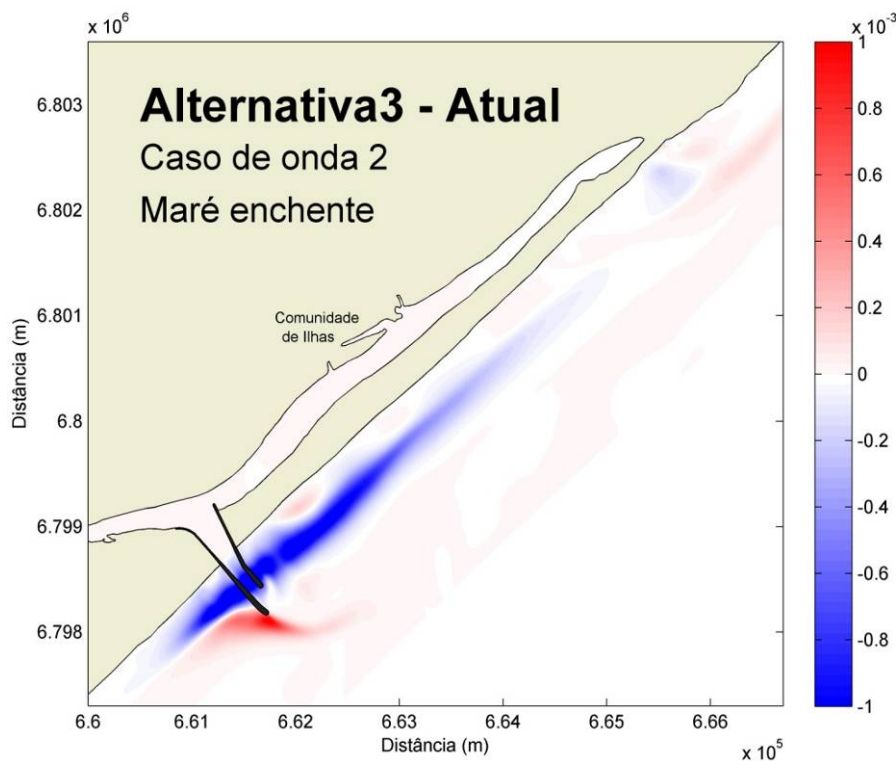


Figura 81: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 3 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré enchente. Observa-se uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação, que chegou a $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$, e foi verificado um aumento do transporte em frente à obra de $0,0008 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença da magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

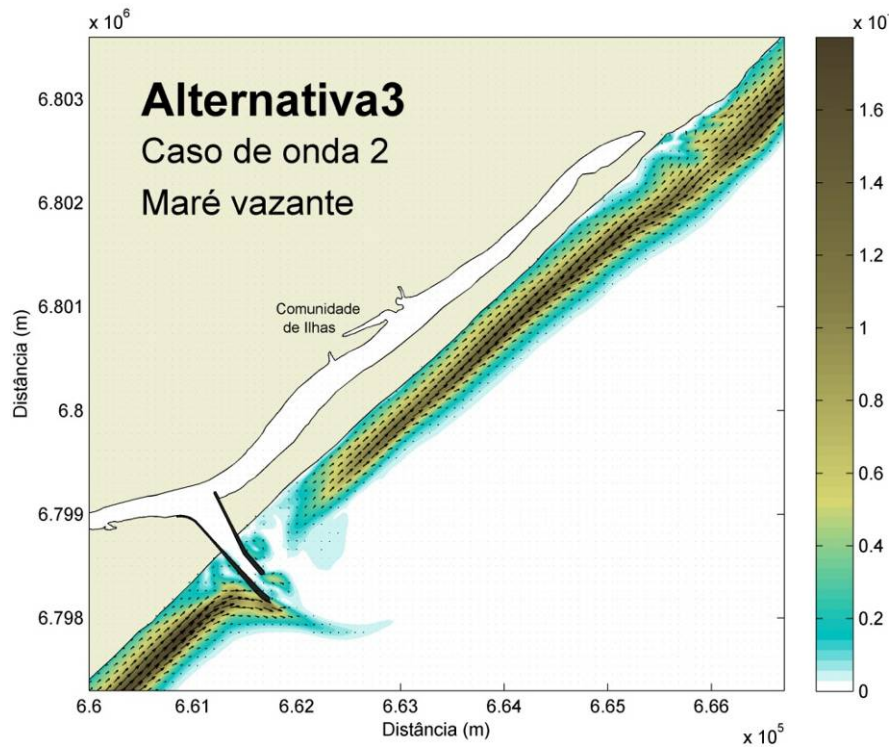


Figura 82: Transporte de sedimentos e sua direção de correntes para a Alternativa 3, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Da mesma forma que na maré enchente, o transporte de sedimentos apresentou direção SW-NE e chegou a mais de $0,0016 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

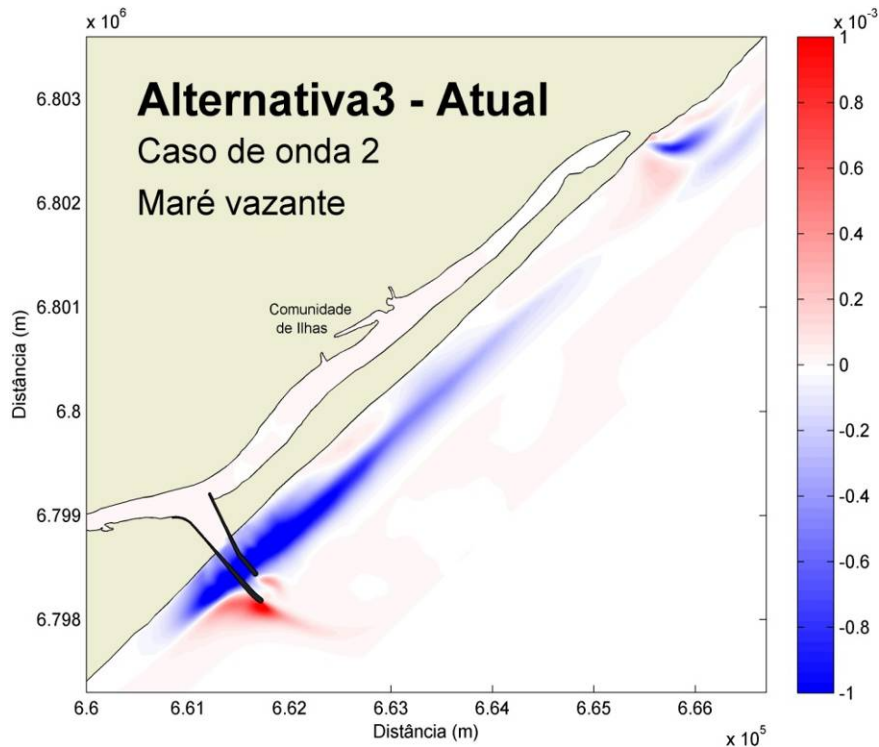


Figura 83: Mudanças relativas no transporte de sedimentos para a Alternativa 3 com relação ao cenário atual, durante o caso de ondas 2, na maré vazante. Verifica-se uma significativa diminuição no transporte próximo à obra de fixação e na antiga desembocadura, que chegou a $0,001 \text{ m}^3/\text{m/s}$, e observa-se um aumento do transporte em frente à obra de $0,0008 \text{ m}^3/\text{m/s}$. A escala de cores representa a diferença de magnitude do transporte de sedimentos, em $\text{m}^3/\text{m/s}$.

Análise de Impactos na Morfologia

O impacto da obra de fixação do canal do Rio Araranguá na morfologia foi analisado para o período correspondente a 1 e 3 anos após a implementação de cada alternativa. Processos morfológicos de maneira geral ocorrem em escalas de tempo maiores que processos de propagação de ondas, hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos. Simular um ano ou três anos utilizando séries temporais dos parâmetros de entrada do modelo (*e.g.* ondas, marés), mesmo tendo à disposição os melhores computadores disponíveis no mercado, uma vez que o tempo necessário para o processamento torna o trabalho de modelagem numérica morfodinâmica inviável nesta escala. A solução encontrada é de reduzir os dados de entrada no modelo e utilizar fatores de aceleração de morfologia. Esta metodologia é largamente empregada em estudos de modelagem numérica de morfologia em todo o mundo, gerando resultados coerentes com os padrões morfodinâmicos observados no ambiente.

Os casos de ondas da série temporal de dez anos disponível para este estudo foram agrupados criteriosamente em 12 classes. Neste agrupamento, inicialmente foram selecionados os casos de ondas com direção de aproximação entre 45 e 225 graus, ou seja, ondas que se propagam em direção a praia e que têm importância nos processos morfológicos. Este grupo de ondas foi dividido em classes de alturas e direções de modo que cada classe possui o mesmo valor de fluxo de energia acumulado, que é função da altura e período das ondas da classe e da frequências de ocorrência da classe ao longo da série temporal (Figura 84).

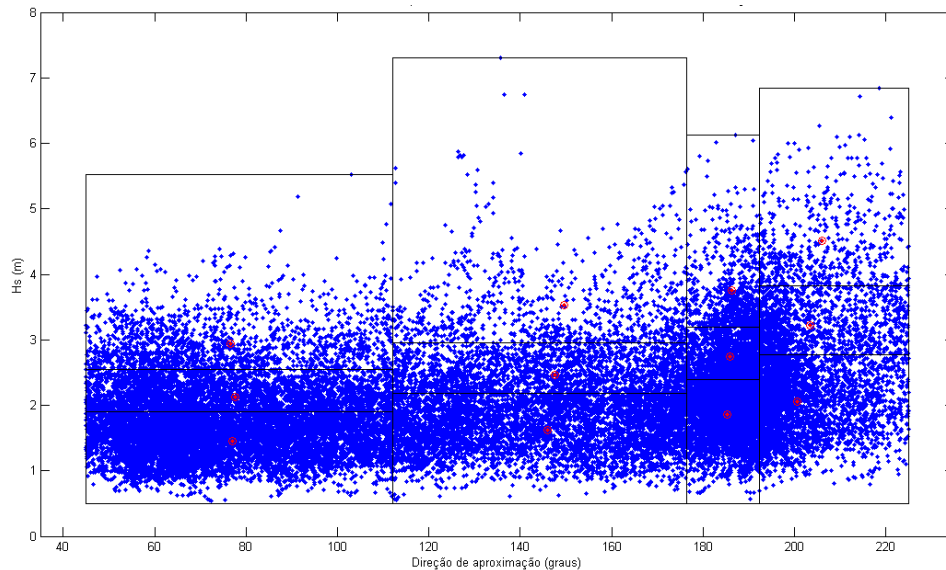


Figura 84: 12 classes (linhas pretas) e casos de ondas representativos (pontos vermelhos) selecionados do clima de ondas (pontos azuis) utilizando o método do fluxo de energia.

Este método faz com que “áreas” do clima de ondas que possuem mais energia acumulada ao longo do tempo sejam divididas em classes menores, sendo mais bem representadas no modelo.

Os casos de ondas representativos (Tabela 2) das classes são simulados e o efeito morfológico de cada caso é ponderado de acordo com a frequências de ocorrência da classe que ele representa.

Nas simulações foi considerada a vazão média do rio Araranguá de $42 \text{ m}^3/\text{s}$. A série temporal de maré gerada pelas constantes harmônicas foi reduzida a uma componente semidiurna com a amplitude de maré média. Além disso, foram realizadas simulações com a vazão extrema do rio Araranguá, de $800 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabela 2: Casos de ondas representativos selecionados pelo método do fluxo de energia.

CASO	Hs (m)	Tp (s)	Direção (°)	Frequência de ocorrência (dias/ano)
1	1,86	9,7	185,4	35,3
2	3,23	9,3	203,5	12,1
3	2,74	10,7	186,0	14,8
4	2,46	9,0	147,5	20,5
5	3,75	11,2	186,3	7,4
6	2,13	7,5	77,7	32,7
7	4,51	10,0	206,1	5,6
8	1,45	6,9	77,1	77,9
9	3,53	10,0	149,7	8,9
10	2,06	8,3	200,6	33,2
11	2,94	7,8	76,7	16,1
12	1,63	8,3	145,9	50,4

A Figura 85 apresenta os padrões de erosão/sedimentação na área de estudo (Cenário Atual), após um ano de simulação.

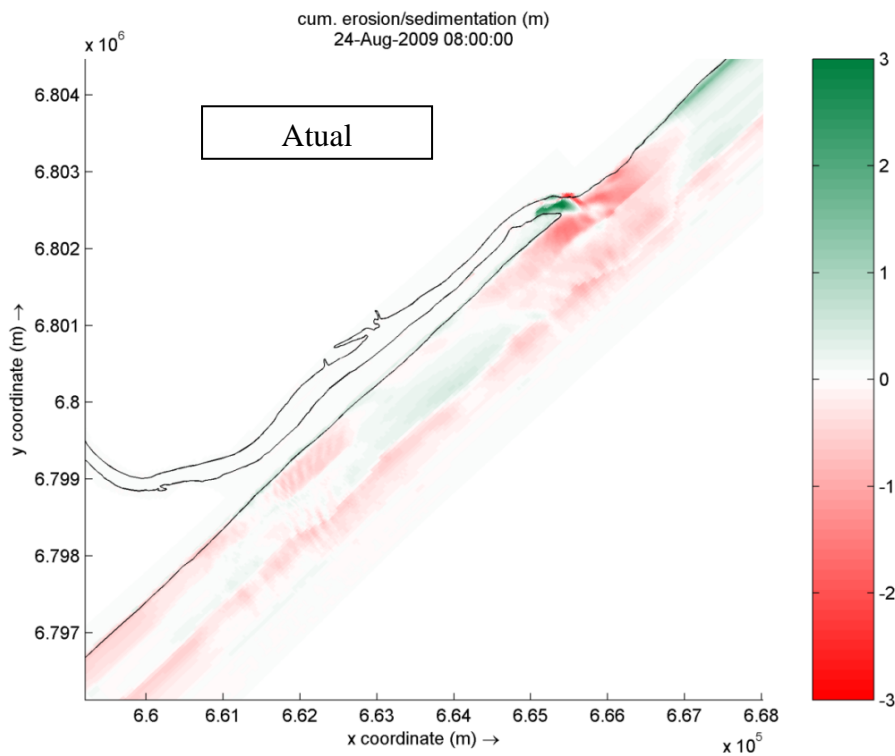


Figura 85: Erosão e deposição na área de estudo após 1 ano. Cenário atual. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

Na Figura 85 pode-se observar que após um ano de simulação a parte interna do canal se manteve morfologicamente estável, assim como a praia, que apresenta basicamente ajustes de perfil ao longo da extensão. A região mais dinâmica morfologicamente é a desembocadura. O padrão de deposição na margem sudoeste e erosão da margem nordeste, e conseqüente migração do canal para nordeste, condiz com o observado no ambiente indicando que o modelo numérico esta representando adequadamente os padrões de mudança morfológica observados na área de estudo. A erosão do banco de maré vazante pode ser explicada pela ausência de eventos extremos de descarga fluvial, sendo que no modelo foi utilizado o valor médio.

A Figura 86 é o resultado morfológico da simulação de um período de dois dias de vazão fluvial extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$).

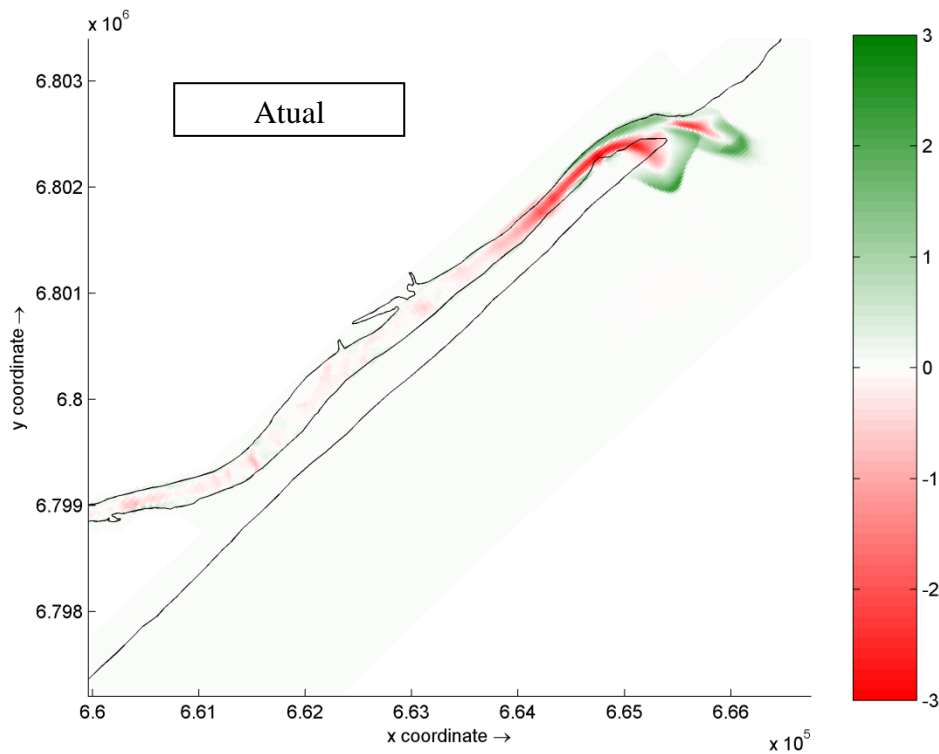


Figura 86: Efeito na morfologia (erosão/deposição) de um evento de vazão extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) durante 2 dias. Cenário Atual. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

Como pode-se observar, eventos extremos de vazão fluvial transportam sedimentos da parte protegida do canal para a parte externa, depositando um banco em frente a desembocadura. É observado também um alargamento da desembocadura, havendo erosão em ambas as

margens. Eventos extremos de vazão como o simulado mostram-se importantes para a manutenção da largura e área da secção transversal do canal protegido.

Na Figura 87 é apresentado o resultado de erosão e deposição após 1 ano de simulação para o cenário Alternativa 1.

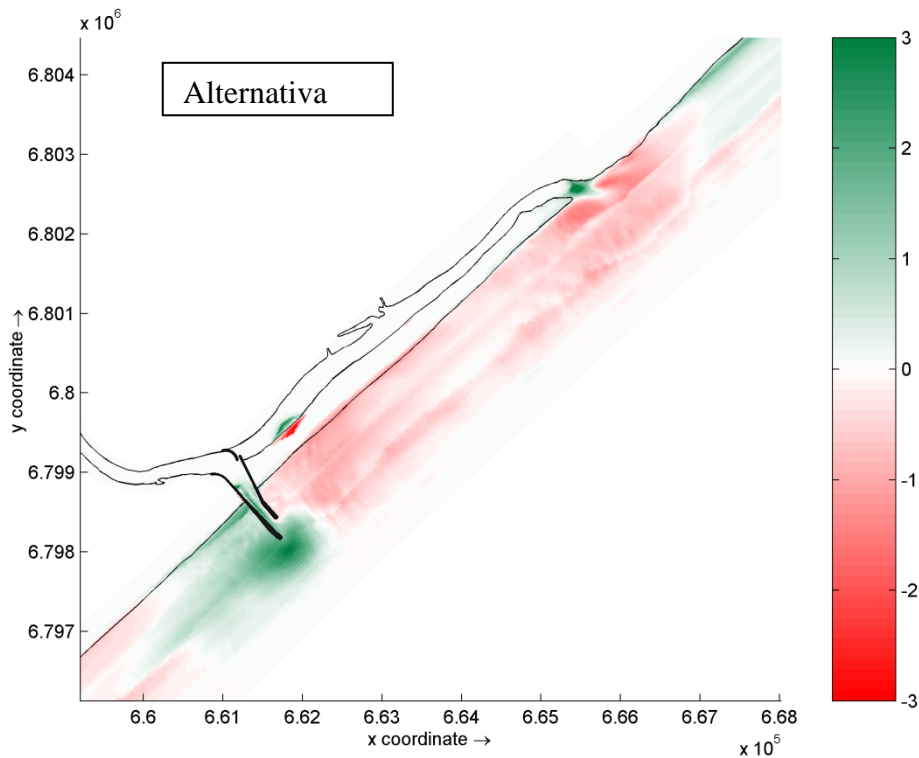


Figura 87: Erosão e deposição na área de estudo após 1 ano, Alternativa 1. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

Após um ano de simulação a desembocadura antiga encontra-se fechada devido a intensa deposição sobre o canal. Com relação a obra observa-se deposição no lado sudoeste e em frente a nova desembocadura, deposição no interior do canal fixado e erosão praial no lado nordeste da obra. Para facilitar a visualização do impacto da obra na morfologia da praia foi gerada a diferença de variações de morfologia entre o resultado da Alternativa 1 e o resultado do Cenário Atual (Figura 88).

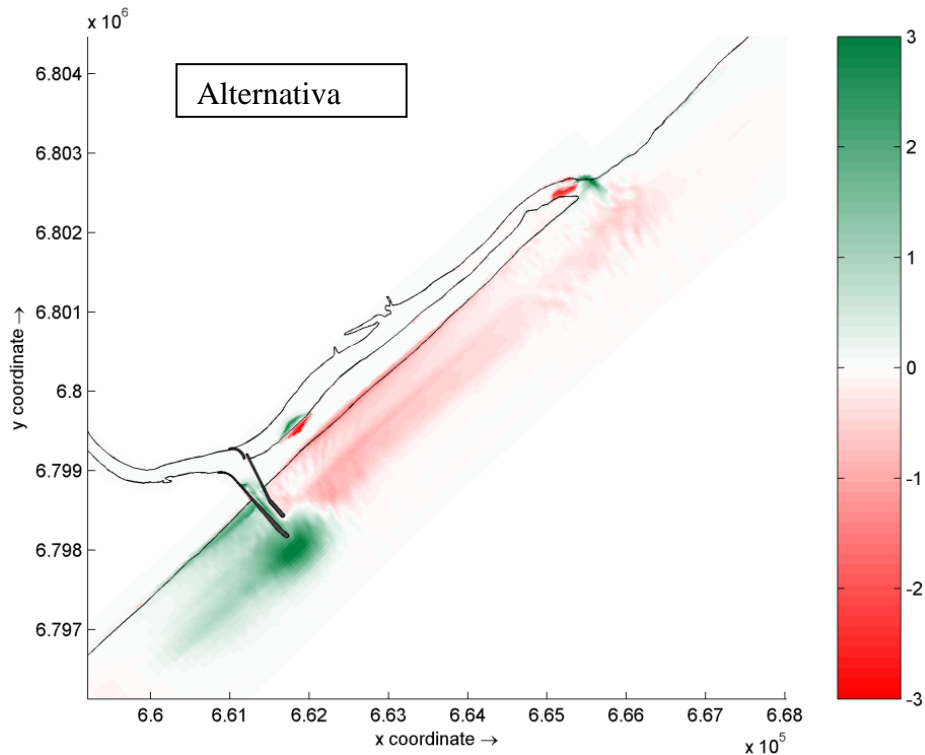


Figura 88: Mudança relativa de erosão e deposição entre o Cenário Alternativa 1 e o Cenário Atual para 1 ano de simulação. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

Na Figura 88 fica clara a influência da obra na morfologia da praia para um ano de simulação. A interrupção da deriva litorânea de sedimentos de sudoeste para nordeste resulta em deposição no lado sudoeste dos molhes e erosão no lado nordeste dos molhes, desde a região adjacente a obra até aproximadamente a posição da desembocadura natural (cerca de 5,5 quilômetros). Nota-se inclusive tendência de acreção no lado sudoeste próximo aos molhes e retração na linha de costa no lado nordeste.

Foi simulado um evento de vazão extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) ocorrendo durante dois dias também para os cenários das alternativas. O resultado morfológico da Alternativa 1 é apresentado na Figura 89.

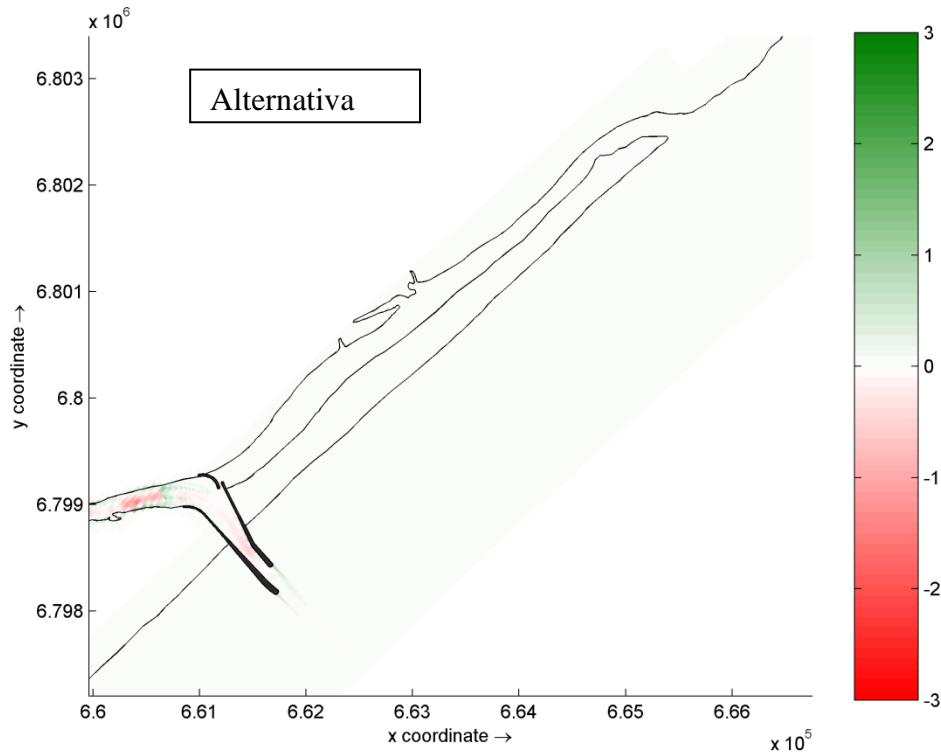


Figura 89: Efeito na morfologia (erosão/deposição) de um evento de vazão extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) durante 2 dias, Alternativa 1. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

A influência deste evento na morfologia do cenário Alternativa 1 foi reduzida em relação ao resultado apresentado pelo Cenário Atual (Figura 86). Não foram observados valores intensos de erosão e sedimentação ao longo da área de estudo. Esta estabilidade é positiva para o novo canal. Porém, a ausência de manutenção da largura e área da secção transversal da parte protegida do canal antigo (observada para o Cenário Atual, na Figura 86), pode resultar em problemas de assoreamento desta região.

Na Figura 90 é apresentado o resultado de erosão e deposição após 1 ano de simulação para o cenário da Alternativa 2.

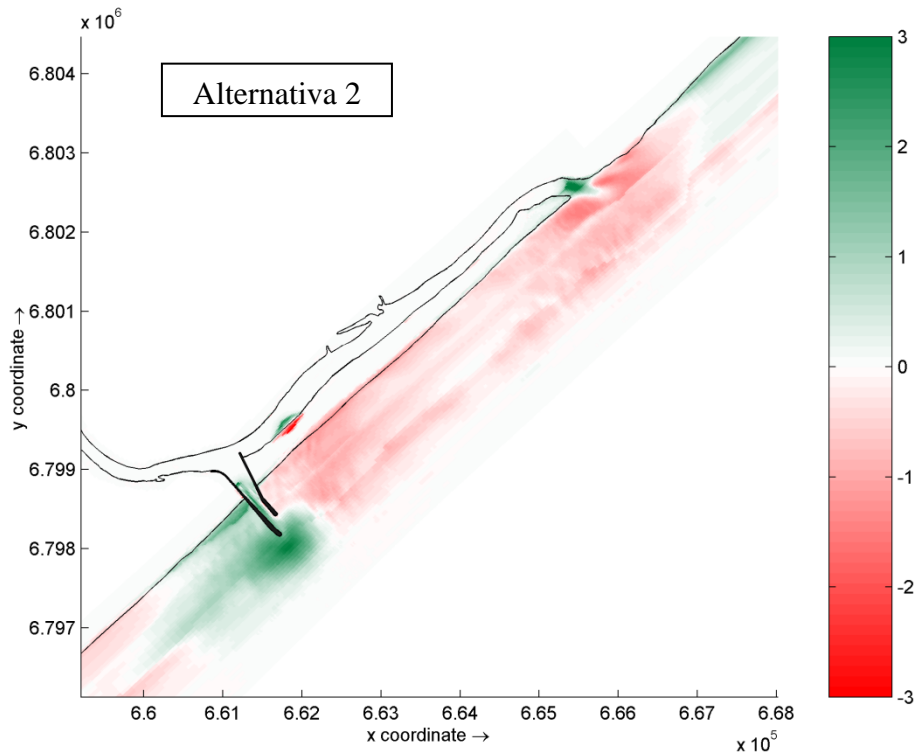


Figura 90: Erosão e deposição na área de estudo após 1 ano, Alternativa 2. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

Os resultados obtidos para a simulação com a Alternativa 2 foram praticamente os mesmos verificados para a simulação com a Alternativa 1. Foi verificado que após 1 ano de simulação houve grande deposição na antiga desembocadura, ocasionando o fechamento da mesma. Observa-se também deposição no lado sudeste, em frente e no interior da nova desembocadura, e erosão no lado noroeste da obra. Uma figura da diferença das variações da morfologia entre o resultado da Alternativa 2 e do Cenário Atual foi gerada, visando uma melhor visualização do impacto da obra na morfologia da praia (Figura 91).

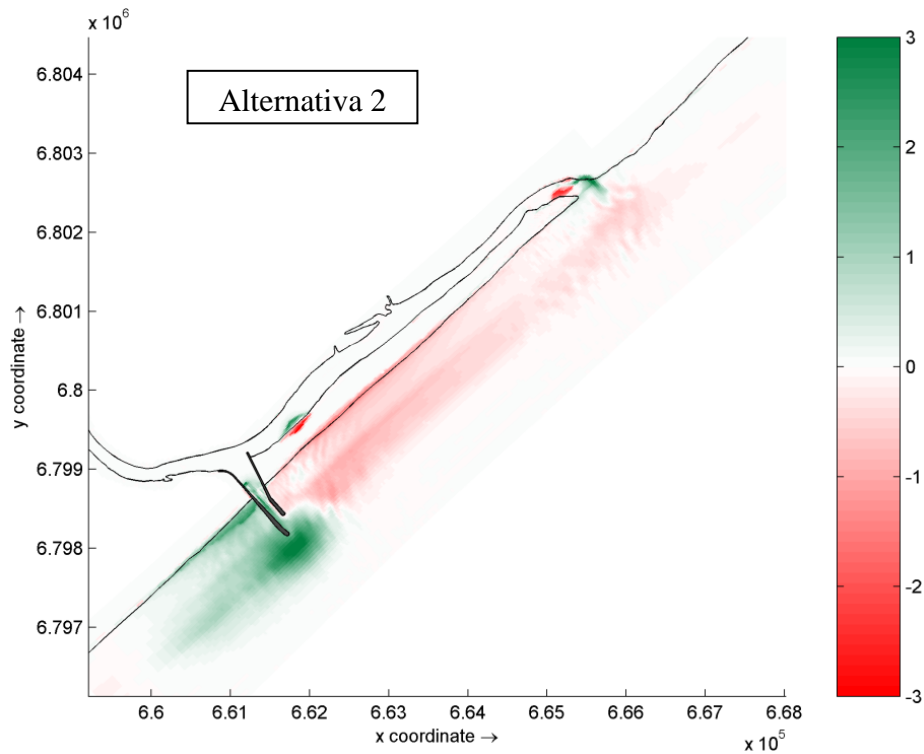


Figura 91: Mudança relativa de erosão e deposição entre o cenário Alternativa 2 e o Cenário Atual para 1 ano de simulação. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

As mudanças relativas de erosão e deposição após 1 ano de simulação foram as mesmas encontradas para a Alternativa 1, sendo verificada uma erosão a nordeste da obra de fixação, ocasionando uma retração da linha de costa no local. A deposição repete-se a sudeste, em frente e dentro da obra de fixação, ocasionada pela interrupção do transporte longitudinal de sedimentos causado pela obra (Figura 91).

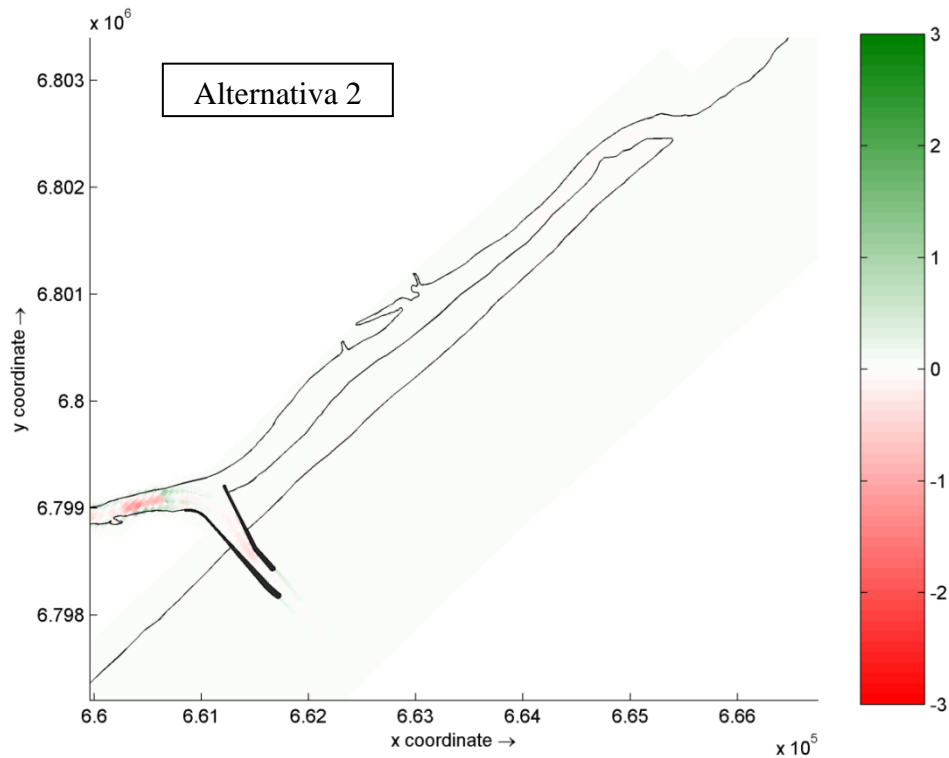


Figura 92: Efeito na morfologia (erosão/deposição) de um evento de vazão extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) durante 2 dias. Alternativa 2. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

Na Figura 92 verifica-se que o evento de vazão extrema teve pequena influência na morfologia da Alternativa 2 quando comparado com o Cenário Atual. As taxas de erosão e sedimentação foram muito baixas, e isso torna-se um ponto positivo para a obra costeira.

As próximas três figuras (Figura 93 a Figura 95) apresentam os resultados de erosão e deposição para 1 ano de simulação para a Alternativa 3.

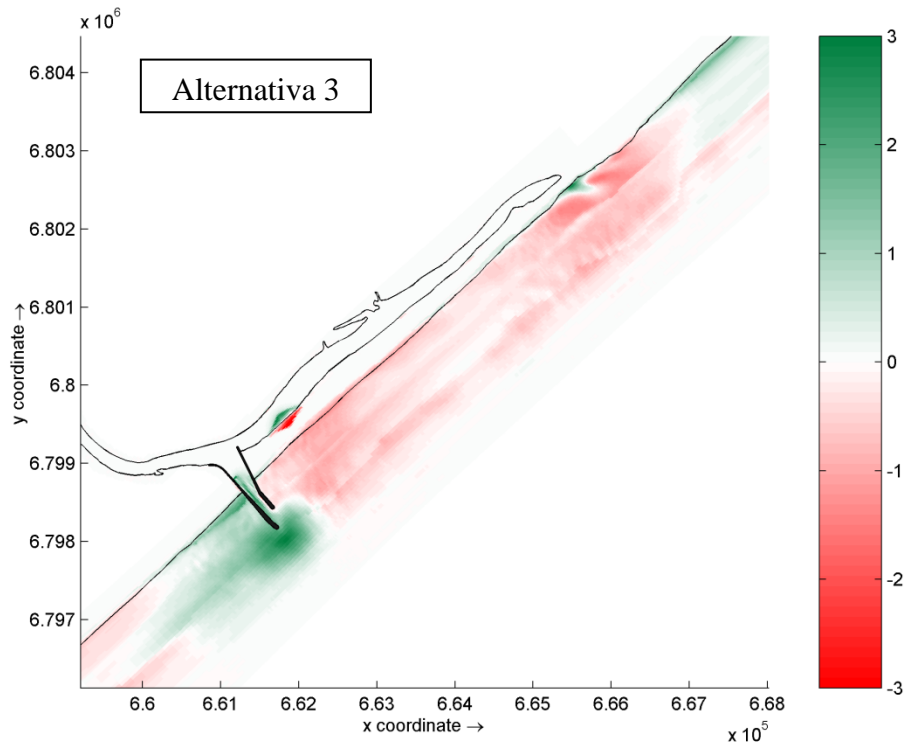


Figura 93: Erosão e deposição na área de estudo após 1 ano, Alternativa 3. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

Nesta simulação, verifica-se que o padrão de erosão/deposição é o mesmo encontrado para as Alternativas 1 e 2. Portanto, para esta alternativa, após 1 ano de simulação, houve deposição no lado sudoeste, em frente e no interior da obra de fixação, e erosão no lado sudeste da obra, ocasionando uma retração da linha de costa no local.

O impacto da obra na morfologia da praia pode ser verificado na Figura 94, que apresenta as mudanças da morfologia da Alternativa 3 com relação ao Cenário Atual.

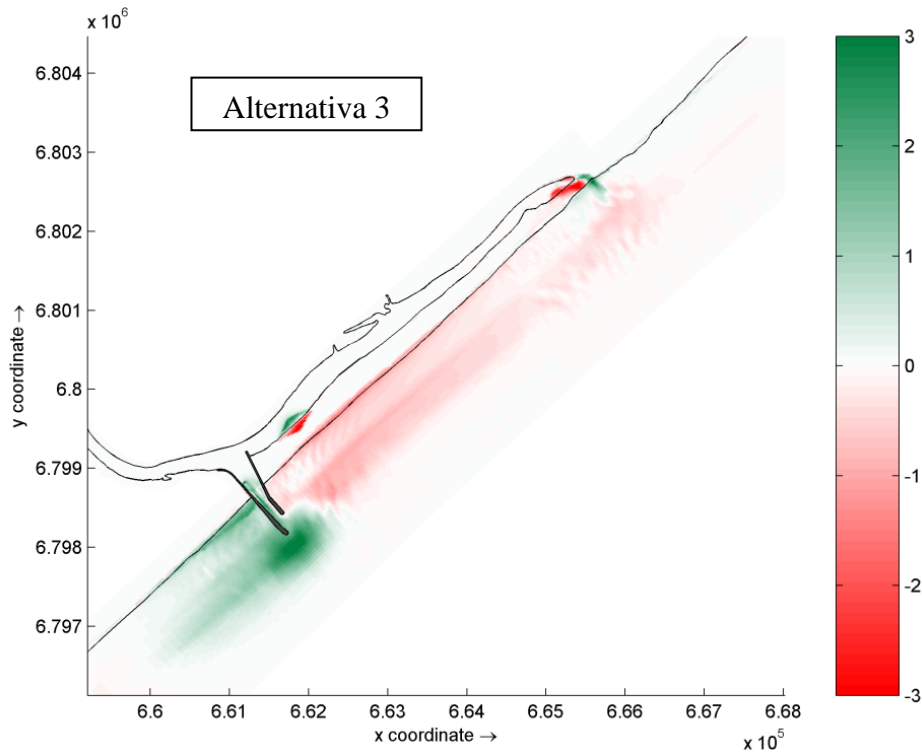


Figura 94: Mudança relativa de erosão e deposição entre o cenário Alternativa 3 e o Cenário Atual para 1 ano de simulação. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

Na Alternativa 3 as mudanças relativas de erosão/deposição com relação ao Cenário Atual foram as mesmas observadas para as Alternativas 1 e 2, com erosão a nordeste da obra de fixação e conseqüente erosão da linha de costa, e deposição a sudeste, em frente e no interior da obra de fixação (Figura 94).

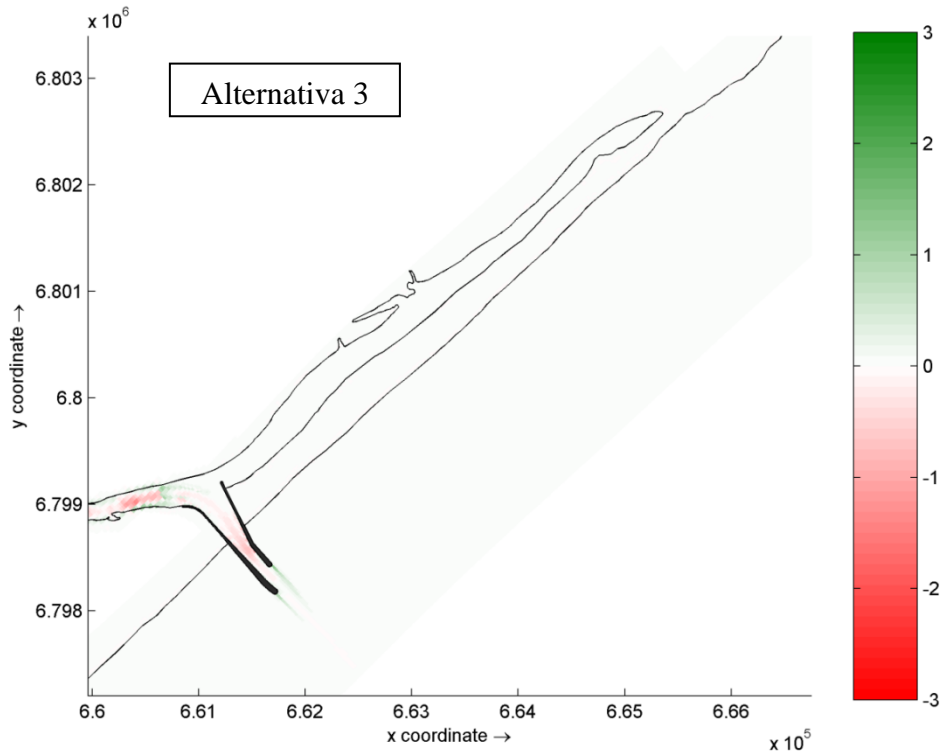


Figura 95: Efeito na morfologia (erosão/deposição) de um evento de vazão extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) durante 2 dias, Alternativa 3. A escala de cores representam as mudanças na morfologia em metros.

A Figura 95 apresenta as variações causadas na morfologia após um evento de vazão extrema. No caso da Alternativa 3, da mesma forma que para as Alternativas 1 e 2, as taxas de erosão/sedimentação foram muito baixas, indicando que o evento extremo teve pouca influência na morfologia.

As Figura 96, Figura 97 e Figura 98 apresentam, respectivamente, os resultados das simulações da batimetria inicial, da batimetria após 1 ano e após 3 anos, para a Alternativa 1.

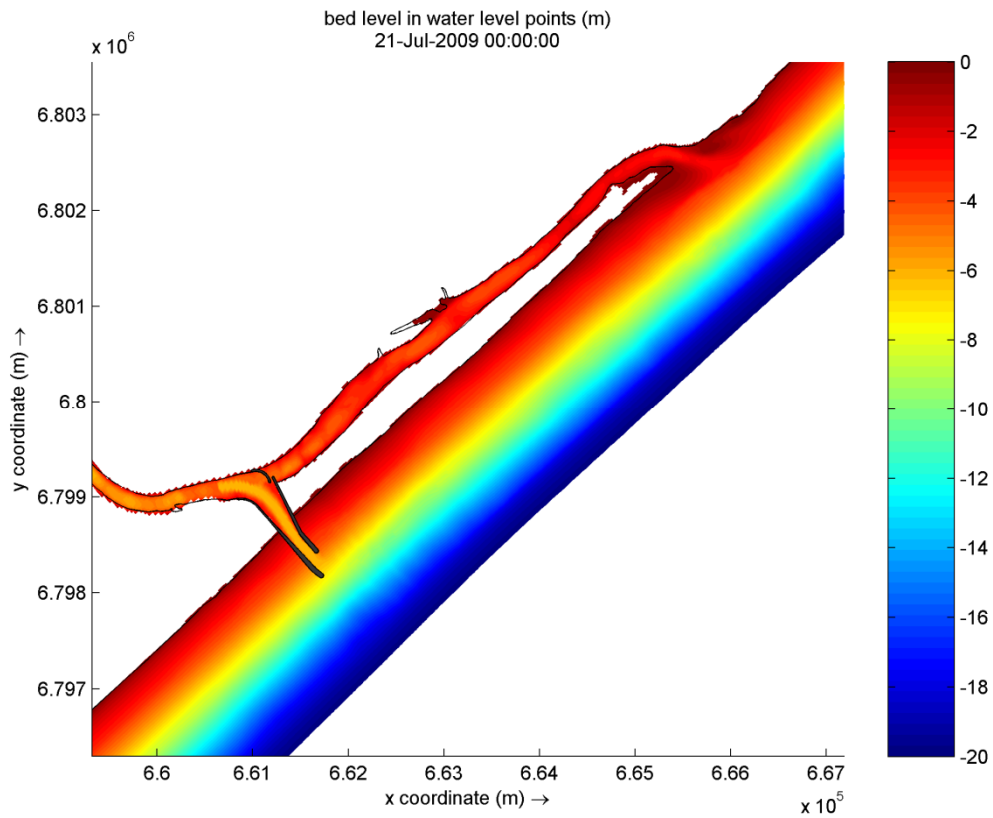


Figura 96: Batimetria inicial da Alternativa 1.

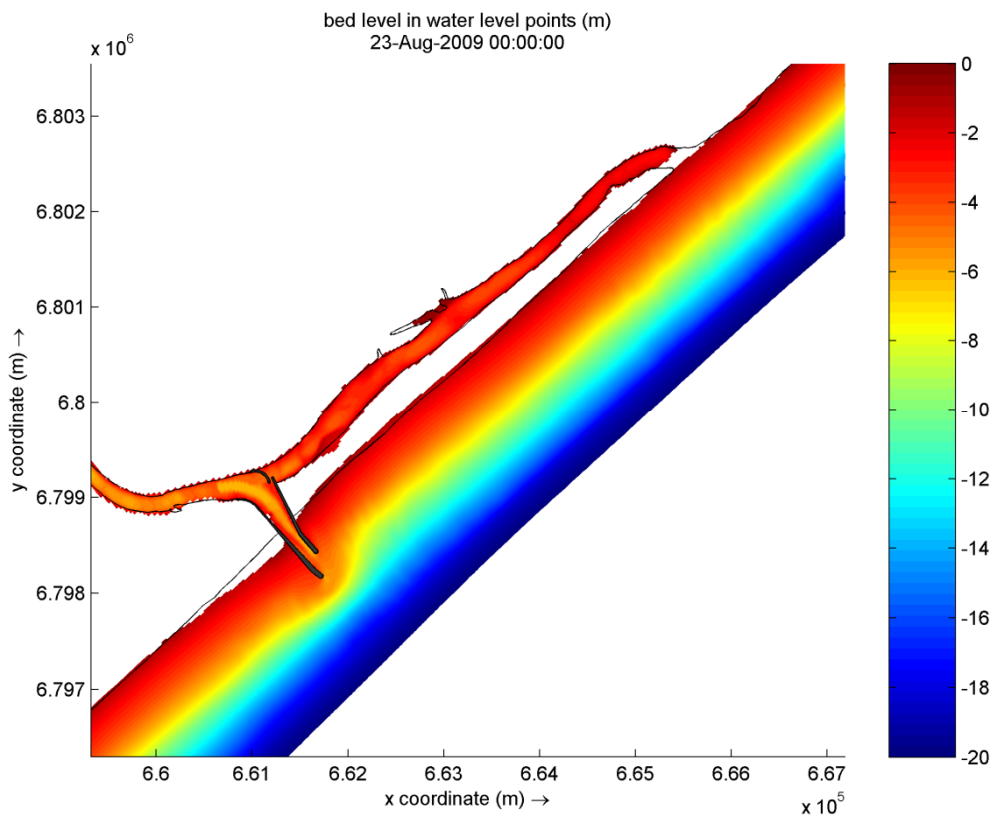


Figura 97: Batimetria (m) da Alternativa 1 simulada para 1 ano.

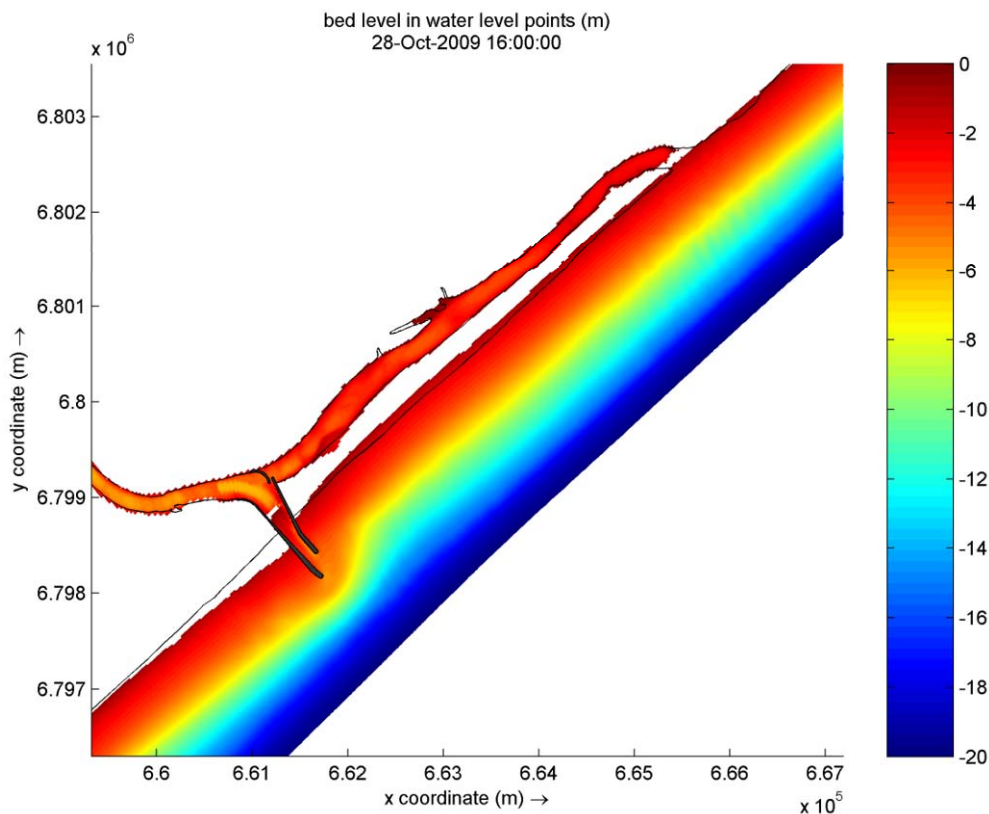


Figura 98: Batimetria (m) da Alternativa 1 simulada para 3 anos.

Verifica-se que após 1 ano da implementação dos molhes há sedimentação ao sul do molhe e erosão ao norte do mesmo, em decorrência da interrupção que o molhe causada pela corrente longitudinal predominante (com sentido SW-NE). Observa-se também uma erosão da linha costa à norte dos molhes, ocasionando retração da mesma. Também se pode observar que após 1 ano a antiga desembocadura encontra-se totalmente assoreada (Figura 97). Após 3 anos da implementação dos molhes observa-se uma intensificação nos padrões de sedimentação, erosão e retração da linha de costa. O grande acúmulo de sedimentos ao sul do molhe acaba gerando um transpasse de sedimentos para dentro do canal, causando uma sedimentação dentro do mesmo, evidenciada por profundidades que chegam a ser menores que 2 metros (Figura 98).

As Figura 99, Figura 100 e Figura 101 apresentam os resultados das simulações de batimetria inicial, após 1 ano e após 3 anos, respectivamente, para a Alternativa 2.

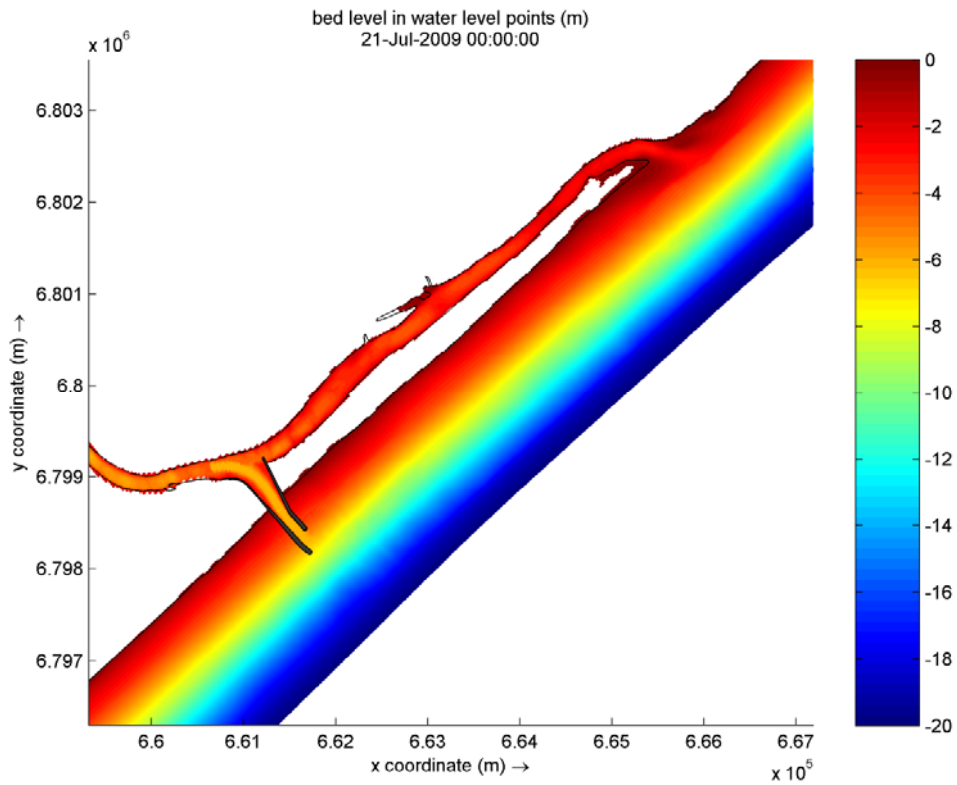


Figura 99: Batimetria (m) inicial da Alternativa 2.

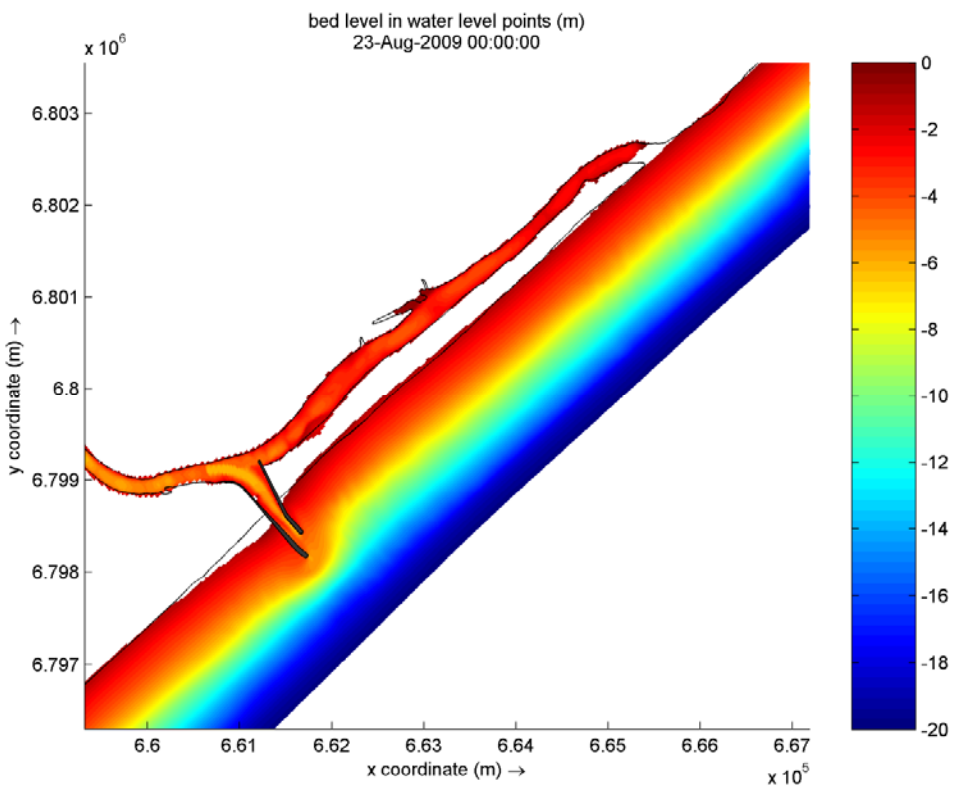


Figura 100: Batimetria (m) da Alternativa 2 simulada para 1 ano.

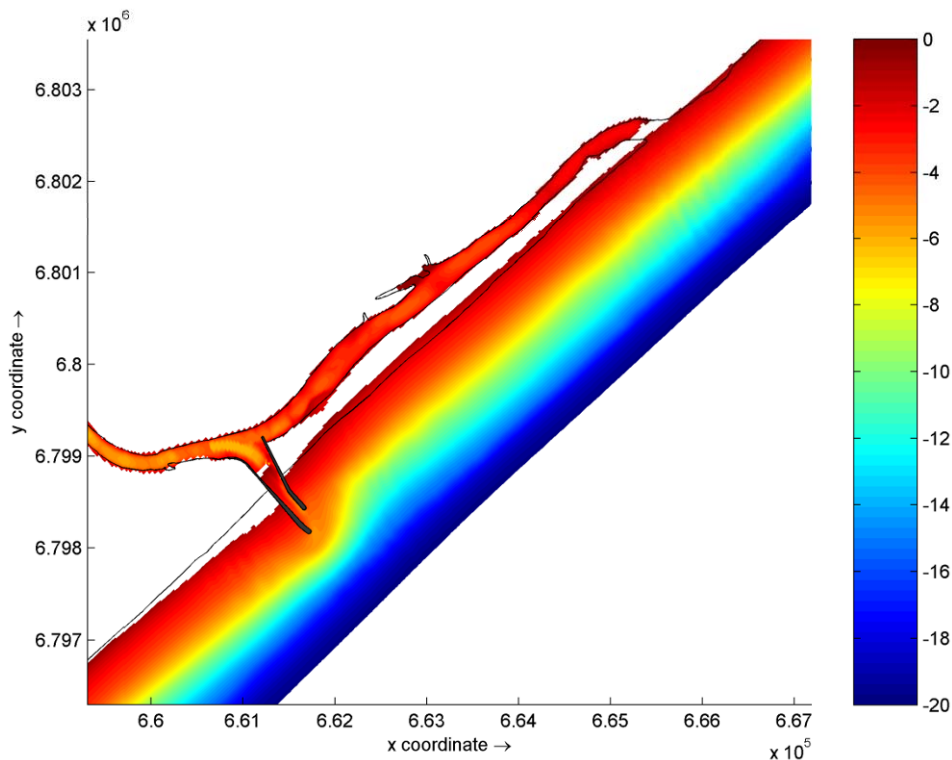


Figura 101: Batimetria (m) da Alternativa 2 simulada para 3 anos.

Pode-se observar que o padrão de comportamento da morfologia de fundo foi muito semelhante ao observado para a Alternativa 1, tanto na simulação de 1 ano como na simulação de 3 anos (Figura 100Figura 101). A antiga desembocadura apresenta-se completamente assoreada, enquanto que ao sul do molhe e dentro do canal observa-se deposição, e ao norte do mesmo observa-se erosão, com retração da linha de costa da barreira arenosa.

As Figura 102Figura 103Figura 104 apresentam, respectivamente, os resultados da batimetria inicial, e as simulações da batimetria para 1 e 3 anos para a Alternativa 3.

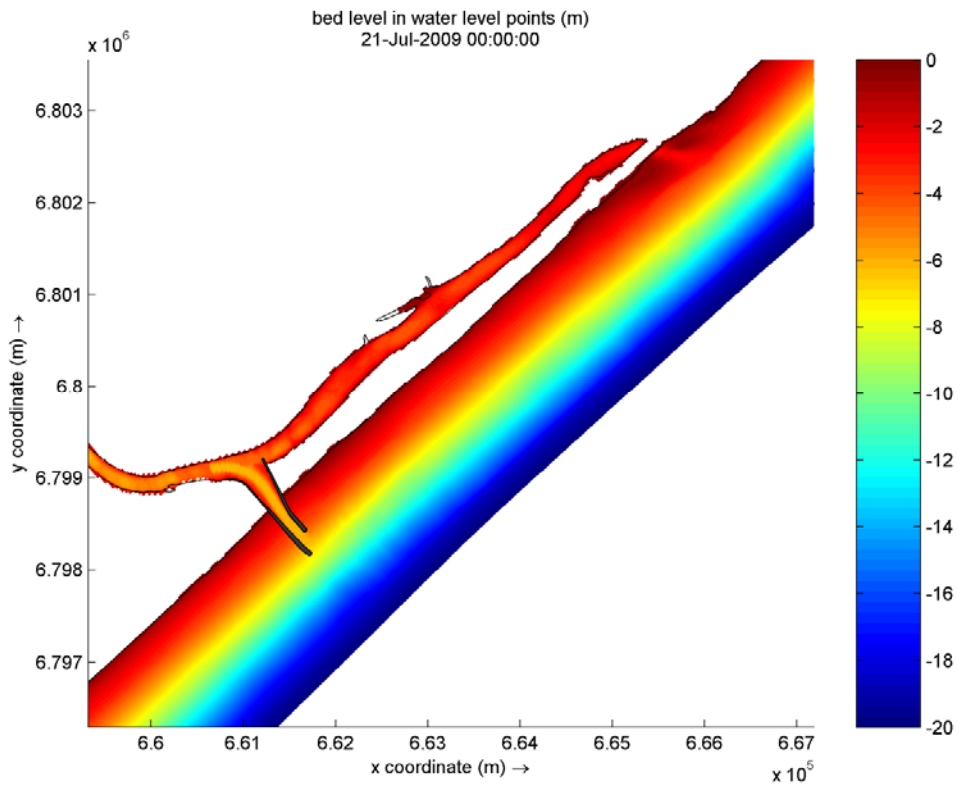


Figura 102: Batimetria (m) inicial da Alternativa 3.

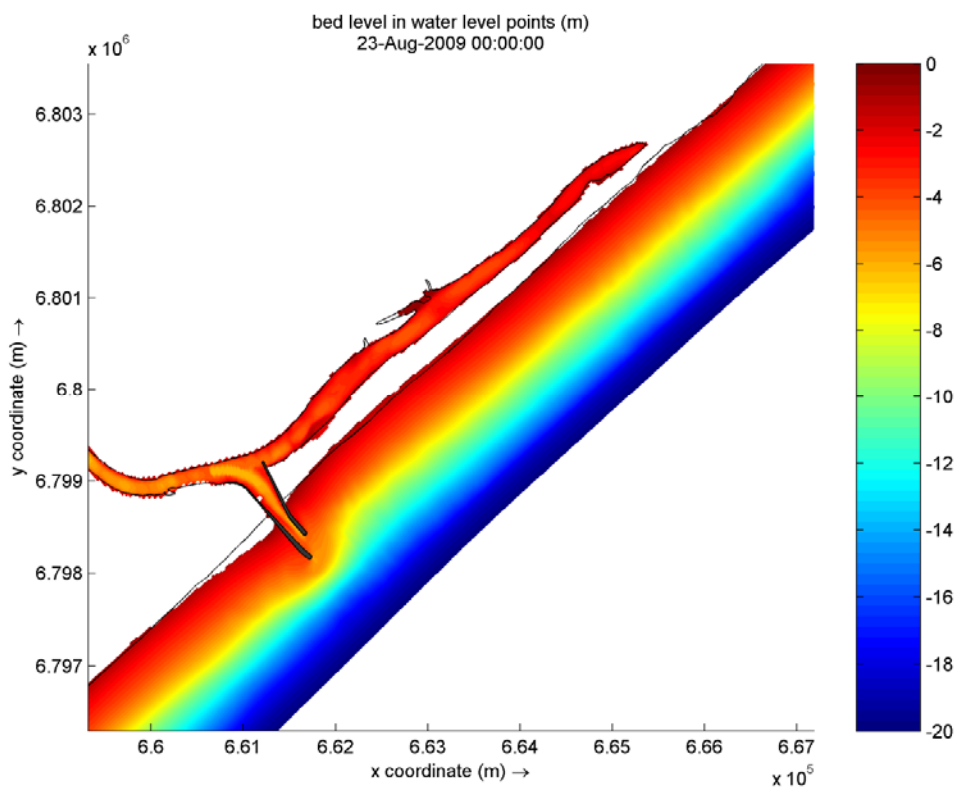


Figura 103: Batimetria (m) da Alternativa 3 simulada para 1 ano.

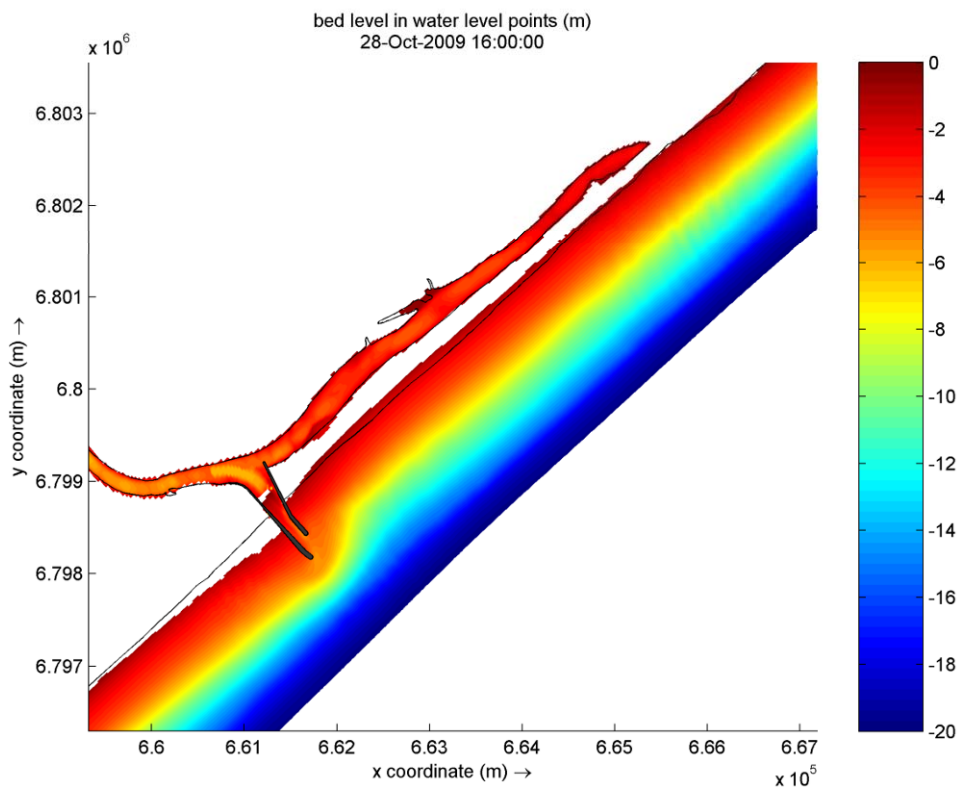


Figura 104: Batimetria (m) da Alternativa 3 simulada para 3 anos.

Observa-se que os resultados das simulações para 1 e 3 anos da Alternativa 3 foram similares aos das Alternativas 1 e 2, com erosão ao norte dos molhes e da barreira arenosa também ao norte, causando retração da linha de costa, e deposição ao sul dos molhes e dentro do novo canal (Figura 103Figura 104).

É importante ressaltar que os resultados observados nas Figura 96 aFigura 104 não são quantitativos, e sim qualitativos. Eles fornecem apenas uma estimativa se poderá estar ocorrendo erosão ou deposição em decorrência da obra de fixação, e não a quantidade de sedimentos que estaria depositando ou erodindo. Os resultados não são fornecidos de forma quantitativa devido a ausência de longa série de dados de mudanças morfológicas na praia que possibilitassem uma calibração quantitativa do módulo numérico de simulações morfológicas do modelo Delft3D.

8. CÁLCULO DO POTENCIAL DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS AO LONGO DA PRAIA

Seleção dos Casos de Onda

A fim de quantificar a variância sazonal e interanual da magnitude de transporte de sedimentos ao longo da costa foram selecionados e propagados 70 casos de ondas representativos do clima de ondas da região. A metodologia de seleção destes casos representativos foi a mesma empregada na seleção dos casos de ondas das simulações de morfologia.

Inicialmente foram separados da série temporal total os casos de ondas com direções de propagação entre 25 e 225 graus, ondas com diferentes direções se propagam em direção a mar aberto, não sendo relevantes para processos costeiros. Na Figura 105 são apresentados os casos selecionados da série temporal de dados de ondas (pontos azuis), as 70 classes selecionadas (linhas) e os casos representativos de cada classe (pontos vermelhos).

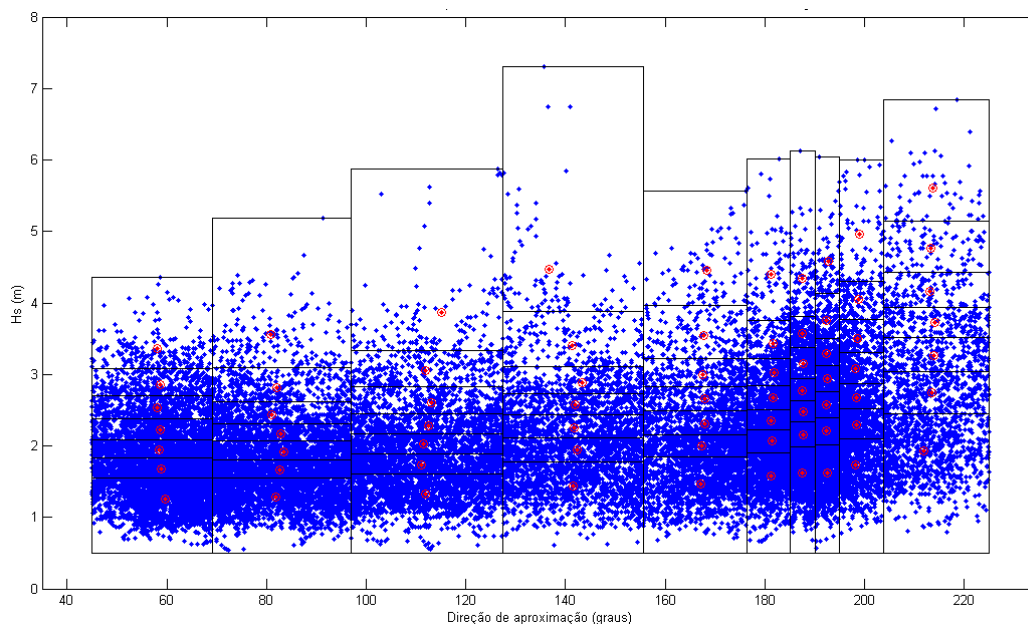


Figura 105: 70 classes e casos de ondas representativos selecionados usando o método do fluxo de energia.

A seleção das classes de ondas foi feita de modo que o somatório do fluxo de energia dos casos de onda encontrados dentro de cada classe seja aproximadamente o mesmo. Assim “regiões”



do clima de ondas que possuem maior energia (com maior importância para o transporte) possuem classes menores, sendo mais detalhadamente aplicadas no modelo.

A propagação dos 70 casos de ondas selecionadas foi feita a partir de águas profundas, desde a quebra da plataforma continental, até a área de estudo.

Transporte de Sedimentos ao Longo da Costa

Cada caso de onda propagado gerou um campo espacial de transporte de sedimentos ao longo do domínio de modelagem. Este campo foi posteriormente ponderado pela frequência de ocorrência das classes associadas a cada caso. A soma vetorial dos campos ponderados pela frequência gera a distribuição do transporte total ocorrido ao longo do período analisado. A frequência de ocorrência de cada classe de onda varia ao longo dos anos e meses, variando da mesma forma o campo final de transporte resultante de cada ano e mês.

Dos campos de transporte de sedimentos foi integrado um perfil transversal a praia localizado na região onde se pretende instalar a obra, sendo obtido o valor total de transporte ao longo do perfil para os períodos analisados. O transporte residual ao longo da costa para os onze anos analisados é de aproximadamente 550.000 m³/ano, de sudoeste para nordeste. Este valor é próximo do valor encontrado pelo INPH (2003), de 467.010 m³/ano.

A variação sazonal e interanual do transporte pode ser observada nas Figura 106 e Figura 107.

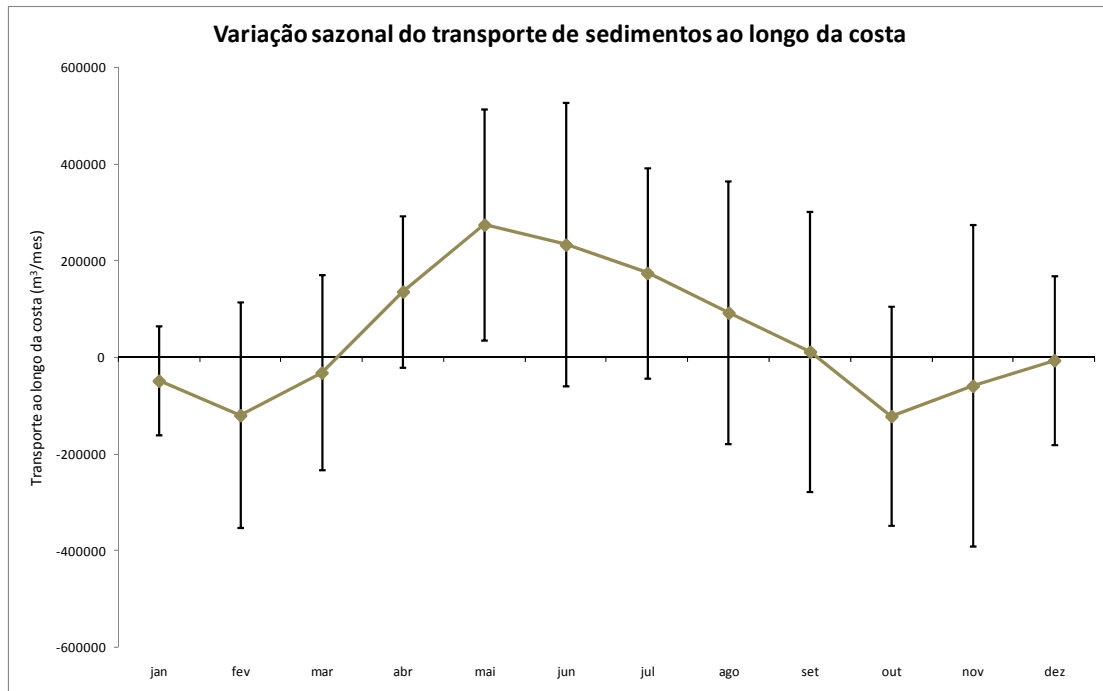


Figura 106: Variação sazonal do transporte residual de sedimentos ao longo da costa para o período de 1998 a 2008. Valores positivos representam transporte de SW para NE; valores negativos representam transporte de NE para SW.

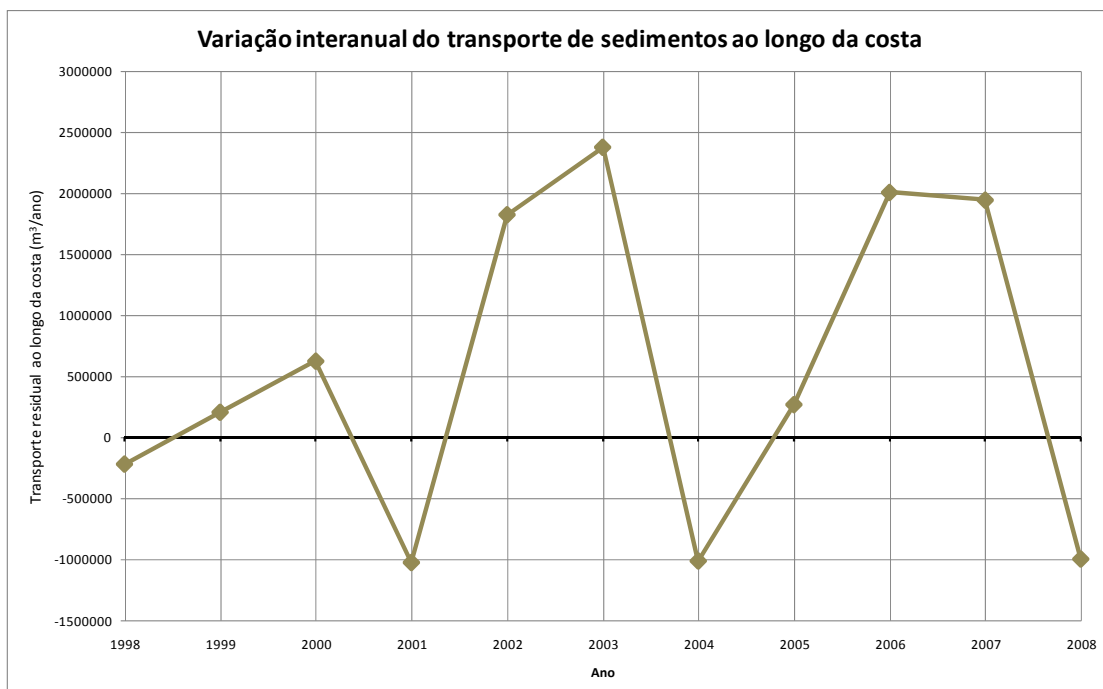


Figura 107: Variação interanual do transporte residual de sedimentos ao longo da costa para o período de 1998 a 2008. Valores positivos representam transporte de SW para NE; valores negativos representam transporte de NE para SW.

A oscilação do transporte ao longo dos meses do ano e ao longo dos anos tem relação direta com variações nas características das ondas nos períodos analisados. Na Figura 106 fica evidente a predominância de transporte no sentido de SW para NE, explicada pela maior intensidade dos sistemas frontais que passam pela região durante o outono e inverno, com ventos e ondas intensos vindos do quadrante sul. Durante a primavera e o verão, é observada uma redução da magnitude do transporte residual de sedimentos ao longo da costa e eventual inversão do sentido da deriva. Este padrão, também relacionado ao clima de ondas, é explicado pela redução da intensidade dos sistemas frontais, aumentando a influência das ondas vindas de leste/nordeste. A frequência e intensidade dos sistemas frontais, também varia entre os anos, podendo-se observar marcantes variações interanuais do transporte residual de sedimentos.

A oscilação interanual do transporte de sedimentos (Figura 107) é marcante, havendo inclusive inversão da deriva residual de sedimentos nos anos de 1998, 2001, 2004 e 2008. Enquanto o ano de 2003 apresenta um valor extremo de transporte residual ao longo da costa (cerca de 2.600.000 m³/ano). Esta variação é associada as variabilidades das características do clima de ondas da região.

Estas simulações indicam que o transporte líquido de sedimentos ao longo da costa é de SW-NE (sul para norte), podendo haver inversões anuais ou até mesmo sazonais. De acordo com resultados destas simulações recomenda-se o transpasse de sedimentos do sul dos molhes para o norte dos molhes, afim de minimizar ou eliminar efeitos negativos de erosão nas praias ao norte dos molhes (Barra Velha e Rincão). O transporte líquido de sedimentos durante um período de 10 anos é de 550.000 m³/ano, no entanto com alta variabilidade inter-annual (Figura 107). Portanto recomenda-se o transpasse de aproximadamente 500.000 m³/ano +/- 25% de acordo com variabilidade annual no clima de ondas. Este transpasse deve ser preferencialmente executado logo após os meses de verão (Março) e se estender até o início do inverno (Maio). Os sedimentos transpassados devem ser depositados à uma distância de pelo menos 800 m à NE dos molhes, para garantir seu transporte ao longo da costa e evitar que os mesmos retornem ao canal de navegação.

9. CÁLCULO DAS TAXAS DE PROGRADAÇÃO DA LINHA DE COSTA INTERNA (DE FRENTE PARA O RIO) DEVIDO AO EFEITO EÓLICO

Silva (2009) realizou estudo da estabilidade de três desembocaduras do centro sul de Santa Catarina. Seu trabalho envolveu basicamente a análise de fotografias aéreas e imagens de satélite, análise geoespacial e interpretação morfológica. Uma das desembocaduras trabalhadas por Silva (2009) foi a do rio Araranguá, e os dados geoespaciais foram compilados para a elaboração deste documento.

Nas Figuras 99, 100 e 101 é apresentada a posição da linha de costa para os anos de 1938, 1957 e 1978, respectivamente. Estes dados geoespaciais foram obtidos através da digitalização de fotografias aéreas.

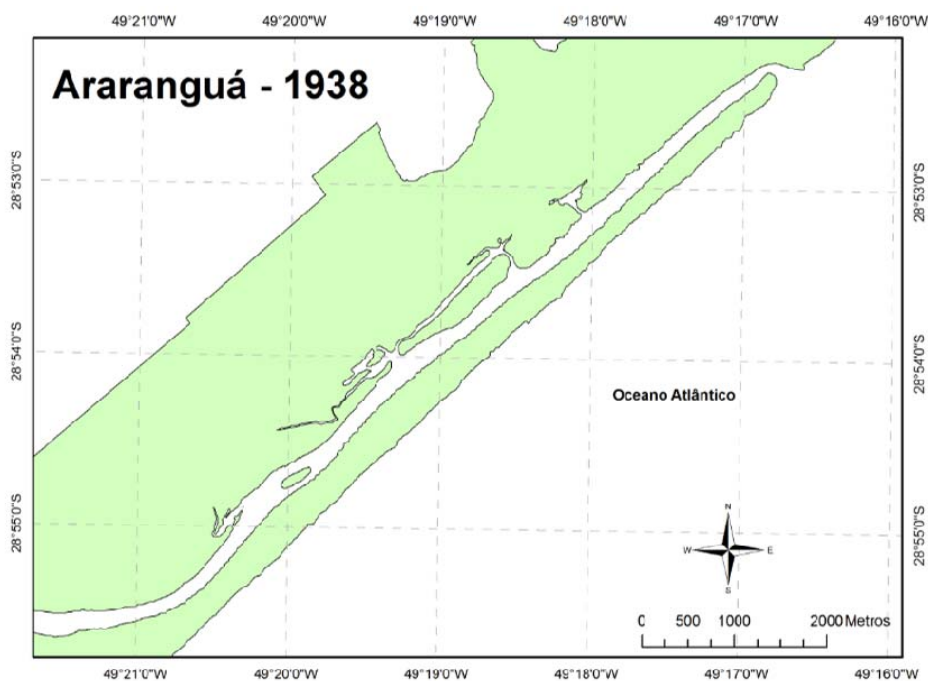


Figura 108: Contornos de terra da região da desembocadura do rio Araranguá em 1938. A área branca no canto superior esquerdo da imagem se encontra fora dos limites das fotografias aéreas utilizadas.

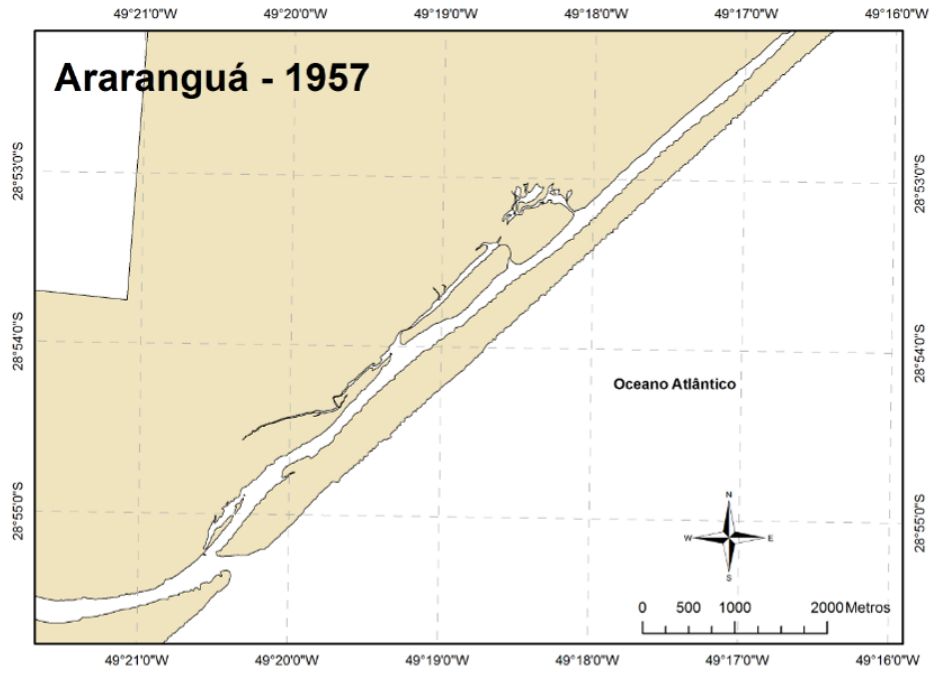


Figura 109: Contornos de terra da região da desembocadura do rio Araranguá em 1957. A área branca no canto superior esquerdo da imagem se encontra fora dos limites das fotografias aéreas utilizadas.

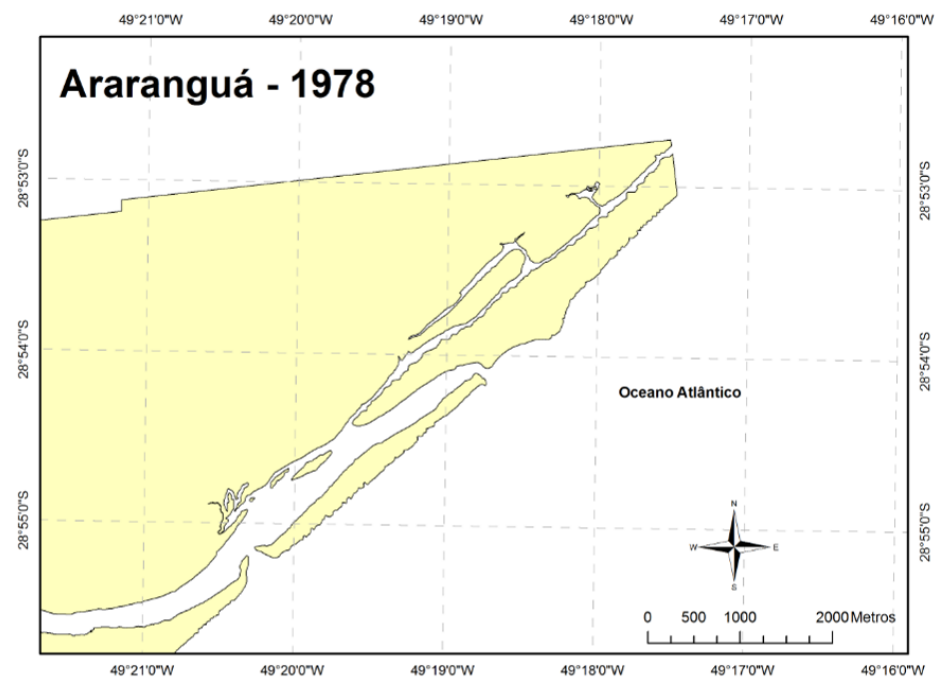


Figura 110: Contornos de terra da região da desembocadura do rio Araranguá em 1938. A área branca na parte superior da imagem deve ser desconsiderada pois se encontra fora dos limites das fotografias aéreas utilizadas.



Primeiramente pode-se observar nas figuras a intensa migração da desembocadura ao longo da costa, situada em diferentes posições ao longo dos anos. Em 1938 o canal paralelo a praia se estendia por cerca de 9 quilômetros. Na imagem de 1957 observa-se a abertura da desembocadura próximo ao início do canal, realizada por pescadores em 1952 (SILVA, 2003). Em 1978 constata-se a presença de duas desembocaduras.

Ao longo do período também pode-se observar a tendência de estreitamento do canal presente em 1938, o qual foi abandonado após a abertura da desembocadura em 1952. Com a sobreposição dos polígonos de costa este padrão de evolução morfológica fica evidente (Figura 111).

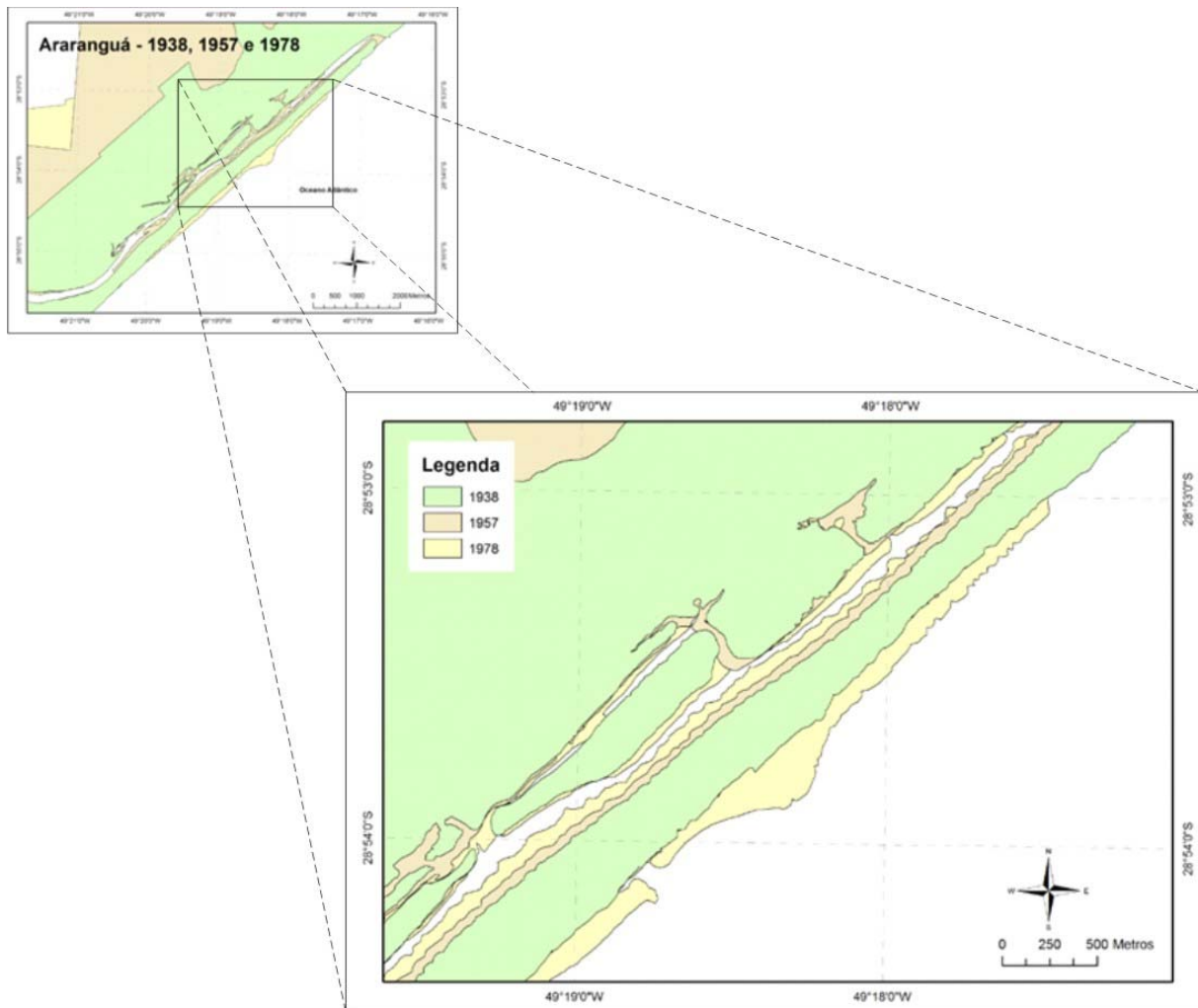


Figura 111: Evolução morfológica do canal abandonado do rio Araranguá.

O estreitamento do canal abandonado está relacionado ao transporte eólico de sedimentos da praia em direção ao continente e à atenuação das correntes após o rompimento da desembocadura a sudoeste. Após cessar a manutenção hidrodinâmica da área de secção transversal do canal abandonado o balanço de sedimentos no local passa a ser positivo, uma vez que a fonte eólica não é cortada.

A taxa média de progradação da linha de costa na parte protegida do canal foi determinada a partir da medição da progradação da linha de costa em diversos perfis transversais a barreira. O valor de progradação médio para a região foi de 105 metros. Tendo esta progradação ocorrido ao longo de 26 anos, a taxa de progradação média da linha de costa na parte protegida do canal abandonado é igual a 4,07 metros/ano.



As alternativas propostas neste trabalho resultam no isolamento hidrodinâmico da porção do canal atual localizada a nordeste da obra, semelhante ao que aconteceu com o canal presente em 1938 abandonado após o rompimento realizado em 1952.

Considerando a magnitude do transporte eólico atual semelhante a magnitude do intervalo de tempo entre 1952 e 1978, e que a área da secção transversal do canal atual é semelhante a área da secção transversal do canal de 1938, pode-se aplicar para as alternativas propostas a taxa de progradação média da linha de calculada com base nas fotografias aéreas.

A largura média da parte do canal localizada a nordeste da obra é de 211 metros. Com uma taxa de progradação média da linha de costa na parte protegida do canal igual a 4,07 metros/ano, espera-se que, caso nenhuma medida seja tomada, o canal a nordeste da obra fique completamente coberto por sedimentos num período de aproximadamente 52 anos, considerando-se apenas o transporte eólico de sedimentos. Esta estimativa poderá reduzir significativamente se os efeitos do transporte fluvial e processo de assoreamento por vegetação forem considerados. Por outro lado esta estimativa poderá aumentar se proteções por cerca viva forem instaladas delimitando a área do campo de dunas e se forem executadas dragagens periódicas do canal interno.

10. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA OBRA NO NÍVEL D'ÁGUA DO RIO DURANTE EVENTOS DE VAZÃO EXTREMA

Na seção anterior foi apresentado o efeito de eventos de vazão fluvial extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$) sobre a morfologia do canal. Nestas simulações as características hidrodinâmicas da área de estudo também são consideradas. Foi verificada a influência da obra de engenharia no campo de nível de água ao longo do rio Araranguá durante o evento de vazão extrema simulado (Figura 112, Figura 113 e Figura 114).

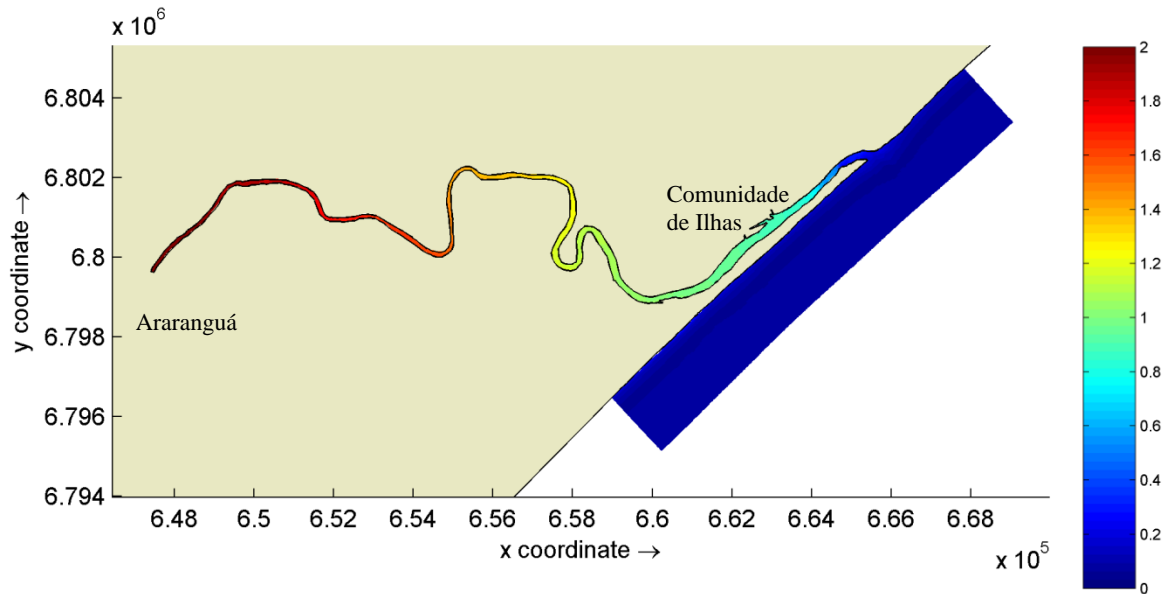


Figura 112: Nível de água ao longo da área de estudo para a simulação de um evento de vazão fluvial extrema (800 m³/s), cenário atual.

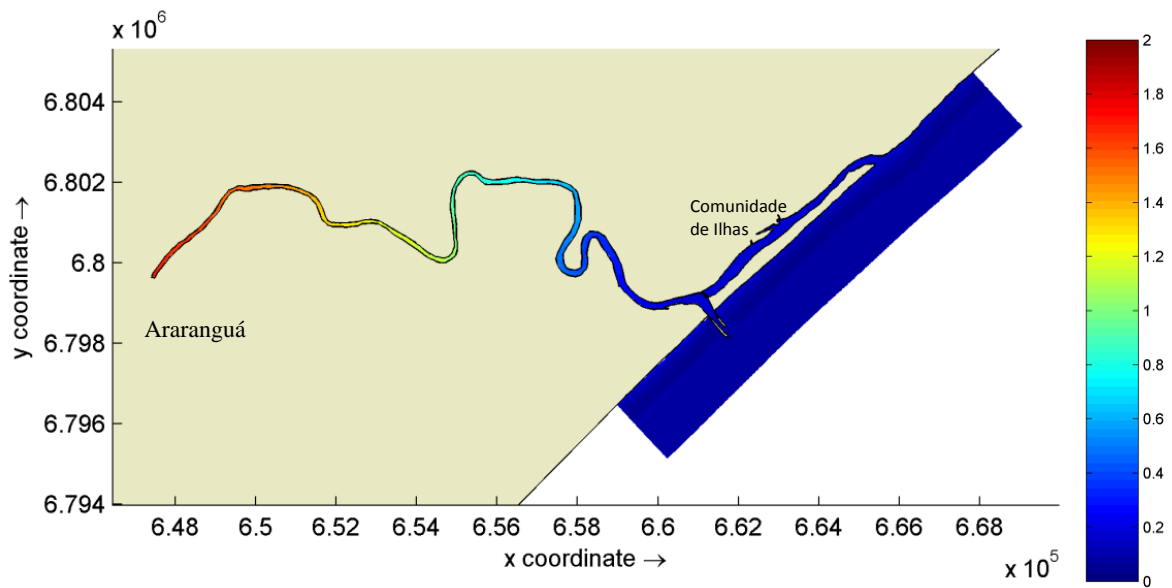


Figura 113: Nível de água ao longo da área de estudo para a simulação de um evento de vazão fluvial extrema (800 m³/s), cenário com obra (Alternativa 1).

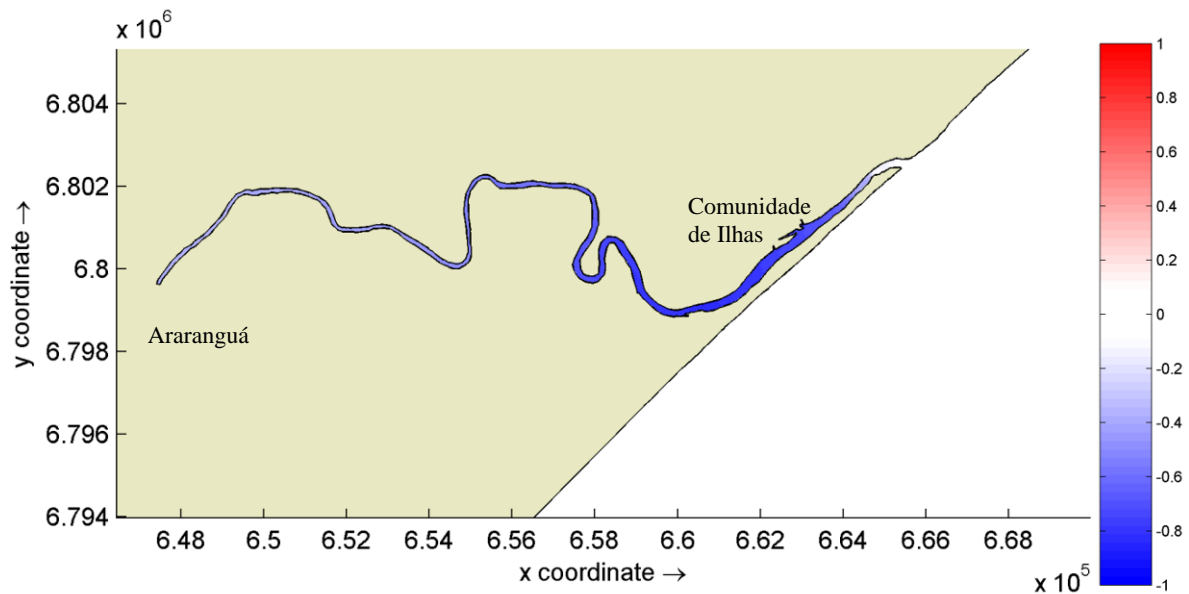


Figura 114: Diferença relativa de nível de água entre o cenário com obra e atual para a simulação de um evento de vazão fluvial extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$).

Nas Figura 112 e Figura 113 são apresentados os campos de nível de água ao longo do domínio de modelagem para os cenários com e sem a obra. Pode ser observado nas duas figuras o gradiente de nível d'água ao longo do rio, desde região de Araranguá até a região da desembocadura. No Cenário Atual (Figura 112) há um gradiente acentuado na região da desembocadura, que pode ser explicado pela batimetria mais rasa e menor área da secção transversal nesta região em relação ao resto do rio. No cenário com obra (Figura 113) há um aumento da eficiência hidráulica da desembocadura, diminuindo os níveis de água ao longo do rio.

Na Figura 114 pode ser observada a diferença relativa dos níveis de água entre o Cenário Atual e com obra para a simulação de evento extremo de vazão fluvial ($800 \text{ m}^3/\text{s}$). Fica evidente o efeito da obra diminuindo os níveis de água ao longo de todo o rio, sendo esta influência mais intensa na região do canal paralelo à praia, chegando até a 1 metro de diferença.

O efeito da obra nos níveis de água ao longo do rio durante eventos extremos de vazão fluvial é semelhante para as outras outras alternativas propostas neste trabalho. É importante ressaltar que este é um resultado secundário de um modelo que teve como objetivo simular o impacto da vazão extrema na morfologia. Para uma análise mais detalhada recomenda-se um melhor detalhamento topográfico de toda a área de estudo e da batimetria do rio e a implementação

de um modelo hidrodinâmico focado na simulação dos processos de inundação na área de estudo.

Uma quarta alternativa foi solicitada para a simulação do nível d'água, sendo esta caracterizada por molhes localizados em frente à Comunidade de Ilhas (Figura 115). Verifica-se que o nível d'água nesta alternativa é muito similar ao encontrado para a Alternativa 1 (Figura 1), podendo ser observada uma diminuição do nível da água ao longo do rio, decorrente do aumento da eficiência hidráulica que desembocadura exerce.

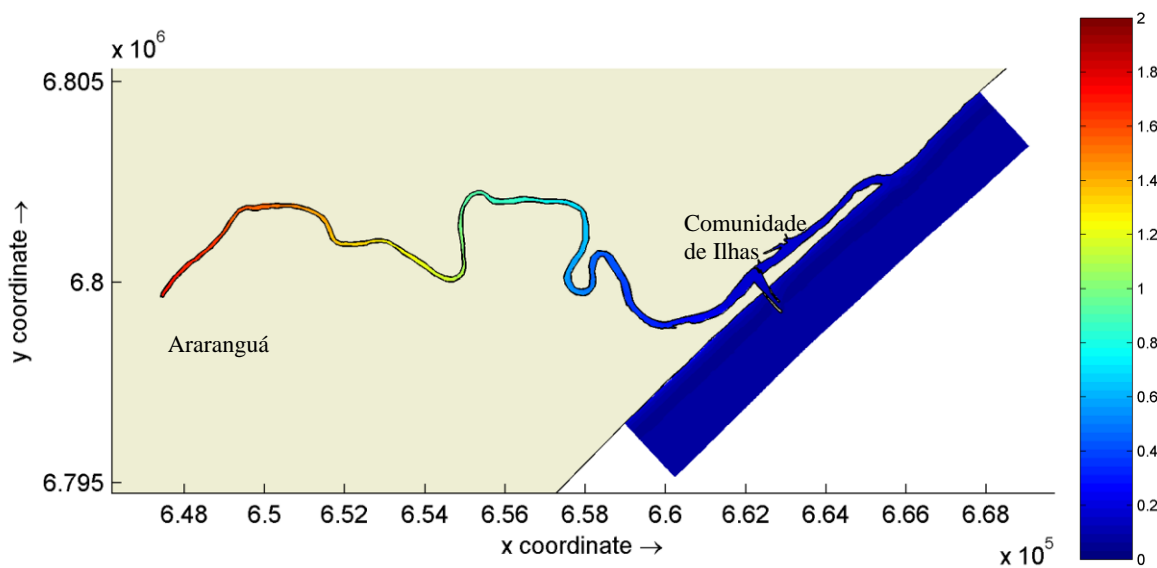


Figura 115: Nível de água ao longo da área de estudo para a simulação de um evento de vazão fluvial extrema ($800 \text{ m}^3/\text{s}$), num cenário com uma alternativa com molhes fixados em frente à Comunidade de Ilhas.

11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Engera Engenharia e Gerenciamento de Recursos Ambientais solicitou a Coastal Planning and Engineering do Brasil para a realização de estudos de modelagem numérica em suporte às obras/projetos de fixação da barra do Rio Araranguá, cujo objetivo foi a determinação e avaliação dos impactos e mudanças morfológicas decorrentes da fixação. Para tanto, foram simuladas 4 alternativas, sendo uma delas o Cenário Atual, com ondulações predominantes dos quadrantes nordeste e sul (casos de onda 1 e 2, respectivamente).

Os resultados mostraram que a hidrodinâmica e o transporte de sedimentos variam muito conforme a característica das ondulações incidentes. Ao longo da praia, ondulações representativas do quadrante nordeste (caso 1) geraram intensidades de correntes e transporte

de sedimentos menores que ondas representativas do quadrante sul (caso 2). As mudanças relativas dos cenários das Alternativas com relação ao Cenário Atual foram mais intensas durante o caso de ondas 2. Tanto as mudanças nos padrões hidrodinâmicos como no transporte de sedimentos da praia restringem-se às cercanias dos molhes simulados, podendo chegar a até 0,5 m/s e 0,001 m³/m/s, respectivamente.

O impacto da obra de fixação do canal do Rio Araranguá na morfologia foi analisado para o período correspondente a um e três anos após a implementação de cada alternativa. Para as três alternativas simuladas, após um ano de simulação a desembocadura antiga encontra-se fechada devido a intensa deposição sobre o canal. Com relação a obra, observa-se deposição ao sul dos molhes e erosão ao norte deste, sendo verificada também erosão da barreira arenosa, ocasionando retração da linha de costa. Após três anos da implementação dos molhes, verifica-se uma intensificação nos padrões de sedimentação, erosão e retração da linha de costa, e o grande acúmulo de sedimentos ao sul do molhe acaba gerando um transpasse de sedimentos para dentro do canal, causando uma sedimentação dentro do mesmo.

O transporte residual de sedimentos ao longo da costa, considerando onze anos de dados de ondas, é de aproximadamente 550.000 m³/ano, de sudoeste para nordeste. Este valor é próximo do valor encontrado pelo INPH (2003), de 467.010 m³/ano.

A oscilação do transporte ao longo dos meses do ano e ao longo dos anos tem relação direta com variações nas características das ondas nos períodos analisados. A evidência do transporte de sedimentos no sentido de SW para NE é explicada pela maior intensidade dos sistemas frontais que passam pela região durante o outono e inverno, com ventos e ondas intensos vindos do quadrante sul. Durante a primavera e o verão, é observada uma redução da magnitude do transporte residual de sedimentos ao longo da costa e eventual inversão do sentido da deriva. Este padrão, também relacionado ao clima de ondas, é explicado pela redução da intensidade dos sistemas frontais, aumentando a influência das ondas vindas de leste/nordeste. A frequência e intensidade dos sistemas frontais, também varia entre os anos, podendo-se observar marcantes variações interanuais do transporte residual de sedimentos.

De acordo com resultados destas simulações recomenda-se o transpasse de sedimentos do sul dos molhes para o norte dos molhes, afim de minimizar ou eliminar efeitos negativos de erosão nas praias ao norte dos molhes (Barra Velha e Rincão). O transporte líquido de sedimentos durante um período de 10 anos é de 550.000 m³/ano, no entanto com alta



variabilidade inter-annual. Portanto recomenda-se o transpasse de aproximadamente 500.000 m³/ano +/-25% de acordo com variabilidade annual no clima de ondas. Este transpasse deve ser preferencialmente executado logo após os meses de verão (Março) e se estender até o início do inverno (Maio). Os sedimentos transpassados devem ser depositados à uma distância de pelo menos 800 m à NE dos molhes, para garantir seu transporte ao longo da costa e evitar que os mesmos retornem ao canal de navegação.

Devido as incertezas interentes à modelagem numérica e à alta variabilidade inter-annual recomenda-se um monitoramento anual de perfil praiado longo de uma extensão de 4 km de praia (2 km ao norte e ao sul dos molhes) para quantificação dos volumes de sedimentos acumulados ao sul da obra e erodidos ao norte da obra. Estes levantamentos devem ser executados desde o sopé da duna até a profundidade de fechamento afim de refinar os volumes de transpasse de sedimentos através de um processo de manejo adaptativo.

Num evento de vazão extrema (800 m³/s), não foram observados valores intensos de erosão e sedimentação ao longo da área de estudo. Porém, a ausência de manutenção da largura e área da secção transversal da parte protegida do canal antigo pode resultar em problemas de assoreamento desta região.

Os resultados sugerem uma diminuição nos níveis de água ao longo de todo o rio com a implementação dos molhes, sendo esta influência mais intensa na região do canal paralelo à praia, chegando até a 1 metro de diferença. Portanto, sugere-se uma diminuição das áreas de risco de alagamento no entorno do rio Araranguá em eventos de vazão extrema devido às obras de estabilização da Barra.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, C. E. S. ; FRANCO, Davide ; MELO FILHO, E. ; PIMENTA, F. M. . Wave regime characteristics of the Southern Brazilian Coast. **In: Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries**, 2003, Colombo, Sri Lanka.. Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, 2003. v. 1. p. 1-15.

BARRETO, G.A.M. **Calibração de perfiladores acústicos de correntes por efeito Döppler para a aquisição de dados de material particulado em suspensão no estuário do rio**



Araranguá, SC. Itajaí, 2008. 65 f. Monografia (Bacharel em Oceanografia) – CTTMar, UNIVALI.

CAMA – Coastal Management. (2004). **Handbook for Development in Coastal North Carolina.** Division of Coastal Management from the North Carolina State Department of Environmental and Natural Resources. <http://www.nccoastalmanagement.net/handbook/section2.htm#B.TheoceanHazardSystemARC>. Acesso em: 08 de julho de 2009.

D’AQUINO, C.A.; SCHETTINI, C.A.F; PEREIRA Fo.; J. (2008) Fluvial Modulation of Salt Transport in a Highly Stratified Estuary. **Revista.** (no prelo)

FEMAR. 2000. **Catálogo da Estações Maregráficas Brasileiras.** 281p.

FUNDESPA, (2004). **Estudos Técnicos e Ambientais, Topográficos e Hidrográficos nas Regiões de Araranguá, Torres e Tramandaí.** Relatório Segundo.

INPH – Instituto de Pesquisa Hidroviária. (1993). **Projeto de Abertura e Fixação da Barra do Rio Araranguá-SC.** Vol 1.

LESSER, G. R. (2000). **Computation of three-dimensional suspended sediment transport within the Delft3D-FLOW module, Report WL | Delft Hydraulics Z2396,** Delft, 123p.

REEVE, D.; CHADWICK, A.; FLEMING, C. **Coastal Engineering: Processes, Theory and Design Practice.** Spon Press, 2004.

SILVA, G.V. **Análise da Estabilidade Quanto à Posição das Desembocaduras do Rio Araranguá, da Barra do Camacho e do Rio da Madre, Litoral Sul e Centro do Estado de Santa Catarina.** Itajaí, 2009. 78 f. Monografia (Bacharel em Oceanografia) – CTTMar, UNIVALI.

WL|Delft Hydraulics. **Delft3D-RGFGRID.** Generation and manipulation of curvilinear grids for FLOW and WAVE – User Manual. WL|Delft Hydraulics, 2006.