
**Terminal de Contêineres de Paranaguá
– TCP –**

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES
HIDRODINÂMICAS E
MORFOLÓGICAS DE CURTO E LONGO
PERÍODO, EM DECORRÊNCIA DA
AMPLIAÇÃO DO TERMINAL DE
CONTÊINERES DE PARANAGUÁ –
TCP, REFERENTE A ALTERNATIVA
LOCACIONAL 02**



Dezembro de 2016

SUMÁRIO

SUMÁRIO	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
EQUIPE TÉCNICA.....	vii
1. Introdução.....	1-8
2. Metodologia	2-11
2.1. Modelagem Numérica	2-11
2.2. Dados de Entrada do Modelo	2-15
2.3. Validação do Modelo Numérico.....	2-20
3. Resultados e Discussões.....	3-25
3.1. Resultados para o <i>Cenário Atual</i>	3-25
3.2. Resultados para o <i>Cenário 02</i>	3-29
3.3. Análise dos impactos das obras de complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá	3-33
3.4. Potenciais Impactos do Empreendimento nos Padrões de Propagação de Ondas.....	3-36
3.5. Potenciais Impactos do Empreendimento na Morfologia de Fundo da Região em Estudo	3-38
4. Considerações finais	4-43
5. REFERÊNCIAS	5-47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo com detalhe da configuração atual do Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP, baía de Paranaguá.....	1-9
Figura 2. Localização da área de estudo com detalhe do Cenário 02 com a Complementação das Obras de Ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá -TCP.	1-10
Figura 3. Fluxograma esquemático da simulação morfodinâmica realizada para o presente estudo.	2-12
Figura 4. Grade numérica local para executar o modelo hidrodinâmico na baía de Paranaguá.....	2-14
Figura 5. Batimetria interpolada na grade numérica local do modelo hidrodinâmico.	2-15
Figura 6. Localização dos principais afluentes que deságuam na baía de Paranaguá.....	2-16
Figura 7. Série temporal da maré morfológica (reduzida), utilizada nas simulações da Baía de Paranaguá.....	2-18
Figura 8. Tabela de componentes harmônicas de maré da FEMAR para a estação do Porto de Paranaguá, Paranaguá, PR.	2-19
Figura 9. Localização de instalação do ADCP na região da bacia de evolução do Porto de Paranaguá.	2-21
Figura 10. Visão da boia aonde está instalado o perfilador de correntes acústico AWAC®, em frente ao cais do TCP.	2-21
Figura 11. Detalhe da boia aonde está instalado o perfilador de correntes acústico AWAC®.	2-22
Figura 12. Comparação entre os dados de maré medidos pelo ADCP e os dados modelados, para a área de estudo.....	2-23
Figura 13. Comparação entre os dados de maré (m) medidos pelo ADCP e os dados modelados, para a área de estudo.....	2-23
Figura 14. Comparação dos dados de corrente da componente U (m/s) medidos pelo ADCP e os dados modelados, para a área de estudo.	2-24
Figura 15. Comparação dos dados de corrente da componente V (m/s) medidos pelo ADCP e os dados modelados, para a área de estudo.	2-24
Figura 16. Velocidades máximas de maré enchente em quadratura, para a condição do <i>Cenário Atual</i> para a área de estudo.	3-26

Figura 17. Velocidades máximas de maré vazante em quadratura, para a condição do <i>Cenário Atual</i> para a área de estudo.	3-27
Figura 18. Velocidades máximas de maré enchente em sizígia para a área de estudo, para a condição do <i>Cenário Atual</i>	3-28
Figura 19. Velocidades máximas de maré vazante em sizígia para a área de estudo, para a condição do <i>Cenário Atual</i>	3-28
Figura 20. Velocidades máximas de maré enchente em quadratura para a área de estudo no <i>Cenário 02</i> , com o projeto de complementação das obras de ampliação do TCP.	3-30
Figura 21. Velocidades máximas de maré vazante em quadratura para a área de estudo no <i>Cenário 02</i> , com o projeto de complementação das obras de ampliação do TCP.	3-30
Figura 22. Velocidades máximas de maré enchente em sizígia para a área de estudo no <i>Cenário 02</i> , com a complementação das obras de ampliação do TCP. 3-31	
Figura 23. Velocidades máximas de maré vazante em sizígia para a área de estudo no <i>Cenário 02</i> , com a complementação das obras de ampliação do TCP. 3-32	
Figura 24. Variação na velocidade na área adjacente ao Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP, para a maré enchente em quadratura do <i>Cenário 02</i>	3-34
Figura 25. Variação na velocidade na área adjacente ao Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP, para a maré vazante em quadratura do <i>Cenário 02</i>	3-34
Figura 26. Variação na velocidade na área adjacente ao Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP, para a maré enchente em sizígia do <i>Cenário 02</i>	3-35
Figura 27. Variação na velocidade na área adjacente ao Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP, para a maré vazante em sizígia do <i>Cenário 02</i>	3-36
Figura 28. Altura significativa de ondas (Hs) para ondas provenientes do quadrante Leste (E).	3-37
Figura 29. Altura significativa de ondas (Hs) para ondas provenientes do quadrante Leste-Sudeste (ESE).	3-37
Figura 30. Altura significativa de ondas (Hs) para ondas provenientes do quadrante Sudeste (SE).	3-38
Figura 31. Altura significativa de ondas (Hs) para ondas provenientes do quadrante Sul-Sudeste (SSE).	3-38

Figura 32. Modificações morfológicas na região do TCP entre o <i>Cenário Atual</i> e o <i>Cenário 02</i> , ao final de um ano de simulação.	3-41
Figura 33. Modificações morfológicas na região do TCP entre o <i>Cenário Atual</i> e o <i>Cenário 02</i> , ao final de dez anos de simulação.	3-42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Vazão dos afluentes da baía de Paranaguá utilizados neste estudo (MANTOVANELLI, 1999).....	2-16
Tabela 2. Casos de ondas classificados como mais representativos na região da baía de Paranaguá.....	2-20
Tabela 3. Casos de ondas classificados como mais representativos na região da baía de Paranaguá.....	3-36

EQUIPE TÉCNICA

Nome	Formação	Área de atuação	Registro IBAMA	Registro Profissional
Fernando Luiz Diehl, MSc.	Oceanógrafo	Coordenador Geral	198583	AOCEANO 104
João Thadeu de Menezes, Dr.	Oceanógrafo	Coordenador Técnico Modelagem Numérica Ambiental	282673	AOCEANO 782
Daniel Becker Salles, BSc.	Oceanógrafo	Modelagem Numérica Ambiental	5879404	AOCEANO 2157
Marina Garcia Pacheco, BSc.	Oceanógrafa	Modelagem Numérica Ambiental	5347429	AOCEANO 1358
Thelma Luiza Scolaro, MSc.	Oceanógrafa	Modelagem Numérica Ambiental	5000357	AOCEANO 1906

1. INTRODUÇÃO

Atendendo à solicitação do documento INF 02610.000036/2016-14-ESREG/ITAJAÍ/SC/IBAMA, contido no PAR. 02017.0000147/2026-11-NLA/PR/IBAMA, **referente à análise da viabilidade para as obras de complementação da ampliação** do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, assim como a necessidade de complementar as informações já obtidas em estudos pretéritos, a **Acquadinâmica** desenvolveu este estudo de modelagem numérica hidrodinâmica e morfológica da *Alternativa Locacional 02* do empreendimento em análise.

O referido estudo foi realizado com objetivo de identificar e avaliar as possíveis alterações hidrodinâmicas e morfológicas de curto (1 ano) e longo período (10 anos) em decorrência do projeto de complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP.

O estudo contempla a análise de dois cenários, sendo o Cenário 01 a configuração atual das estruturas de mar do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP (Figura 1). O Cenário 02 contempla o projeto de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, na região oeste ao Porto de Paranaguá, contemplando a instalação de um novo píer de 450 metros de extensão e 50 metros de largura, denominado de *Alternativa Locacional 02*. A profundidade prevista para a área do cais da TCP é de 16,5 metros (Figura 2).

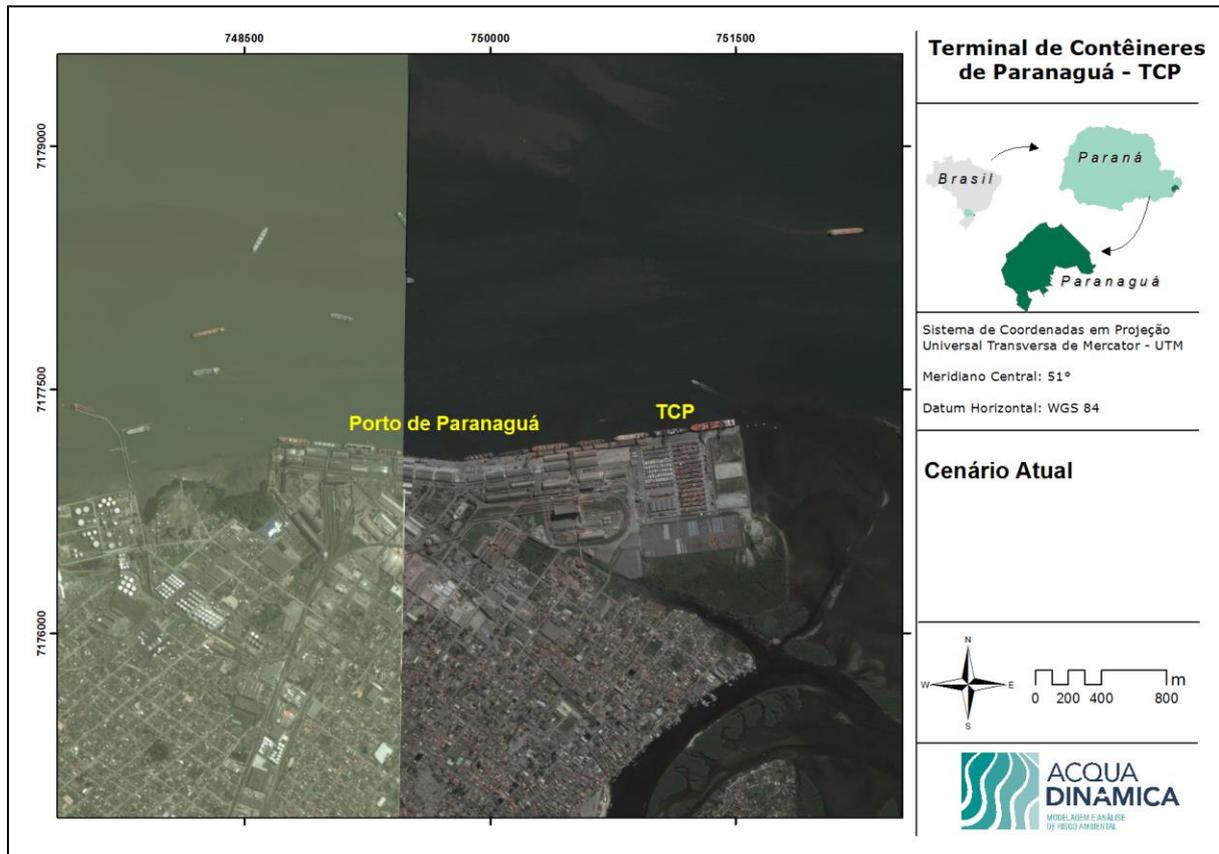


Figura 1. Localização da área de estudo com detalhe da configuração atual do Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP, baía de Paranaguá.

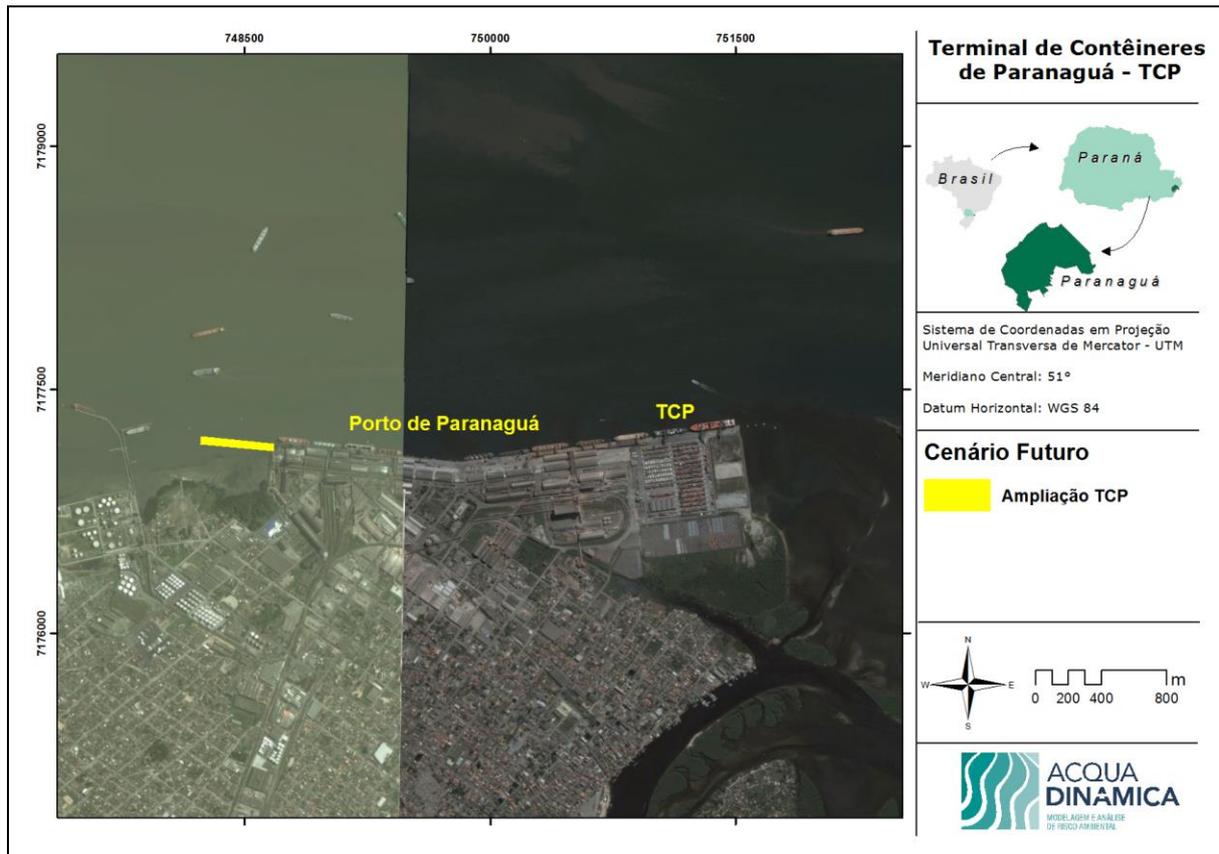


Figura 2. Localização da área de estudo com detalhe do Cenário 02 (*Alternativa Locacional 02*) com a complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá -TCP.

Como forma de se analisar os possíveis impactos advindos da complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, mediante a análise da *Alternativa Locacional 02*, todos os modelos hidrodinâmicos (ondas e correntes) e morfológicos de curto (1 ano) e longo período (10 anos) foram simulados considerando todos os berços com navios atracados. Desta forma, se considera que potencialmente poderão ocorrer as maiores alterações e impactos sobre as correntes de maré, vazão e transporte de sedimentos.

Para o Cenário Atual (Cenário 01) foi considerada a atracação de dois navios *cape size* (300 x 48m) simultâneos no cais atual e um navio *car carriers* (200 x 30m) nos dolphins. Para o Cenário 02 (ampliação do TCP) foi considerada a atracação de dois navios *cape size* (300 x 48m) simultâneos no cais atual e um navio *post panamax* (280 x 41m) no novo cais, localizado na porção oeste do cais do Porto de Paranaguá (*Alternativa Locacional 02*).

2. METODOLOGIA

2.1. Modelagem Numérica

O modelo numérico **Delft3D**, desenvolvido pela **Deltares**[®], em Delft, Holanda foi utilizado para a execução destes trabalhos. O **Delft3D** constitui-se em um avançado sistema de modelos numéricos 2D/3D (duas e três dimensões) que inclui vários módulos que possibilitam a simulação de processos costeiros complexos, tais como geração e propagação de ondas, circulação hidrodinâmica, transporte de sedimentos e mudanças da morfologia litorânea (erosão e deposição sedimentar e variação da posição da linha de costa), sendo para esta modelagem utilizada a versão *open source* disponível desde janeiro de 2011.

O modelo se baseia nas equações 3D de águas rasas, equações 3D de difusão-advecção para concentrações em suspensão (*suspended transport*) e uma equação separada para transporte de fundo (*bed-load transport*). O modelo é capaz de integrar o transporte de sedimentos e as alterações do fundo, a cada passo de tempo de cálculo, e é altamente recomendado para o desenvolvimento de estudos em ambientes costeiros. Isso porque possibilita o acoplamento direto com o modelo espectral de ondas *SWAN*, calculando também 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 (WL | Delft Hydraulics, 2010).

Para possibilitar uma eficiente avaliação dos potenciais impactos do projeto de complementação das obras de ampliação do TCP do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, sobre as correntes de maré e ondas, assim como consequentes modificações morfológicas, foi realizada uma simulação para cada cenário (01 – *Atual* e 02 – *Ampliação do TCP*) com as mesmas condições hidrodinâmicas. Foi realizada uma simulação por um período de 15 dias visando cobrir um ciclo completo de marés de sizígia e de quadratura. Entretanto, para a caracterização da variação morfológica na área de estudo foi realizada a análise de curto período para 1 ano, e também, de longo período, para 10 anos.

A Tabela 1 apresenta os principais fatores para rodar o modelo numérico.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados para execução dos modelos numéricos.

Parâmetro	Valor
Passo de tempo	15 segundos
Gravidade	9,81 m ² /s
Densidade da Água	1.025kg/m ³
Rugosidade	Dependente do sedimento de fundo

2.1.1. Modelo Hidrodinâmico/Morfológico Delft 3D-Flow (Mor)

O módulo hidrodinâmico **Delft3D-Flow** resolve um sistema de equações de águas rasas em modo bidimensional (ou integrado em vertical) e tridimensional. O sistema de equações consiste nas equações horizontais de movimento (*momentum*), na equação de continuidade, equações de transporte para constituintes conservativos, e um modelo de fechamento turbulento. A equação vertical de *momentum* é reduzida à relação de pressão hidrostática e as acelerações verticais são assumidas como sendo pequenas em relação à aceleração da gravidade. Isso faz com que o **Delft3D-Flow** seja adequado para a predição de fluxos em mares rasos, áreas costeiras, estuários, lagos, rios e lagoas.

Acoplado ao modelo hidrodinâmico está o módulo morfológico **Delft3D-Mor**, elaborado para simular o comportamento morfodinâmico de rios, estuários e áreas costeiras, na escala de dias a anos, resolvendo o complexo processo de interação entre as ondas, correntes, transporte de sedimentos e batimetria. A conexão entre os módulos envolvidos no processo (*Waves/Ondas-Flow/Corrente-Transporte/Transporte-Bottom/Fundo*) ocorre via acoplamento dinâmico (Figura 3).

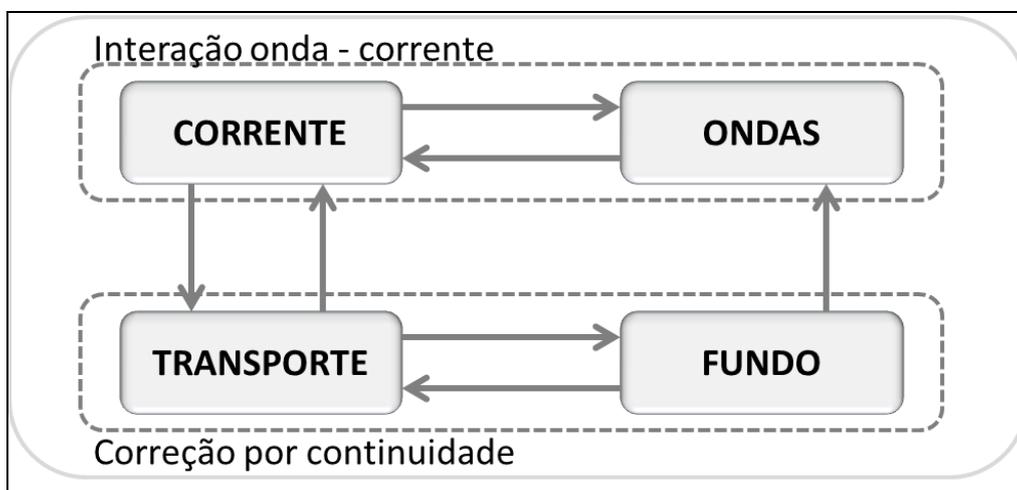


Figura 3. Fluxograma esquemático da simulação morfodinâmica realizada para o presente estudo.

O modelo numérico DELFT 3D foi extensivamente calibrado e validado através de experimentos de campo e de laboratório e é considerado o “estado-da-arte” em modelagem hidrodinâmica.

2.1.2. Modelo de Propagação de Ondas Delft 3D-Wave (SWAN)

O módulo de onda **Delft3D-Wave** pode ser utilizado para simular a evolução de ondas geradas por vento em águas costeiras (estuários, desembocaduras, ilhas-barreiras com planícies de maré, canais, etc). Este módulo calcula a propagação de ondas, a geração de ondas pelo vento, interações e dissipação onda-onda não-lineares, variações batimétricas, campo de vento, o nível de água, e campo de correntes em águas profundas, intermediárias e rasas (WL | Delft Hydraulics, 2010).

O módulo *SWAN* é baseado na equação de conservação da ação de onda e é totalmente espectral (todas as direções e frequências), o que significa que o *SWAN* pode acomodar um campo de ondas de cristas curtas, randômico, propagando-se simultaneamente a partir de diferentes direções (WL | Delft Hydraulics, 2010).

O modelo calcula os processos de geração de ondas pelo vento, dissipação por “white-capping” (carneirinhos), fricção com o fundo e quebra da onda induzida pela profundidade, além de interações não-lineares onda-onda (*quadruplets* e *triads*), com equações que representam o “estado-da-arte” em modelagem de ondas. O *SWAN* tem sido validado e verificado com sucesso em uma gama de experimentos complexos de campo e laboratório (RIS *et al.*, 1999; WL|DELFT HYDRAULICS, 1999, 2000) (WL | Delft HYDRAULICS, 2010).

O *SWAN* foi desenvolvido pela Delft *University of Technology* e é especificado como padrão em estudos de modelagem de ondas e proteção costeira. Por este motivo, a WL | *Delft Hydraulics* integrou o modelo *SWAN* no pacote de modelos **Delft3D** (WL | Delft Hydraulics, 2010).

2.1.3. Grade Numérica e Batimetria

A criação da grade numérica (Figura 4) para a execução da modelagem foi realizada no módulo *RGFGRID* do sistema Delft3D, em configuração curvilínea ortogonal para toda a baía de Paranaguá e adjacências, com detalhamento refinado na região do Porto de Paranaguá.

Quanto à batimetria, foram utilizados dados digitalizados de cartas náuticas fornecidas pela DHN para o local, dados batimétricos cedidos pelo cliente para a região adjacente, e para a região de maior detalhamento foram utilizados diferentes dados batimétricos para cada um dos cenários modelados. Para o cenário atual, foram utilizados dados provenientes de medições batimétricas, e na elaboração do Cenário 02 (complementação das obras de ampliação do TCP) a batimetria em frente aos cais proposto para a alternativa 2 foi editada para 16,5 metros.

Os dados batimétricos foram interpolados sobre a grade numérica no módulo *QUICKIN* do sistema Delft3D e estão apresentados na Figura 4 e Figura 5.

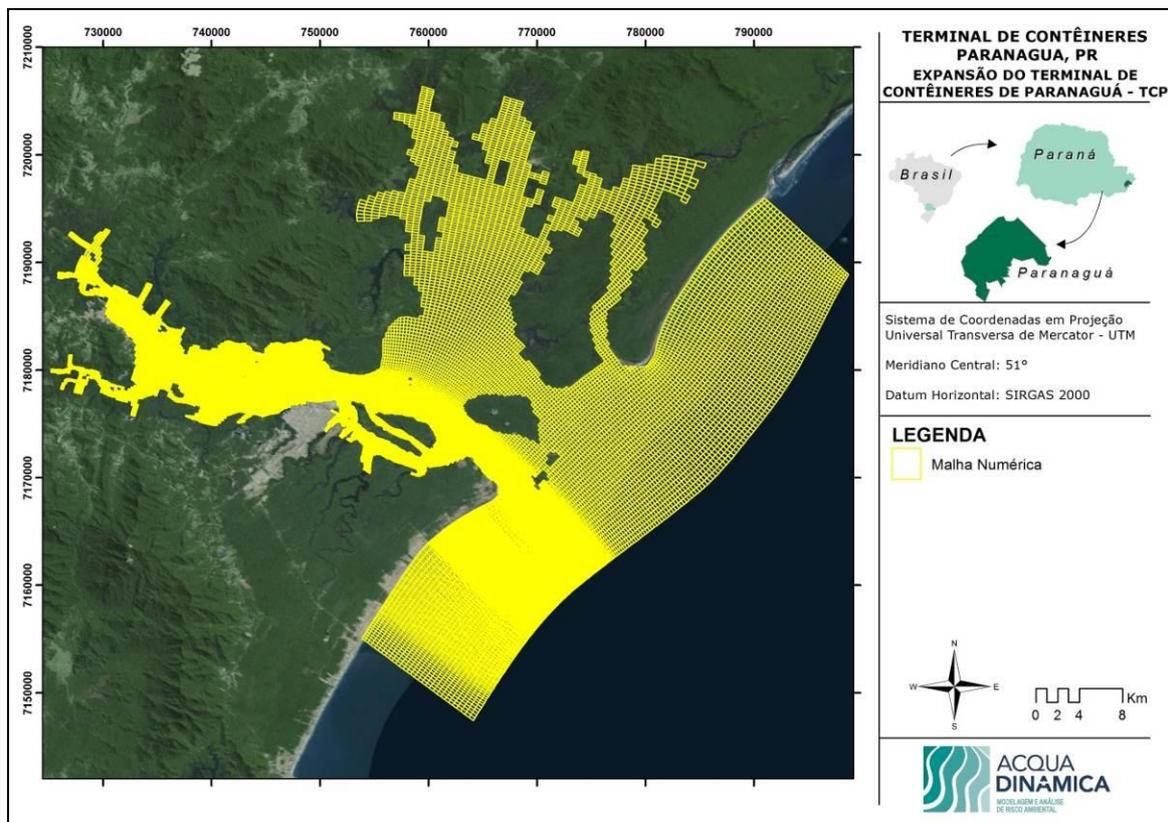


Figura 4. Grade numérica local para executar o modelo hidrodinâmico na baía de Paranaguá.

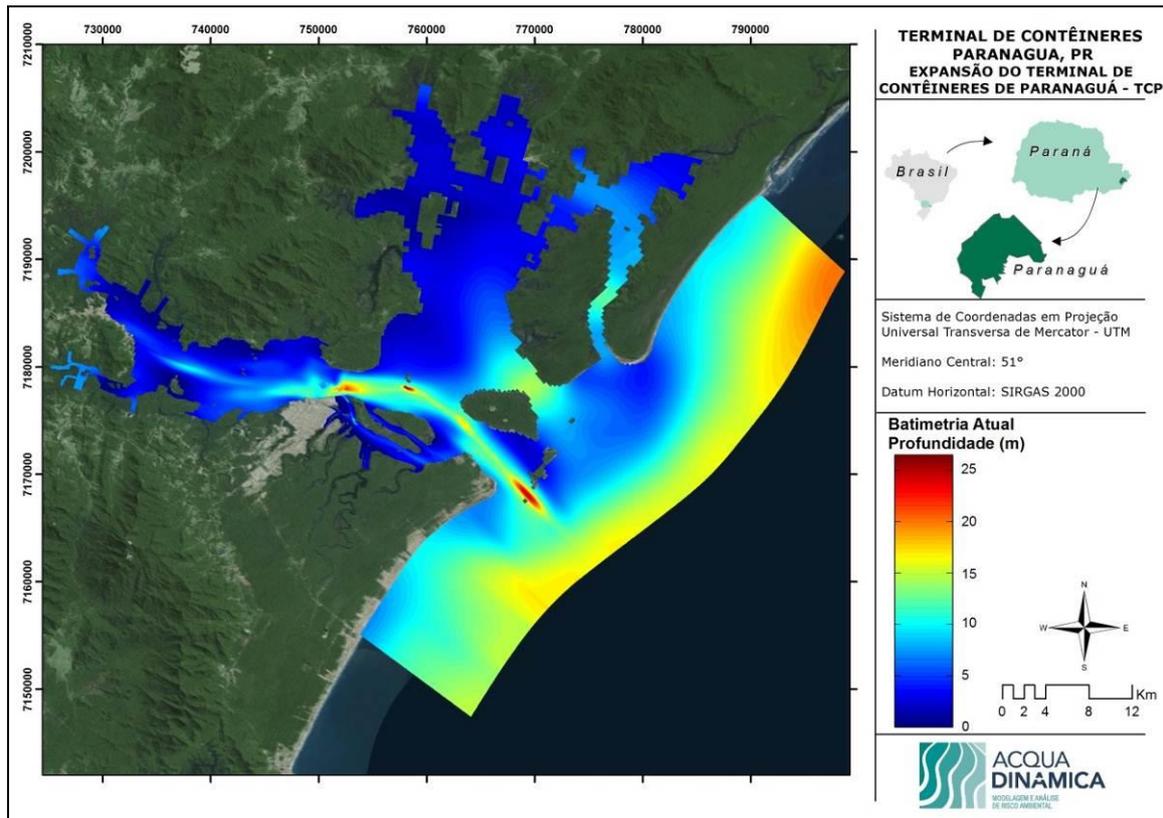


Figura 5. Batimetria interpolada na grade numérica local do modelo hidrodinâmico.

2.2. Dados de Entrada do Modelo

Para a execução do modelo, diversos dados de descarga fluvial, ventos, marés e ondas foram utilizados para que o mesmo pudesse ser calibrado, e desta forma pudesse representar de uma maneira mais fidedigna as condições ambientais presentes na área de estudo.

2.2.1. Descarga Fluvial de Afluentes

O complexo estuarino de Paranaguá recebe drenagem de uma área total de 3361 Km² (SOARES, 1995), entretanto, o fluxo médio de água doce é reduzido, de pouco mais de 150 m³/s. As variações sazonais deste fluxo são basicamente controladas pelo regime pluviométrico (KNOPPERS *et al.*, 1987).

Os dados de descarga fluvial utilizados no presente estudo são aqueles apresentados pelo trabalho de Mantovanelli (1999). Foram obtidos dados de vazão associados aos seguintes afluentes que deságuam na baía de Paranaguá, quais sejam: rio Jacareí, rio Sagrado, rio Passa Sete, rio Pinto, rio Marumbi, rio Sapetanduva, rio Nhundiaquara, rio Moura, rio Xaxim, rio Nunes, rio Cacatu, rio Cachoeira, rio Faisqueira, rio Cedro, rio Tagaçaba e rio Guaraqueçaba (Figura 6 e Tabela 1).

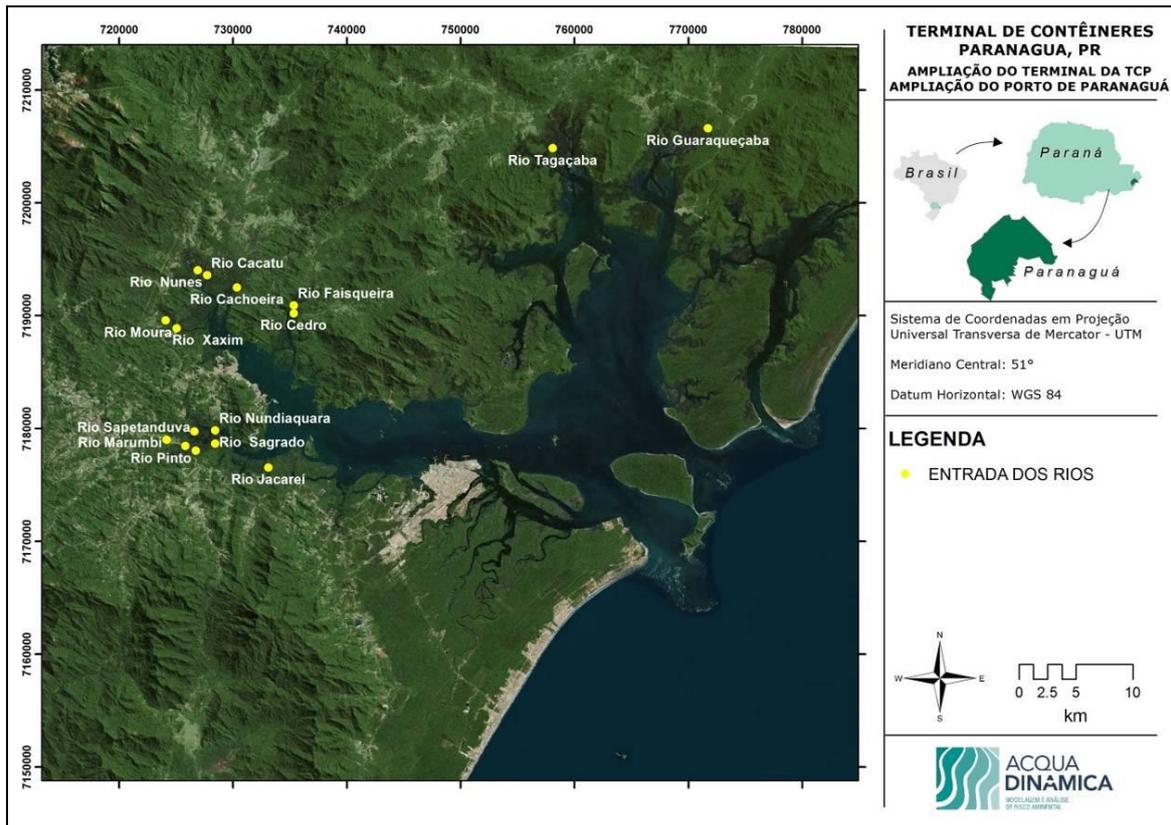


Figura 6. Localização dos principais afluentes que deságuam na baía de Paranaguá.

Tabela 1. Vazão dos afluentes da baía de Paranaguá utilizados neste estudo (MANTOVANELLI, 1999).

Estações	Vazão (m ³ /s)
rio Jacareí	3,34
rio Sagrado	7,15
rio Passa Sete	0,82
rio Pinto	5,14
rio Marumbi	12,46
rio Sapetanduva	3,53
rio Nhundiaquara	34,95
rio Moura	0,48
rio do Xaxim	2,07
rio Nunes	2,62
rio Cacatu	7,23
rio Cachoeira	0,65
rio Faisqueira	5,82
rio Cedro	2,92
rio Tagaçaba	13,92
rio Guaraqueçaba	8,87

2.2.2. Dados de Vento

Os dados de vento utilizados nesta simulação foram obtidos através de uma estação do INMET localizada na Ilha do Mel. Para tanto, foi utilizada uma série de dados correspondente ao período de simulação, coletada em uma estação meteorológica automática.

2.2.3. Dados de Maré

É fato que uma das “complicações” inerentes em se realizar projeções morfológicas com base em fluxos hidrodinâmicos, é que o desenvolvimento de mudanças morfológicas ocorre em uma escala de tempo maior do que as mudanças típicas do fluxo. Por exemplo, os fluxos de maré mudam significativamente em um período de horas, enquanto que a morfologia de fundo irá sofrer modificações significativas em semanas, meses ou até mesmo anos. Uma técnica para a abordagem deste problema é usar “um fator de escala de tempo morfológico”, com o qual a velocidade das mudanças morfológicas é aumentada até uma taxa que começa a ter um impacto significativo nos fluxos hidrodinâmicos. Isto pode ser obtido especificando um valor da variável no arquivo de entrada da morfologia (GARCIA, 2008).

Para estudos morfológicos com utilização de Fator de Aceleração Morfológica (MORFAC) indica-se a utilização de maré morfológica (LESSER, 2009), esta maré é uma redução simplificada da maré complexa que ocorre na natureza. A maré morfológica tem como objetivo produzir o mesmo transporte de sedimento residual e padrão de variação morfológica da maré real pelo período de tempo de interesse, porém reduzindo o esforço computacional e variações imprecisas causadas pela variação sizígia-quadratura na maré.

Sendo assim, para a modelagem morfológica deste estudo da ampliação do TCP foi utilizado um parâmetro de aceleração morfológica (MORFAC). O MORFAC trabalha multiplicando o fluxo de erosão/sedimentação dos sedimentos em suspensão e os gradientes das componentes vetoriais de transporte pelo fundo, por um fator espacialmente constante. Esse procedimento multiplica efetivamente todas as mudanças de elevação do fundo que ocorrem durante um passo de tempo do modelo hidrodinâmico pelo fator MORFAC e, pode-se dizer, efetivamente, que o passo de tempo morfológico torna-se “MORFAC vezes” maior que o passo de tempo do modelo hidrodinâmico (LESSER, 2009).

Desta forma, pode se dizer que o parâmetro de aceleração morfológica (MORFAC) permite realizar uma modelagem morfológica de longo período (10 anos) utilizando um

esforço computacional bem menor, possibilitando assim a otimização do processamento do modelo.

A maré morfológica utilizada (Figura 7) foi gerada a partir média da Médias das Preamares (MHW) e Média das Baixa-Mares (MLW) oscilando em torno do nível médio, com período e fase equivalente a constante harmônica M2, a componente de maior relevância na região de interesse, conforme a tabela de constantes harmônicas disponibilizada pela Fundação de Estudos do Mar - FEMAR para o Porto de Paranaguá, Paranaguá, Paraná (Figura 8).

A variação média de maré para a baía de Paranaguá é de 2,2 m, sendo de caráter predominantemente semidiurno, embora ocorram desigualdades e efeitos não lineares (MARONE *et al.*, 1995).

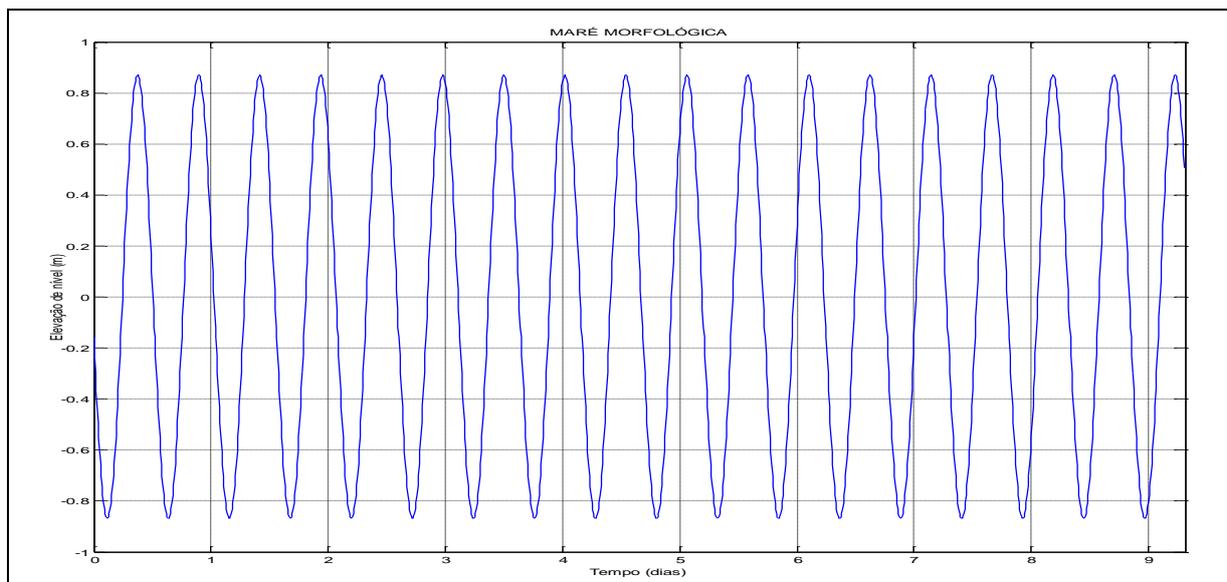


Figura 7. Série temporal da maré morfológica (reduzida), utilizada nas simulações da baía de Paranaguá.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR <i>Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras</i>					
Nome da Estação : PORTO DE PARANAGUÁ – PR					
Localização : Na quina Oeste do Cais do Porto					
Organ. Responsável : APPA / INPH / DHN					
Latitude : 25° 30,1' S			Longitude : 48° 31,5' W		
Período Analisado : 01/04/95 a 30/11/95			N° de Componentes : 20		
Análise Harmônica : Método Almirante Santos Franco					
Classificação : Maré de Desigualdades Diurnas					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		III H 23 min	Nível Médio (Zo):		90 cm acima do NR.
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		176 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) :		169 cm acima do NR
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		20 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :		5 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	4,0	144
Ssa	-	-	N ₂	7,4	167
Mm	-	-	NU ₂	-	-
Mf	-	-	M ₂	49,1	096
MTM	-	-	L ₂	2,9	105
Msf	-	-	T ₂	-	-
Q ₁	3,3	057	S ₂	33,3	101
O ₁	11,1	080	K ₂	-	-
M ₁	1,6	273	MO ₂	10,5	061
P ₁	-	-	M ₃	16,2	262
K ₁	7,6	138	MK ₃	5,9	152
J ₁	-	-	MN ₄	6,7	221
OO ₁	-	-	M ₄	16,0	272
MNS ₂	-	-	SN ₄	-	-
2N ₂	-	-	MS ₄	6,7	356
Referências de Nível: RN PORTOBRAS – implantada no pier junto ao cabeço 5.					
Obs: Outros Períodos: 13/07/92 a 16/08/92; 02/01/94 a 31/10/94; 07/12/94 a 31/12/94; 02/05/96 a 31/05/96 Passou a constar das Tábuas das Marés em 1998. Ver também a estação 60.140.					
Código BND0: 60132					

Figura 8. Tabela de componentes harmônicas de maré da FEMAR para a estação do Porto de Paranaguá, Paranaguá, PR.

2.2.4. Dados de Onda

Os dados de ondas utilizados como entrada para o modelo foram extraídos de estudo prévio realizado para a região (CPE, 2010), onde foi realizada a simulação da propagação de ondas desde águas profundas até o interior da baía de Paranaguá, a partir de uma análise estatística de aproximadamente 5 anos de dados (fevereiro/2005 a junho/2010) obtidos do modelo global WaveWatch III – WW3. Após o processamento dos resultados foram determinados os principais casos de ondas que ocorrem na região de estudo de acordo com as frequências de ocorrência de cada grupo de altura significativa, período e direção ao longo da série temporal. Os estados de mar selecionados são apresentados na Tabela 2

Tabela 2. Casos de ondas classificados como mais representativos na região da baía de Paranaguá.

Caso de Ondas	Altura Significativa - Hs (m)	Período de Pico - Tp (s)	Direção de Onda (°)	Frequência de Ocorrência - dias/ano (%)
1	1.21	7.30	85.31	16
2	1.75	7.77	86.04	7
3	2.47	7.82	86.48	3
4	1.23	8.09	112.71	13
5	1.91	8.35	112.46	5
6	2.81	9.01	113.84	2
7	1.37	9.12	141.22	10
8	2.05	9.42	142.80	4
9	3.00	10.10	141.60	2
10	1.51	9.61	164.55	8
11	2.23	9.50	165.16	4
12	3.00	10.79	165.29	2
13	1.57	10.20	175.43	7
14	2.30	10.34	175.33	3
15	3.01	10.57	175.29	2
16	1.47	10.07	181.98	7
17	2.22	9.85	181.45	3
18	3.16	8.94	182.29	2

2.3. Validação do Modelo Numérico

Para a validação do modelo numérico foram utilizados dados coletados em tempo real através de um perfilador acústico de correntes (ADCP), baseado no efeito Doppler da marca Nortek, modelo AWAC® 1MHz, instalado em uma boia na região da bacia de manobras do Porto de Paranaguá, muito próximo ao início do canal de acesso, nas coordenadas geográficas 25° 29' 47,87" S e 48° 29' 45,38" W (SIRGAS-2000), localizada a aproximadamente a 800 metros do cais da TCP (Figura 9, Figura 10 e Figura 11).

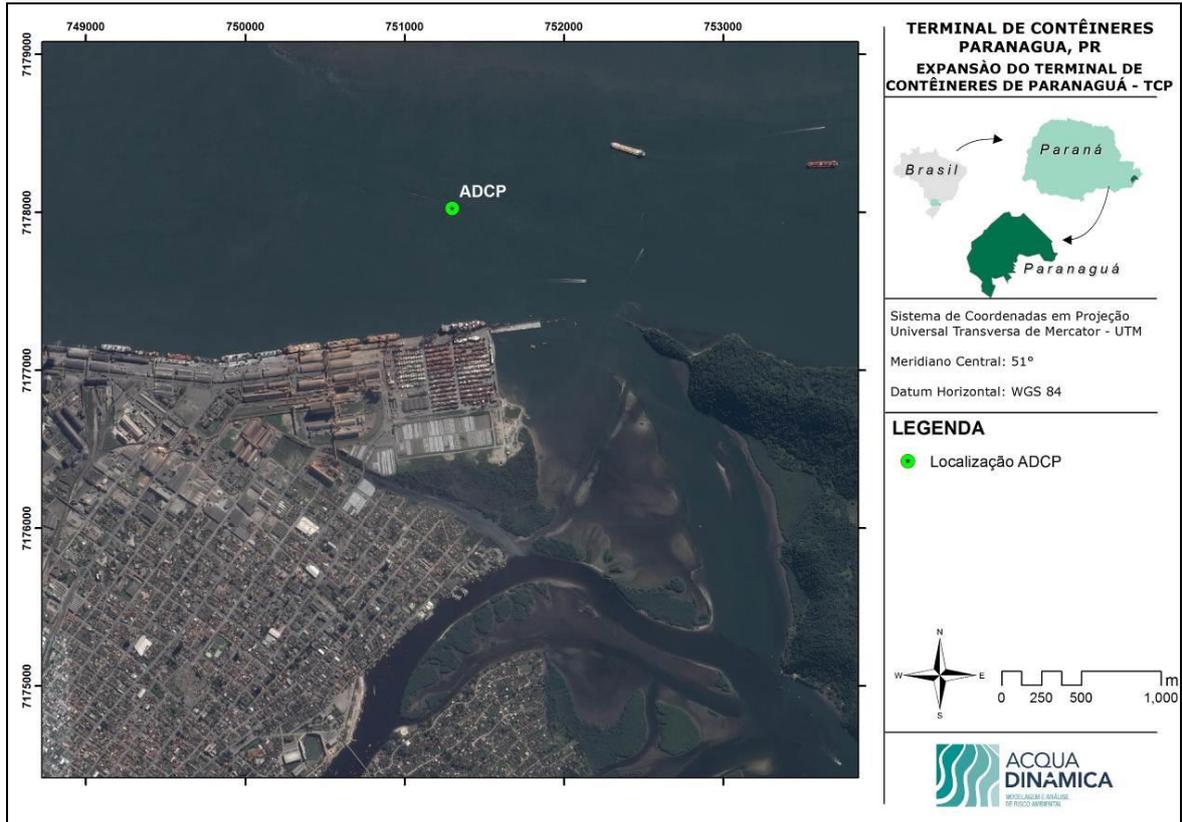


Figura 9. Localização de instalação do ADCP na região da bacia de evolução do Porto de Paranaçuá.



Figura 10. Visão da boia aonde está instalado o perfilador de correntes acústico AWAC®, em frente ao cais do TCP.

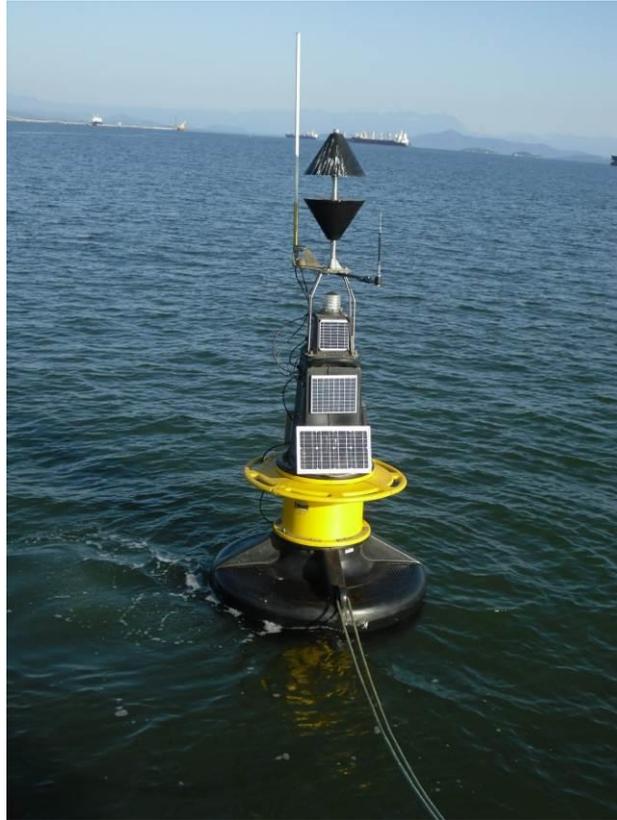


Figura 11. Detalhe da boia aonde está instalado o perfilador de correntes acústico AWAC®.

Os dados de corrente, ondas e nível de água foram coletados em escala temporal de 7 minutos, no mesmo período da modelagem realizada, 01/01/2014 a 31/01/2014, possibilitando a comparação entre os resultados e posterior validação do modelo.

Na Figura 12 é apresentado o gráfico de comparação entre os dados de maré medidos e modelados, que demonstra que os resultados da modelagem puderam representar de forma coerente os padrões de maré dominantes no local. Na Figura 13 pode-se observar que a correlação entre os dados é satisfatória com valor de R^2 de 0,7.

A Figura 14 e a Figura 15 apresentam os gráficos de comparação entre os dados de velocidade de corrente medidos em campo e modelados, para as componentes x e y, respectivamente. Verifica-se uma correlação satisfatória entre os dados medidos e os dados modelados, com valores de R^2 de aproximadamente 0,6 para ambas as componentes.

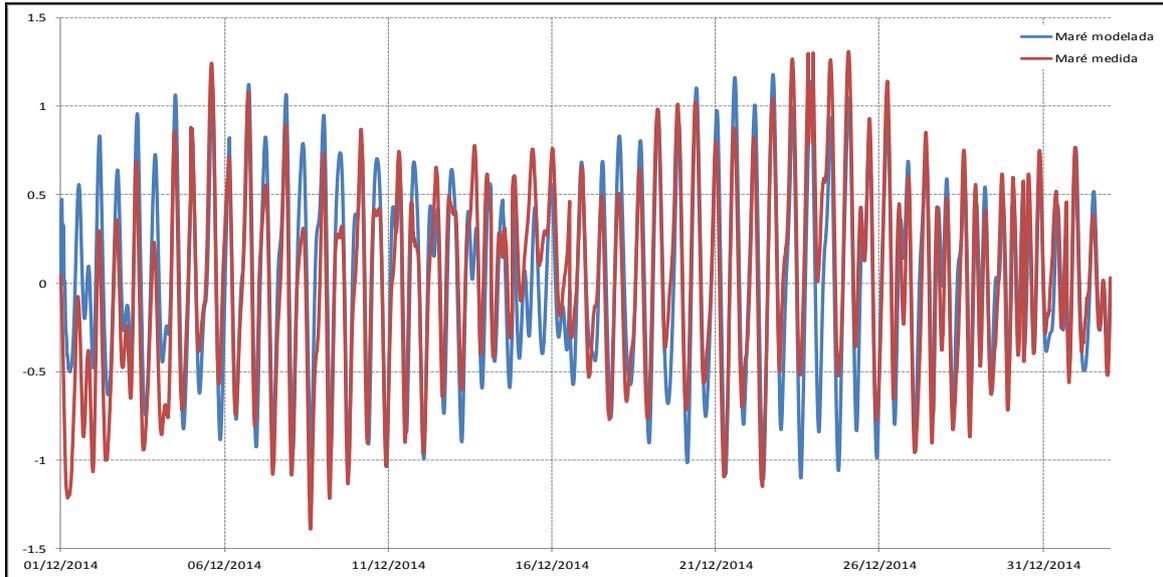


Figura 12. Comparação entre os dados de maré medidos pelo ADCP e os dados modelados, para a área de estudo.

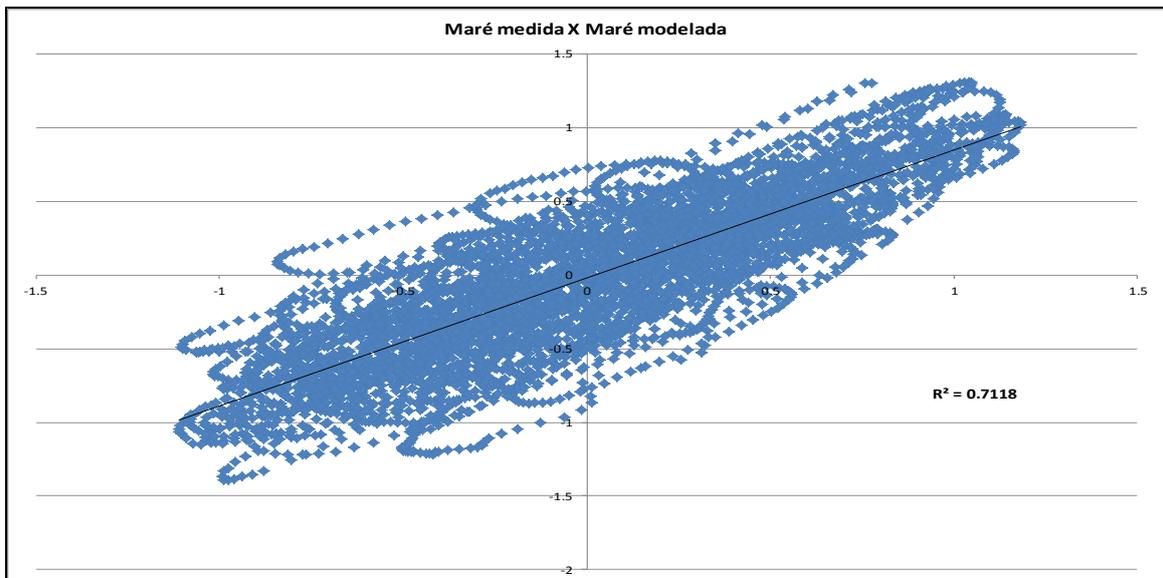


Figura 13. Comparação entre os dados de maré (m) medidos pelo ADCP e os dados modelados, para a área de estudo.

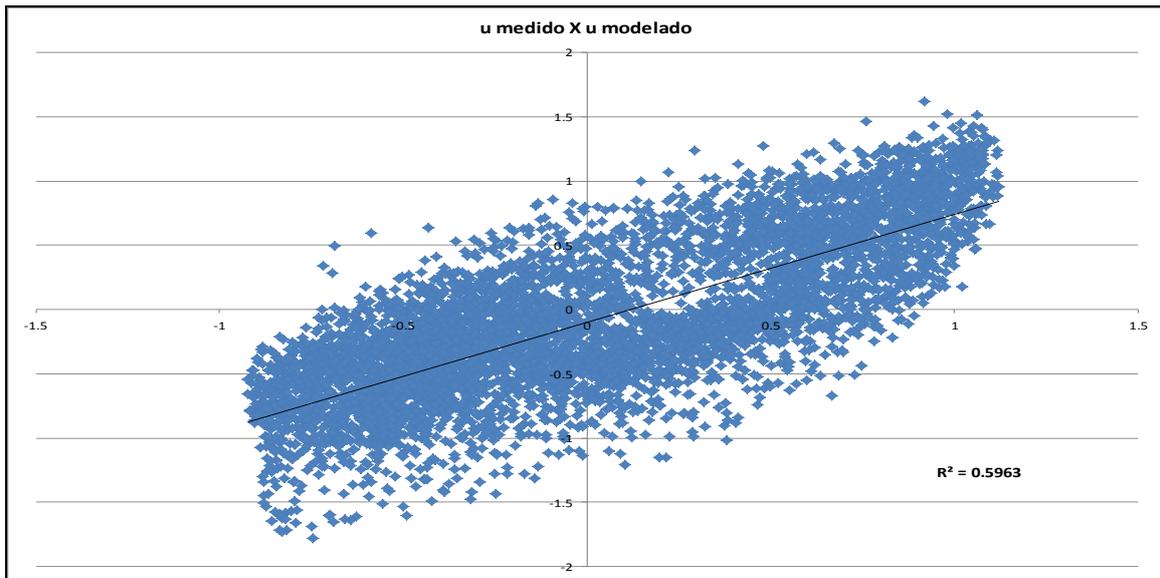


Figura 14. Comparação dos dados de corrente da componente U (m/s) medidos pelo ADCP e os dados modelados, para a área de estudo.

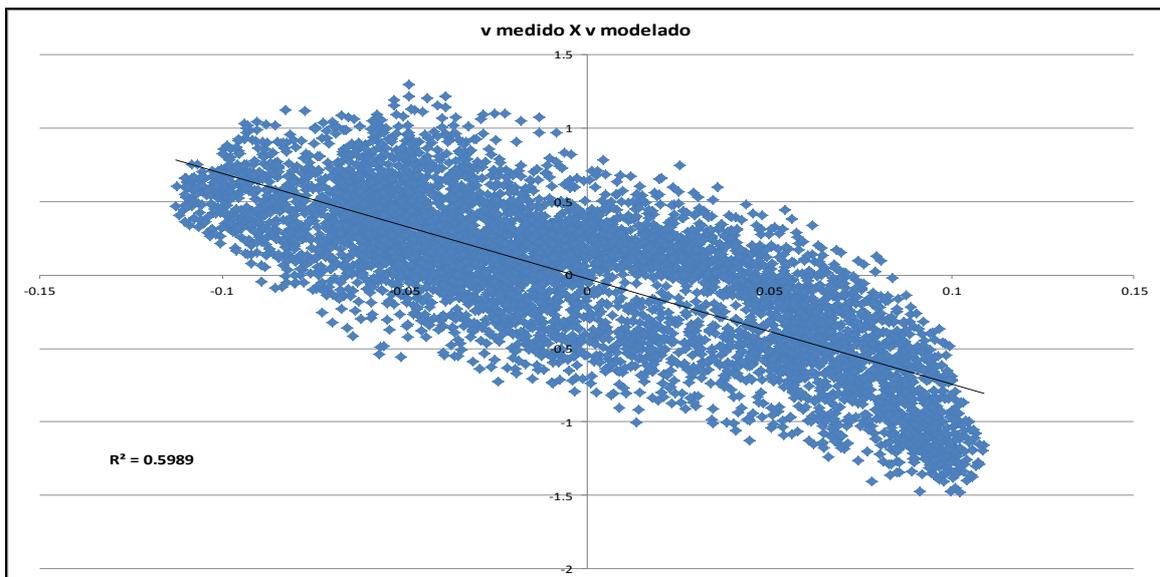


Figura 15. Comparação dos dados de corrente da componente V (m/s) medidos pelo ADCP e os dados modelados, para a área de estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para analisar a influência das obras do projeto de complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP sobre as alterações hidrodinâmicas e morfológicas da área de estudo, todos os cenários de modelagem (propagação de ondas, hidrodinâmico e morfodinâmico) foram executados sob as mesmas condições meteorológicas e oceanográficas, considerando o cenário atual (*Cenário 01*) e o cenário com a complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP (*Cenário 02*), considerando a instalação de um novo píer no lado oeste do Porto de Paranaguá. Os mapas de resultados finais foram pós-processados e elaborados em ambiente SIG.

O Complexo Estuarino de Paranaguá, segundo Lopes (2010), foi classificado por dois estudos distintos, porém, com a mesma classificação. Em 1997, Marone *et al.* classificaram o CEP como um estuário do Tipo 2, onde a salinidade geralmente aumenta de montante para jusante, e o transporte de sal é totalmente dependente das intensidades das correntes. Em 1999 Mantovanelli também o classificou como estuário do Tipo 2.

3.1. Resultados para o Cenário Atual

Para o *Cenário Atual*, considerando a configuração atual do cais e dolphins do TCP, serão apresentados todos os resultados para as condições de correntes em condições de maré de quadratura e maré de sizígia. Todos os resultados serão apresentados para condições de maré enchente e vazante.

3.1.1. Maré de quadratura

As velocidades máximas de enchente e vazante em quadratura, obtidas através de modelagem, foram da ordem de 0,4 m/s para toda a área modelada. Na condição de maré enchente, a velocidade de corrente na região da alternativa 02 para o novo cais do TCP, no lado oeste, é inferior a 0,30 m/s. Já na região mais a leste, em frente aos berços do Porto de Paranaguá, as velocidades de corrente variaram de 0,25 a 0,40 m/s (Figura 16).

Para a condição de maré de quadratura vazante, a condição atual na região do cais proposto (lado oeste do Porto de Paranaguá), a velocidade de corrente para toda a área

alcança a velocidade máxima de 0,25 m/s. Na região do cais do Porto de Paranaguá as velocidades de corrente variaram de 0,05 a 0,10 m/s (Figura 17).

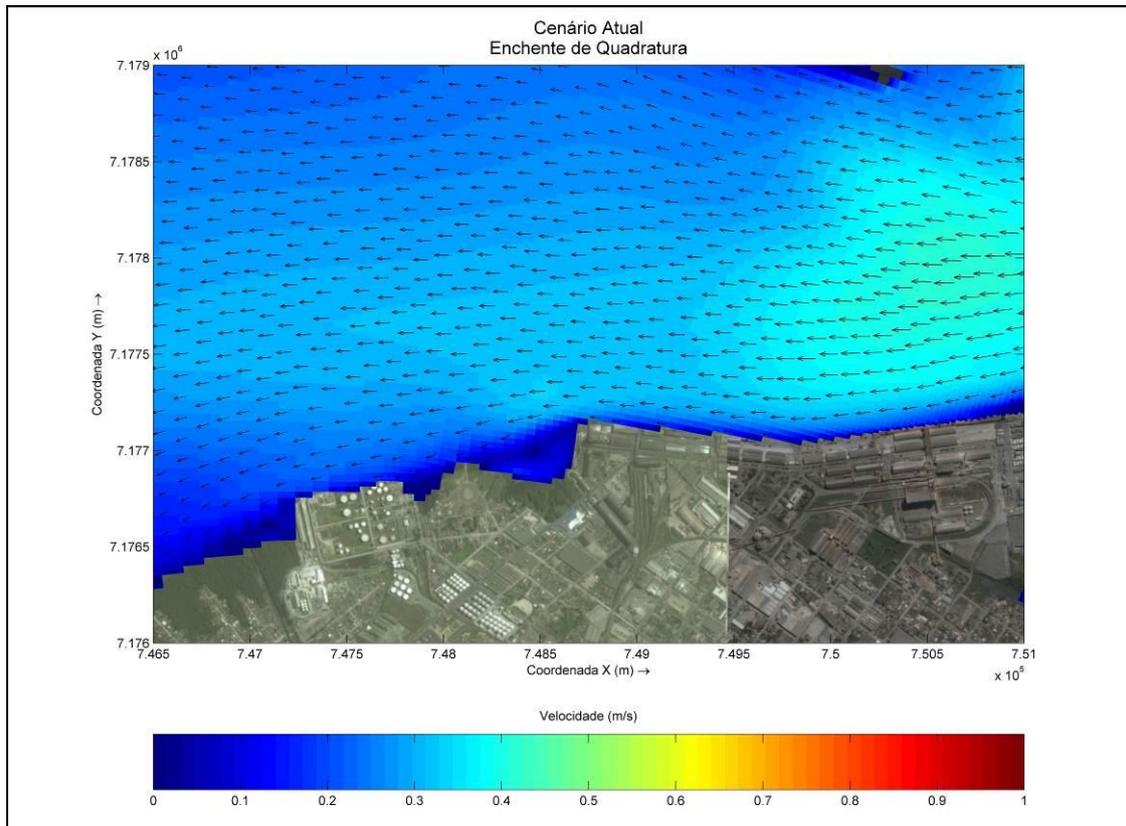


Figura 16. Velocidades máximas de maré enchente em quadratura, para a condição do *Cenário Atual* para a área de estudo.

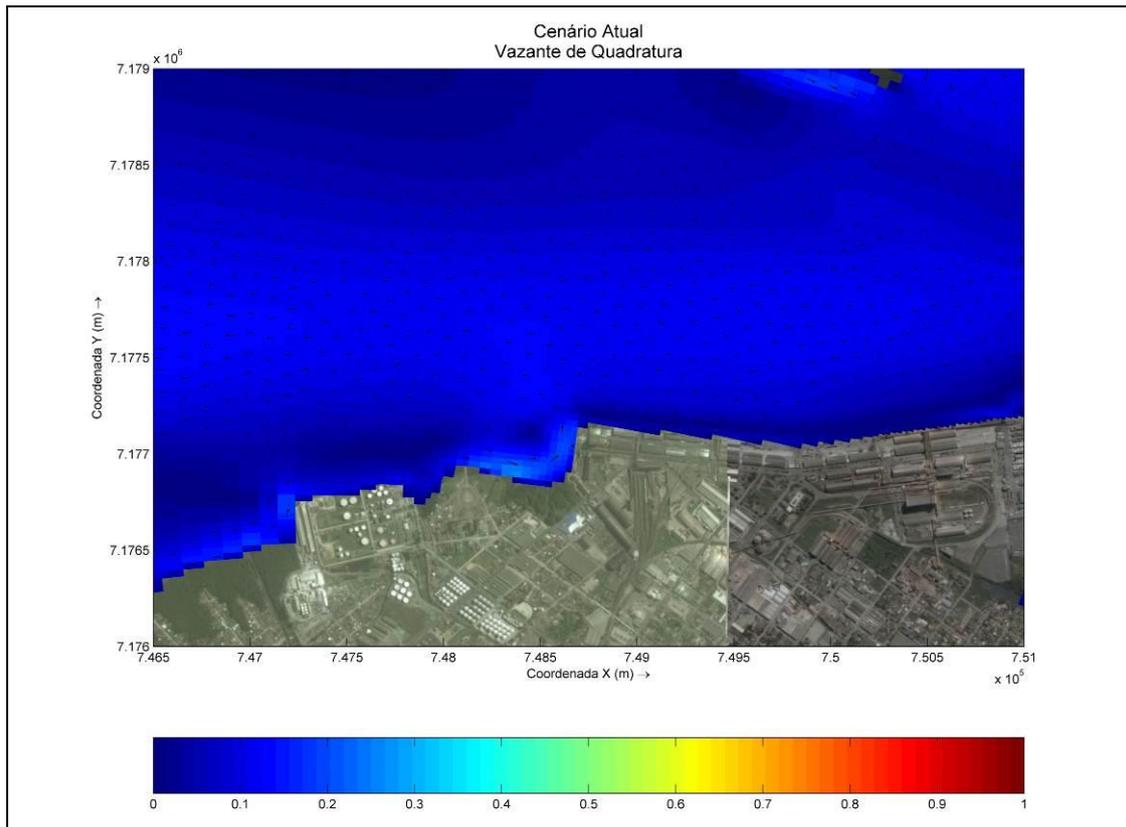


Figura 17. Velocidades máximas de maré vazante em quadratura, para a condição do *Cenário Atual* para a área de estudo.

3.1.2. Maré de sizígia

As velocidades de correntes de enchente e vazante em sizígia máximas foram da ordem de 1 m/s na enchente e 0,75 m/s na vazante. Na condição de maré enchente de sizígia, as velocidades de corrente na região do cais proposto como Alternativa Locacional 02 para o TCP, a oeste do Porto de Paranaguá, atingiram velocidades desde próximo a zero até 0,70 m/s (Figura 18).

Para a condição de maré vazante de sizígia as velocidades de correntes atingem velocidade de até 0,60 m/s na região proposta para o novo cais do TCP, a oeste do cais do Porto de Paranaguá (Figura 19).

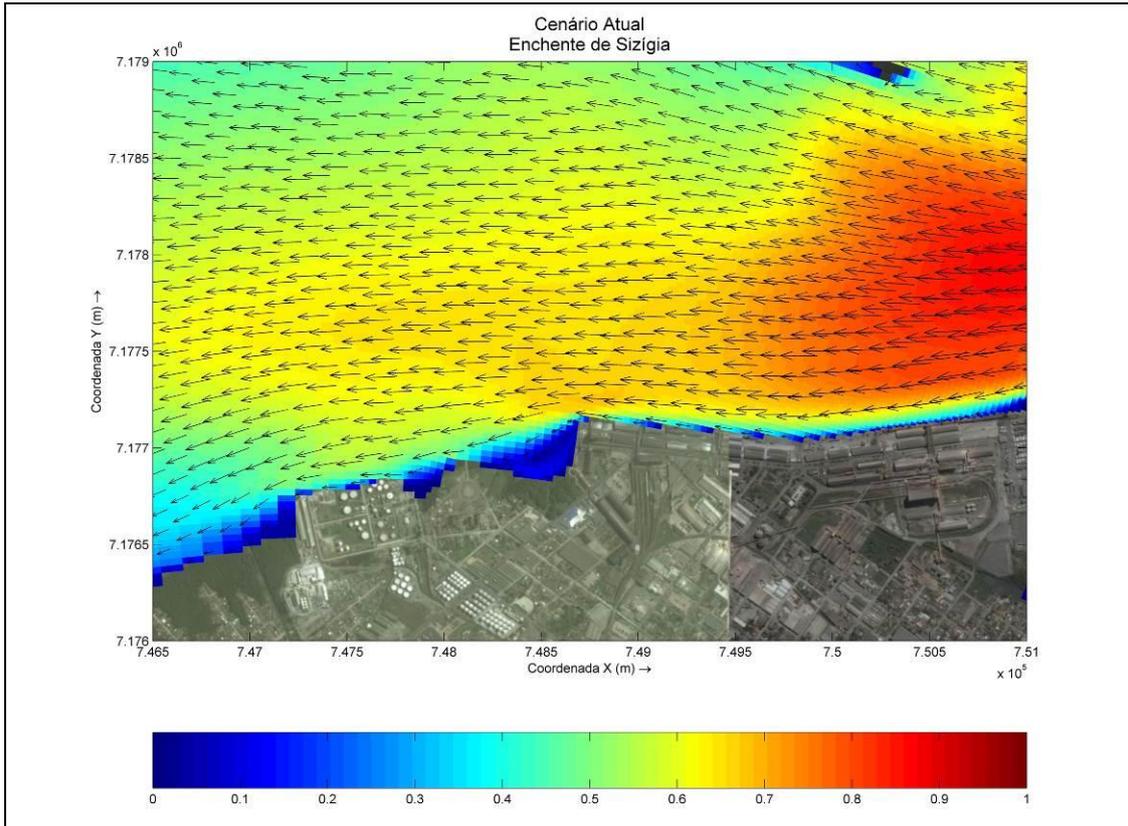


Figura 18. Velocidades máximas de maré enchente em sizígia para a área de estudo, para a condição do *Cenário Atual*.

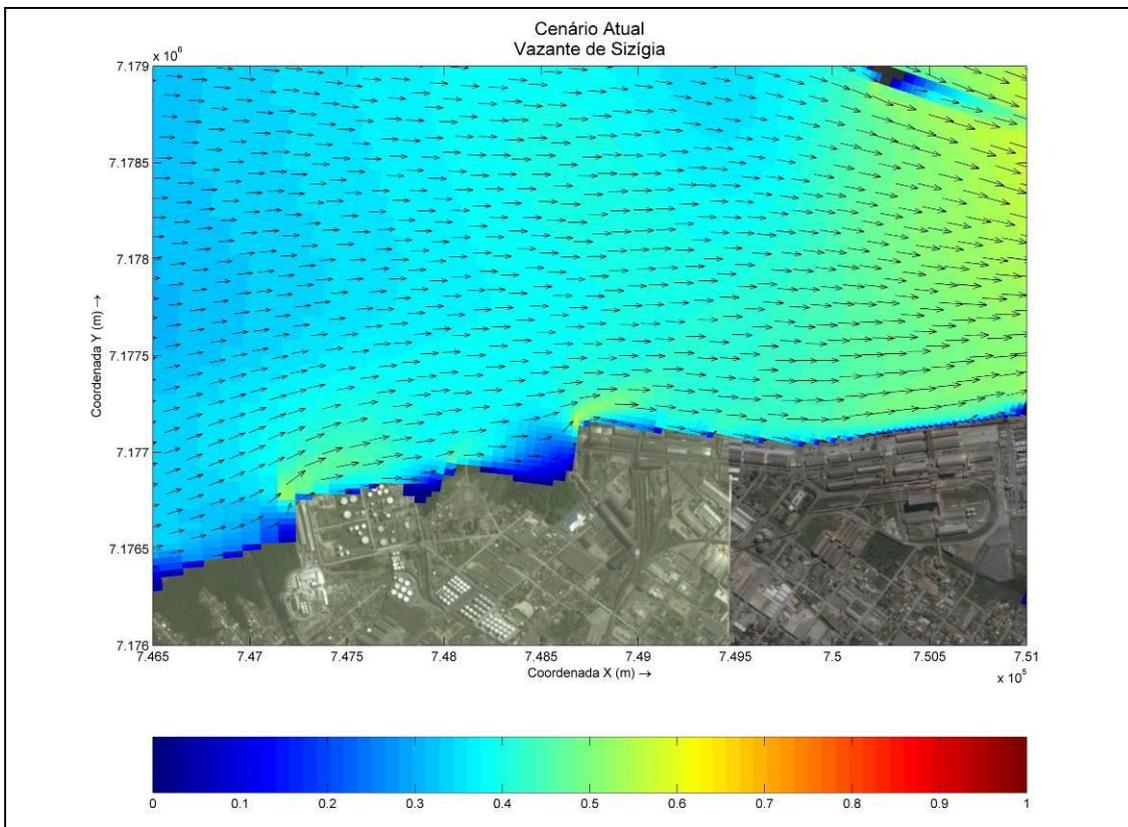


Figura 19. Velocidades máximas de maré vazante em sizígia para a área de estudo, para a condição do *Cenário Atual*.

3.2. Resultados para o Cenário 02

Para o *Cenário 02 – Ampliação do TCP*, que inclui a instalação de um novo píer de 450 metros de extensão e 50 metros de largura, a oeste do Porto de Paranaguá, foram realizadas modelagens nas mesmas condições de correntes de maré de quadratura e maré de sizígia, sendo os resultados apresentados para condições de maré enchente e vazante.

3.2.1. Maré de quadratura

Para as condições de maré de quadratura em enchente e vazante não foi observada variação considerada significativa na velocidade de corrente em relação as correntes observadas no *Cenário Atual*, sendo que os valores de corrente foram da ordem de 0,40 m/s. Observa-se a redução da velocidade de corrente apenas na região proposta para o novo cais do TCP.

Na condição de maré enchente a velocidade de corrente em frente ao novo cais proposto para o TCP, a oeste do cais do Porto de Paranaguá, variou de próximo a zero até 0,40m/s (Figura 20). Verifica-se uma redução significativa na velocidade em frente ao cais, isto se deve pelo aumento da profundidade somado com a presença de um navio atracado no cais para o cenário simulado.

Para as condições de maré de quadratura vazante verifica-se uma situação semelhante à condição observada no *Cenário Atual*. A velocidade para toda a área alcança a velocidade máxima de 0,25 m/s. Na área do cais proposto para o TCP observa-se uma velocidade de corrente variando de próximo a zero até 0,20 m/s, na porção oeste do cais do Porto de Paranaguá (Figura 21).

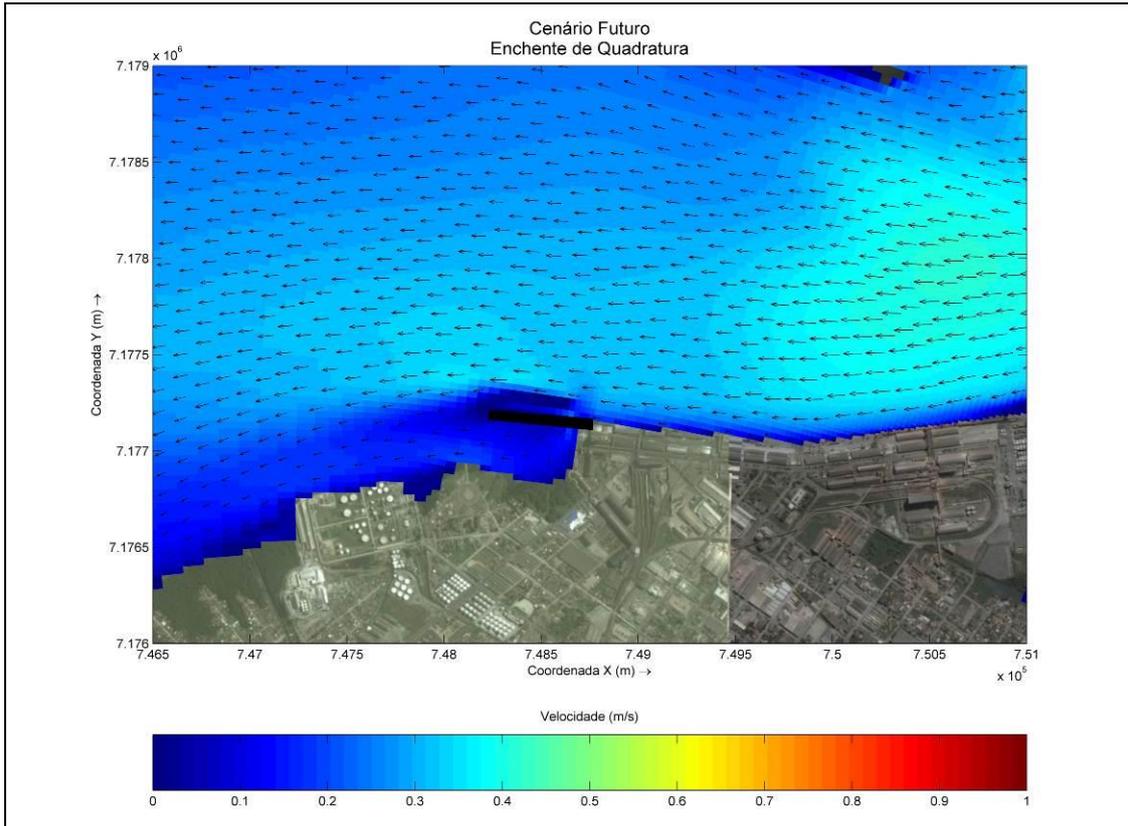


Figura 20. Velocidades máximas de maré enchente em quadratura para a área de estudo no *Cenário 02*, com o projeto de complementação das obras de ampliação do TCP.

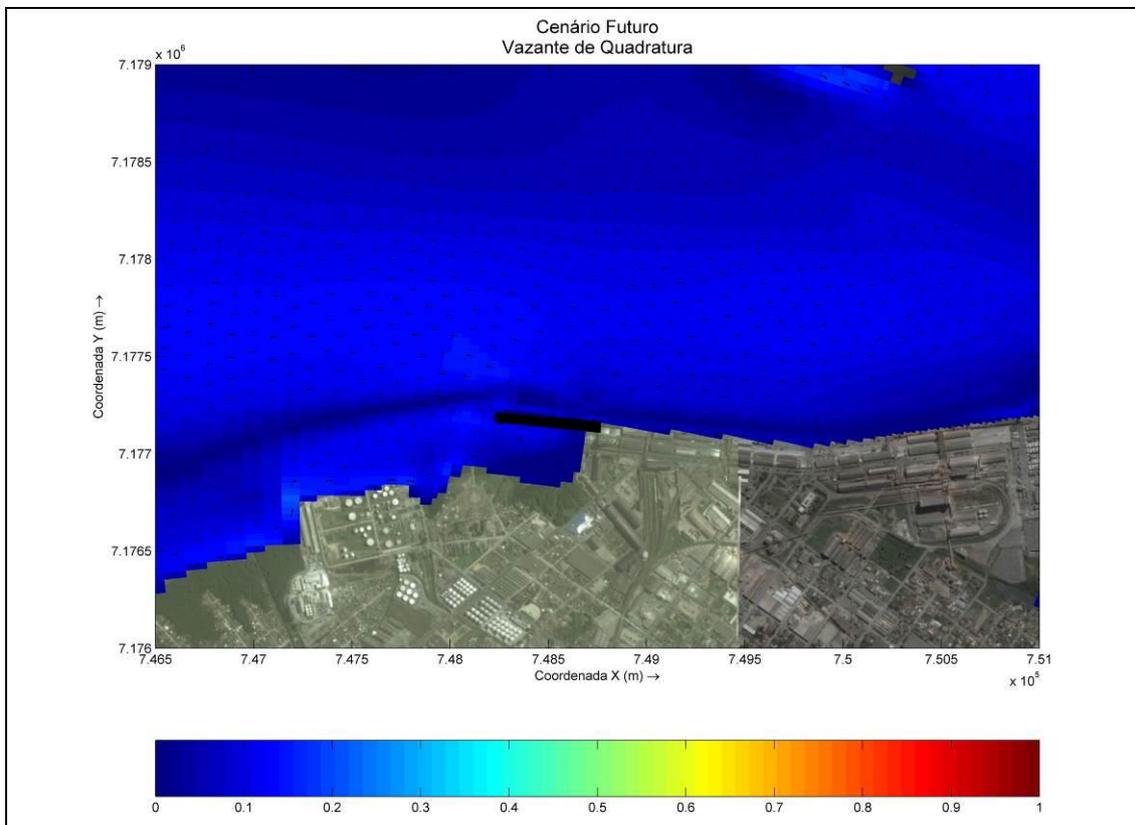


Figura 21. Velocidades máximas de maré vazante em quadratura para a área de estudo no *Cenário 02*, com o projeto de complementação das obras de ampliação do TCP.

3.2.2. Maré de sizígia

Para as condições de maré de sizígia em enchente e vazante, para a condição de *Cenário 02* – Complementação das Obras de Ampliação do Terminal de Containeres de Paranaguá -TCP, observou-se variação na velocidade de corrente em relação ao Cenário Atual na região proposta pela alternativa 02 para o novo cais do TCP. Os valores máximos de corrente observados para a região foram de 1m/s, assim como no Cenário Atual.

Para a condição de maré de sizígia enchente verifica-se uma condição muito semelhante àquela observada na condição do Cenário Atual para toda área modelada com exceção da região proposta para o novo cais do TCP, onde observam-se velocidades variando desde próximas a zero até 0,60 m/s (Figura 22).

Para as condições de maré de sizígia vazante, assim como na maré de sizígia enchente, também verifica-se uma alteração nas velocidades de corrente na região proposta para o novo cais do TCP, variando desde próximo a zero até 0,50 m/s (Figura 23).

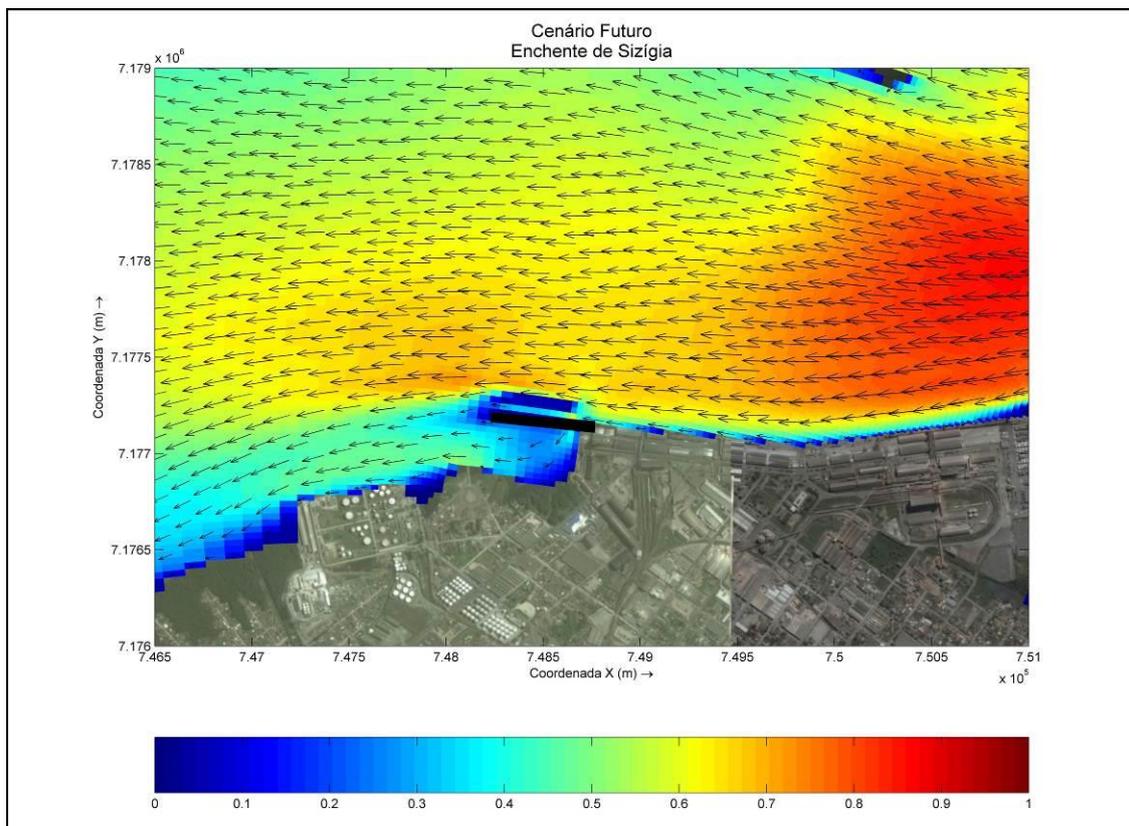


Figura 22. Velocidades máximas de maré enchente em sizígia para a área de estudo no *Cenário 02*, com a complementação das obras de ampliação do TCP.

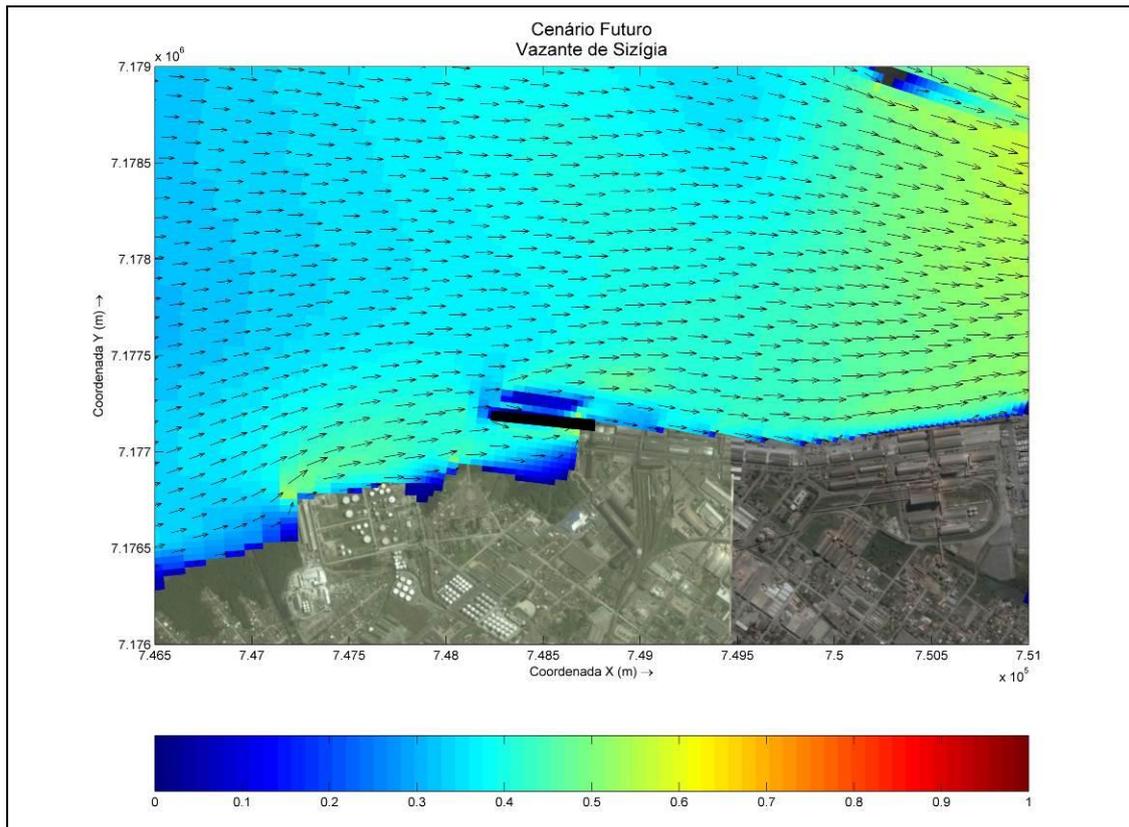


Figura 23. Velocidades máximas de maré vazante em sizígia para a área de estudo no *Cenário 02*, com a complementação das obras de ampliação do TCP.

3.3. Análise dos impactos das obras de complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá

Neste capítulo será apresentada uma discussão e análise da influência do projeto de complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP (*Cenário 02*). Serão apresentadas e analisadas aqui as principais alterações observadas na velocidade de fluxo de corrente em decorrência da instalação dos do cenário de ampliação, na porção à oeste do cais do Porto de Paranaguá, comparativamente à atual configuração que se apresenta o terminal.

3.3.1. Alterações decorrentes da instalação do *Cenário 02*

3.3.1.1. Maré de quadratura

As variações nas correntes de maré enchente em quadratura, comparando o *Cenário Atual* e o *Cenário 02* (complementação das obras de ampliação do TCP), demonstraram ocorrer uma pequena diminuição na velocidade da corrente de até 0,40 m/s para a área diretamente em frente ao novo cais de atracação, onde estaria localizado o navio atracado. Também se observa uma redução na velocidade de corrente na região a oeste do cais proposto na ordem de 0,10 m/s, esta redução se dá pela presença da nova estrutura, bem como do navio atracado, causando uma sombra na área (Figura 24). Para a condição de maré vazante de quadratura, as variações de correntes, entre o *Cenário Atual* e o *Cenário 02* (complementação das obras de ampliação do TCP), são mínimas, na ordem de 0,10 m/s, localizadas diretamente a oeste do navio atracado e a sul do cais proposto. Também verifica-se um aumento da velocidade de corrente localizado ao oeste da nova estrutura, na ordem de 0,20 m/s (Figura 25).

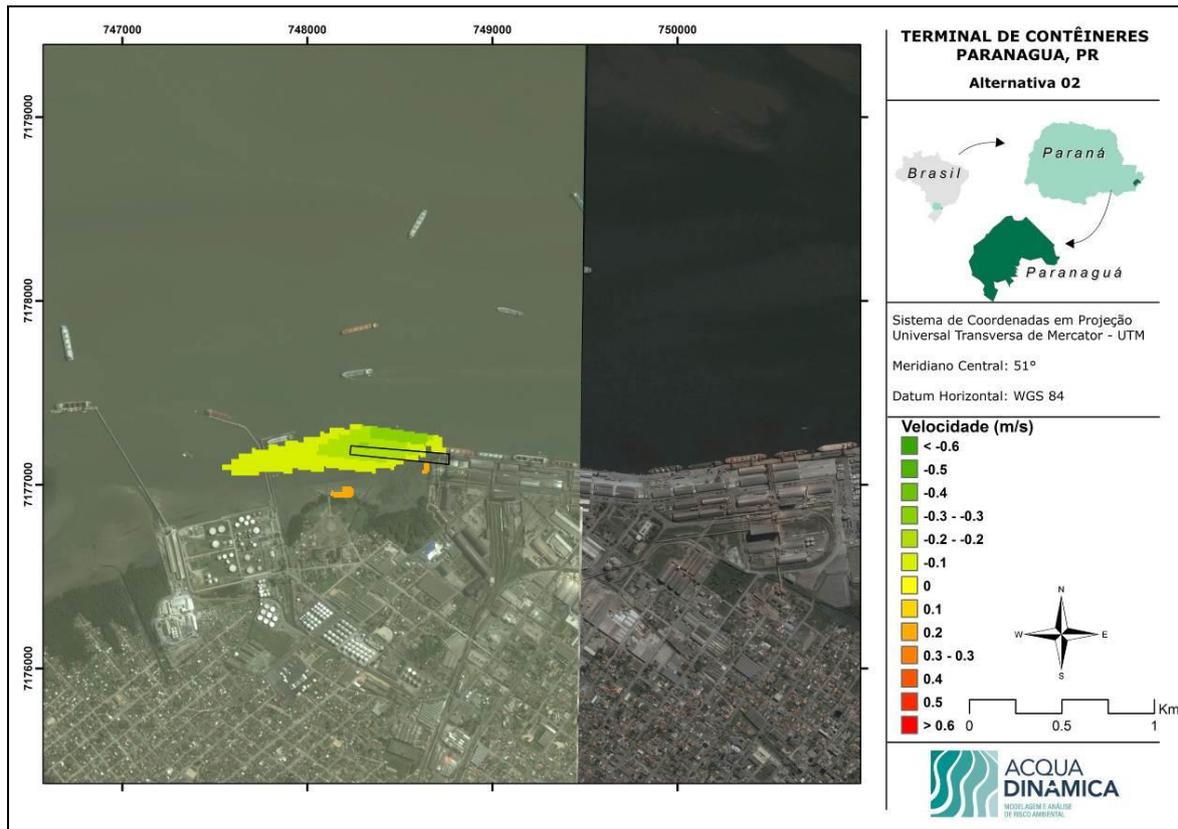


Figura 24. Variação na velocidade na área adjacente ao Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP, para a maré enchente em quadratura do Cenário 02.

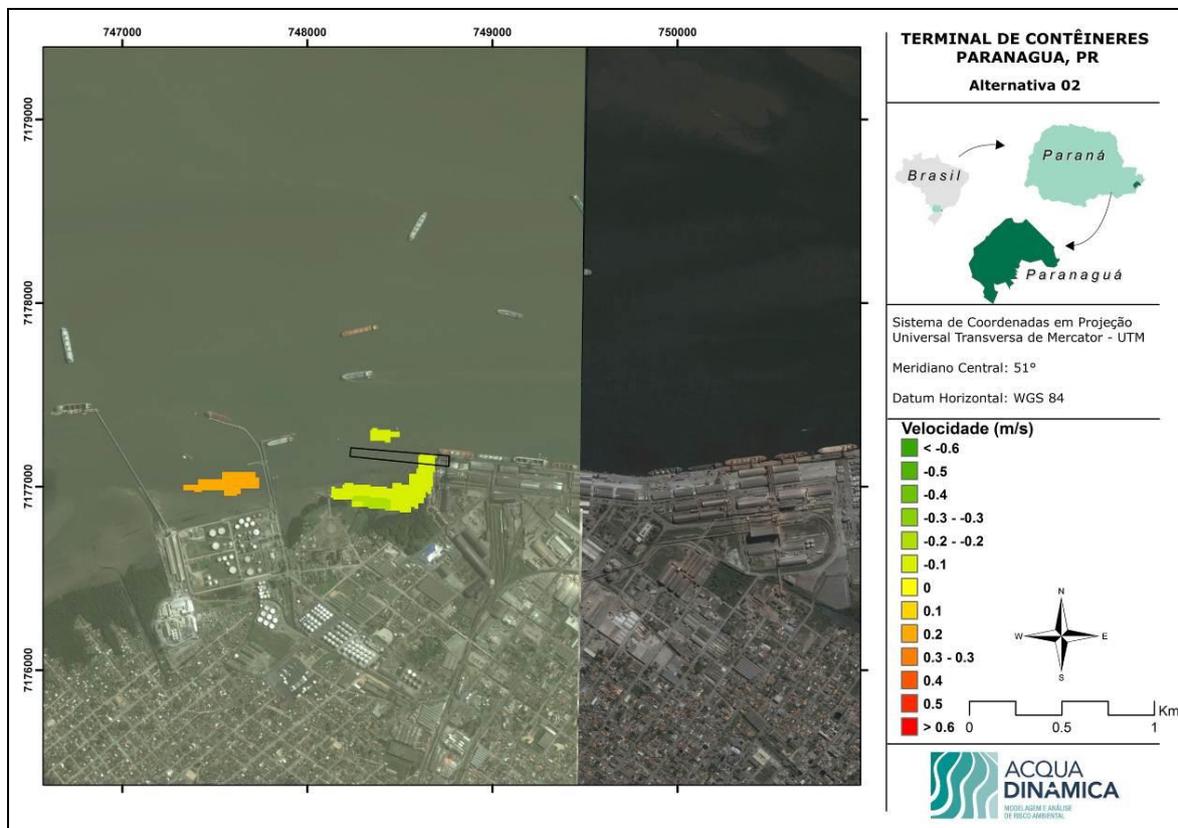


Figura 25. Variação na velocidade na área adjacente ao Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP, para a maré vazante em quadratura do Cenário 02.

3.3.1.2. Maré de sizígia

As variações nas correntes de maré em sizígia, comparando o Cenário Atual e o Cenário 02 (ampliação do TCP), demonstraram ocorrer uma diminuição na velocidade da corrente de até 0,60 m/s (enchente e vazante), para a mesma área observada para a maré de quadratura, ao norte e oeste do cais proposto para Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP. Também é observado um aumento da velocidade em até 0,3 m/s ao sul do cais devido ao estreitamento gerado pela nova estrutura (Figura 26 a Figura 27).

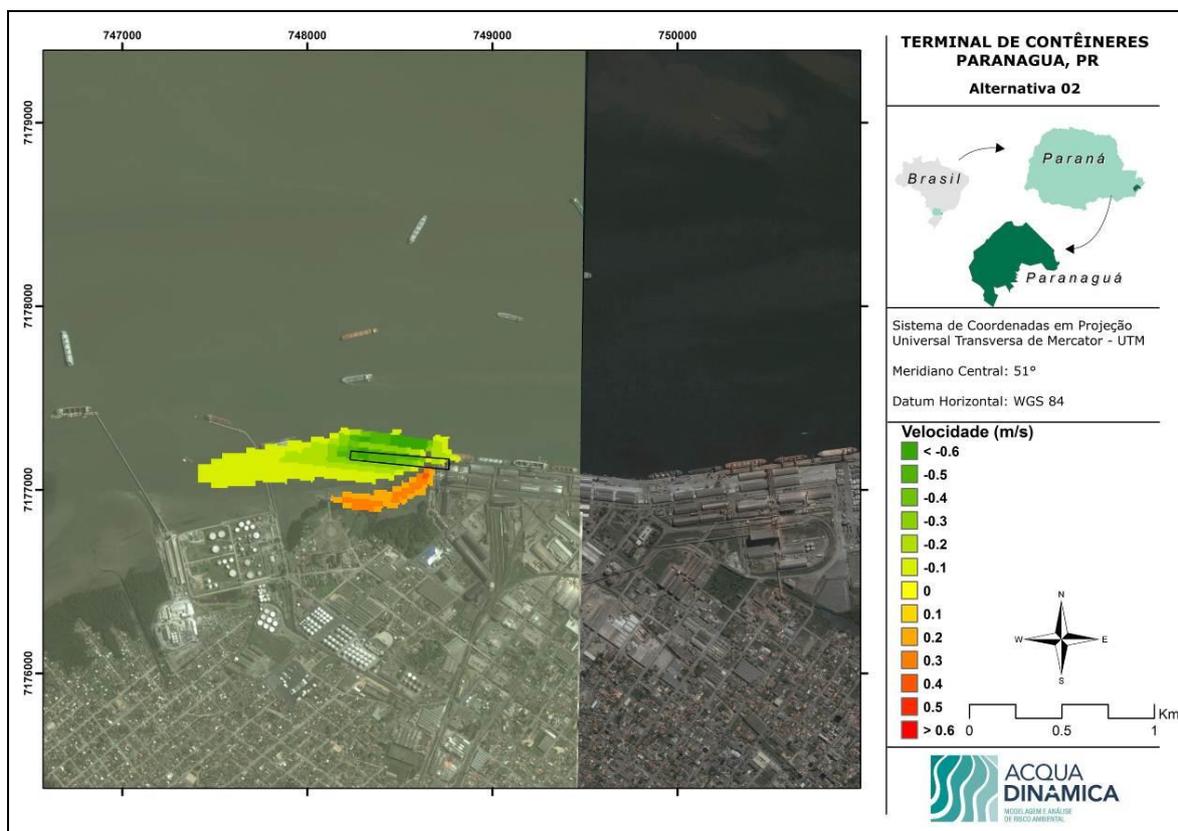


Figura 26. Variação na velocidade na área adjacente ao Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, para a maré enchente em sizígia do *Cenário 02*.

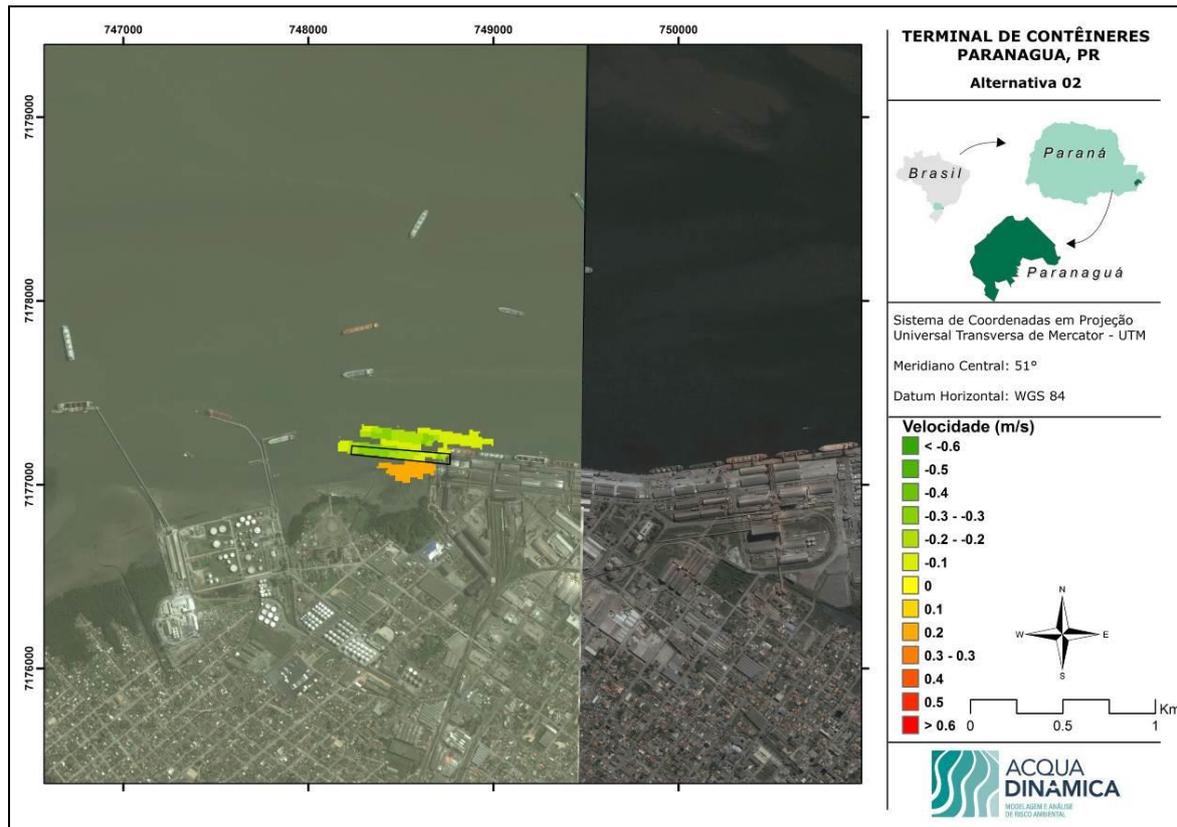


Figura 27. Variação na velocidade na área adjacente ao Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP, para a maré vazante em sizígia do *Cenário 02*.

3.4. Potenciais Impactos do Empreendimento nos Padrões de Propagação de Ondas

A modelagem de propagação de ondas da região costeira até o interior da baía de Paranaguá foi realizada a partir de dados obtidos de uma série temporal de 5 anos extraída do modelo global WW3, descritos anteriormente no capítulo de metodologia.

Como exemplo, da Figura 28 a Figura 31 são demonstrados os resultados dos casos de ondas de maior frequência de ocorrência para cada direção predominante na região (Tabela 3).

Tabela 3. Casos de ondas classificados como mais representativos na região da baía de Paranaguá.

Altura Significativa - Hs (m)	Período de Pico - Tp (s)	Direção de Onda (°)	Frequência de Ocorrência - dias/ano (%)
1.21	7.30	85.31 - E	16
1.23	8.09	112.71 - ESSE	13
1.37	9.12	141.22 - SE	10
1.51	9.61	164.55 - SSE	8

Observa-se a partir dos resultados que nenhum dos casos simulados apresentou altura significativa de onda superior a 5 centímetros ao alcançarem a região das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, demonstrando que as ondulações incidentes não possuem influência nas modificações hidrodinâmicas e morfológicas junto à região de interesse. Desta forma, pode-se concluir que as correntes de maré e a vazão são as únicas forçantes que influenciam na hidrodinâmica e morfologia na área de estudo, não sendo necessário realizar uma avaliação do impacto das ondas sobre as obras a serem realizadas.

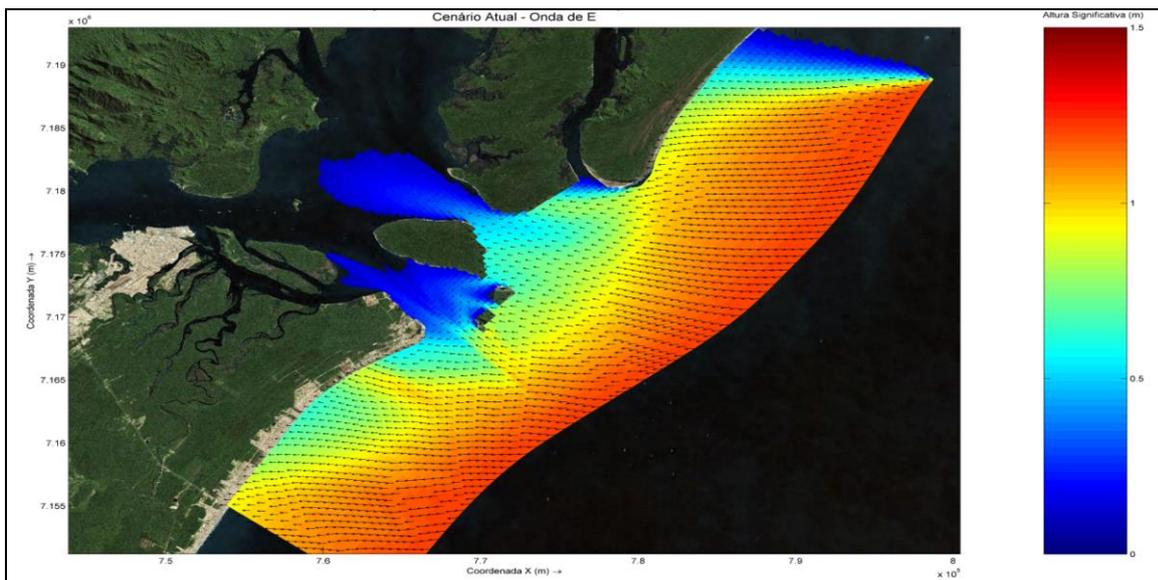


Figura 28. Altura significativa de ondas (Hs) para ondas provenientes do quadrante Leste (E).

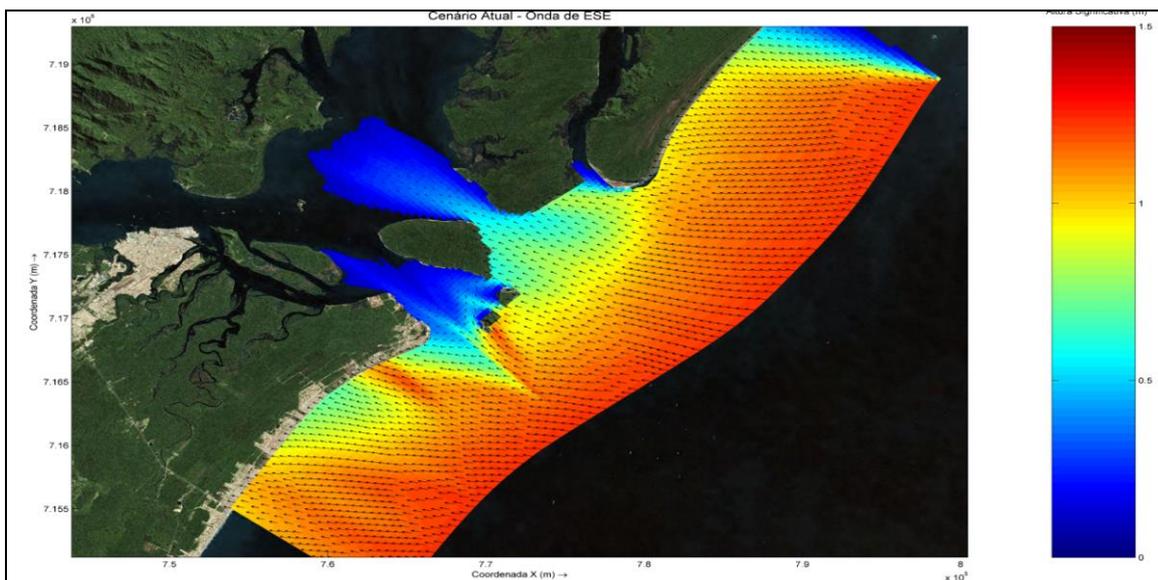


Figura 29. Altura significativa de ondas (Hs) para ondas provenientes do quadrante Leste-Sudeste (ESE).

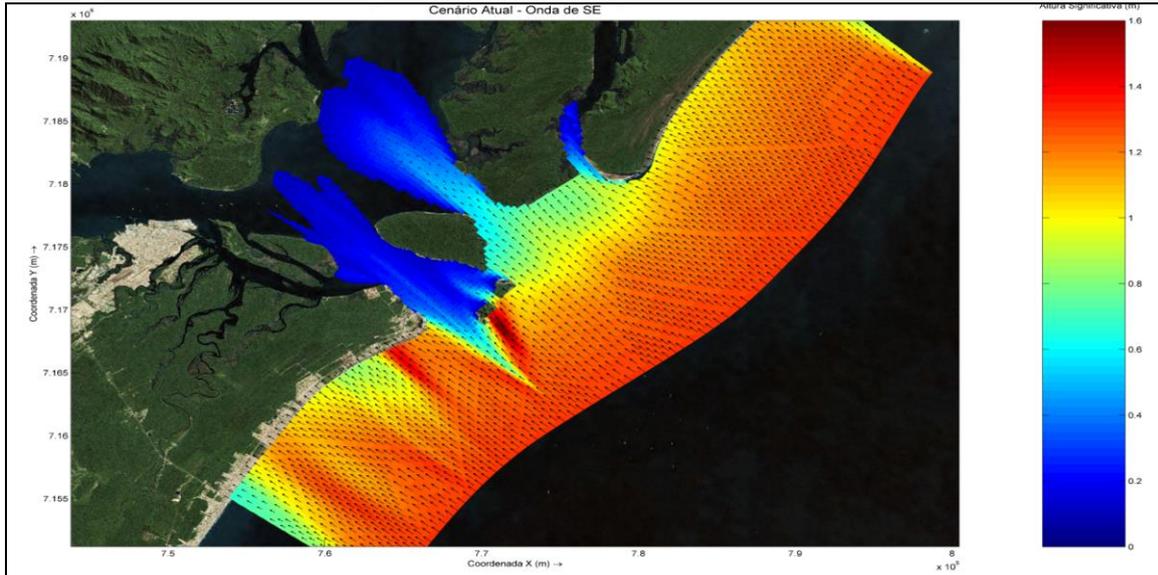


Figura 30. Altura significativa de ondas (Hs) para ondas provenientes do quadrante Sudeste (SE).

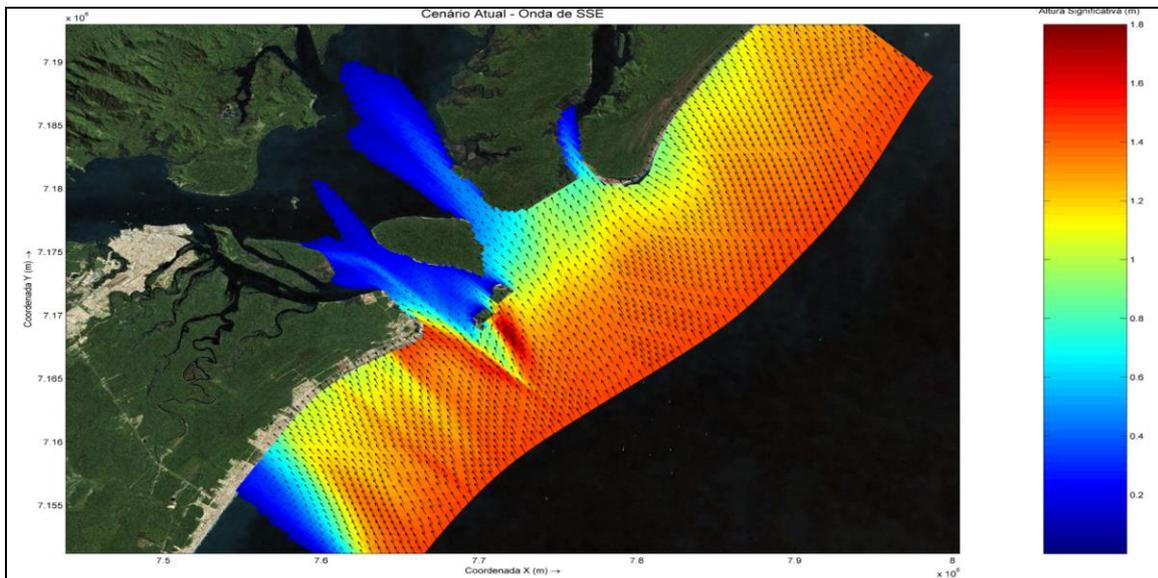


Figura 31. Altura significativa de ondas (Hs) para ondas provenientes do quadrante Sul-Sudeste (SSE).

3.5. Potenciais Impactos do Empreendimento na Morfologia de Fundo da Região em Estudo

Para analisarmos as variações morfológicas no fundo da área de estudo foi realizada uma modelagem hidrodinâmica pelo período de 10 dias, sendo que os processos de transporte de sedimentos e alterações morfológicas foram calculadas para o período de 1 ano e 10 anos através da utilização de fator de escala de tempo morfológico.

Uma das complicações inerentes em realizar projeções morfológicas com base em fluxos hidrodinâmicos, é que os desenvolvimentos de mudanças morfológicas ocorrem em uma

escala de tempo certas vezes maior do que mudanças típicas do fluxo. Por exemplo, os fluxos de maré mudam significativamente em um período de horas, enquanto que a morfologia de fundo irá sofrer modificações significativas em semanas, meses, ou até mesmo anos. Uma técnica para a abordagem deste problema é usar “um fator de escala de tempo morfológico”, com o qual a velocidade das mudanças morfológicas é escalada até uma taxa que começa a ter um impacto significativo nos fluxos hidrodinâmicos. Isto pode ser obtido especificando um valor da variável no arquivo de entrada da morfologia (GARCIA, 2008).

Para a modelagem morfológica foi utilizado neste estudo um parâmetro de aceleração morfológica (MORFAC). O MORFAC trabalha multiplicando-se o fluxo de erosão/sedimentação dos sedimentos em suspensão e os gradientes das componentes vetoriais de transporte por fundo por um fator espacialmente constante. Esse procedimento multiplica efetivamente todas as mudanças de elevação do fundo que ocorrem durante um passo de tempo do modelo hidrodinâmico pelo fator MORFAC e, pode-se dizer, efetivamente, que o passo de tempo morfológico torna-se MORFAC vezes maior que o passo de tempo do modelo hidrodinâmico (LESSER, 2009).

Para se avaliar os potenciais impactos da complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, o modelo morfodinâmico foi executado para dois cenários: (1) *Cenário Atual* e (2) *Cenário 02 (ampliação do TCP)*. Os resultados obtidos nas simulações do cenário futuro foram comparados com o cenário atual, para indicar os possíveis impactos morfológicos influenciados por este projeto de ampliação. O modelo foi executado para dois períodos: (1) um ano (curto período), cobrindo de maneira satisfatória o ciclo anual de marés e a sazonalidade existente no padrão de propagação de ondas na região; e (2) dez anos (longo período) considerando alterações decadais.

O resultado dos potenciais impactos na morfologia é apresentado nas Figura 32 e Figura 33. As regiões em tons de amarelo, laranja e vermelho determinam os locais que poderão sofrer acúmulo de material sedimentar (locais com características deposicionais). As regiões que apresentaram cores azuis demonstram os locais onde poderão ocorrer variações negativas do terreno (erosão).

Analisando somente a ampliação do TCP (*Cenário Futuro*) em comparação com o *Cenário Atual*, após um ano de simulação (Figura 32), os valores médios de deposição e erosão para a comparação foi de 1 metro ao norte do cais proposto como alternativa 02 para o TCP. Também verificam-se pequenos focos de variações de deposição e erosão de até 3 metros diretamente ao norte e noroeste da área onde observa-se a deposição.

As alterações morfológicas estão de acordo com as alterações de velocidade de corrente observadas, principalmente durante as enchentes de quadratura e sizígia, onde ocorre uma redução na velocidade diretamente em frente ao cais proposto, propiciando a deposição de material sedimentar nesta área.

Para a análise da ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP de longo período (Figura 33), 10 anos, comparando o *Cenário Futuro* e o *Cenário Atual*, se verifica uma deposição mais acentuada, atingindo até 10 metros em frente ao cais proposto e uma erosão de até 6 metros na diretamente ao norte da área onde se observa a deposição.

Assim como para a simulação de um ano, as variações morfológicas são coerentes com as alterações apresentadas para as velocidades de corrente, limitadas a área diretamente em torno do cais proposto. A alta deposição observada, de até 10 metros, se deve à redução da velocidade de corrente, principalmente nos períodos de enchente, tanto de quadratura quanto de sizígia, mas também do aprofundamento para 16,5 metros para a instalação do cais, permitindo o acréscimo de material sedimentar, uma vez que a profundidade local atual naturalmente apresenta variação de 6 a 10 metros.

Assim como nos resultados para simulação de 1 ano, as alterações morfológicas estão relacionadas diretamente com a ampliação do cais proposto como alternativa 02 para o TCP, não sendo verificadas alterações em outras regiões.

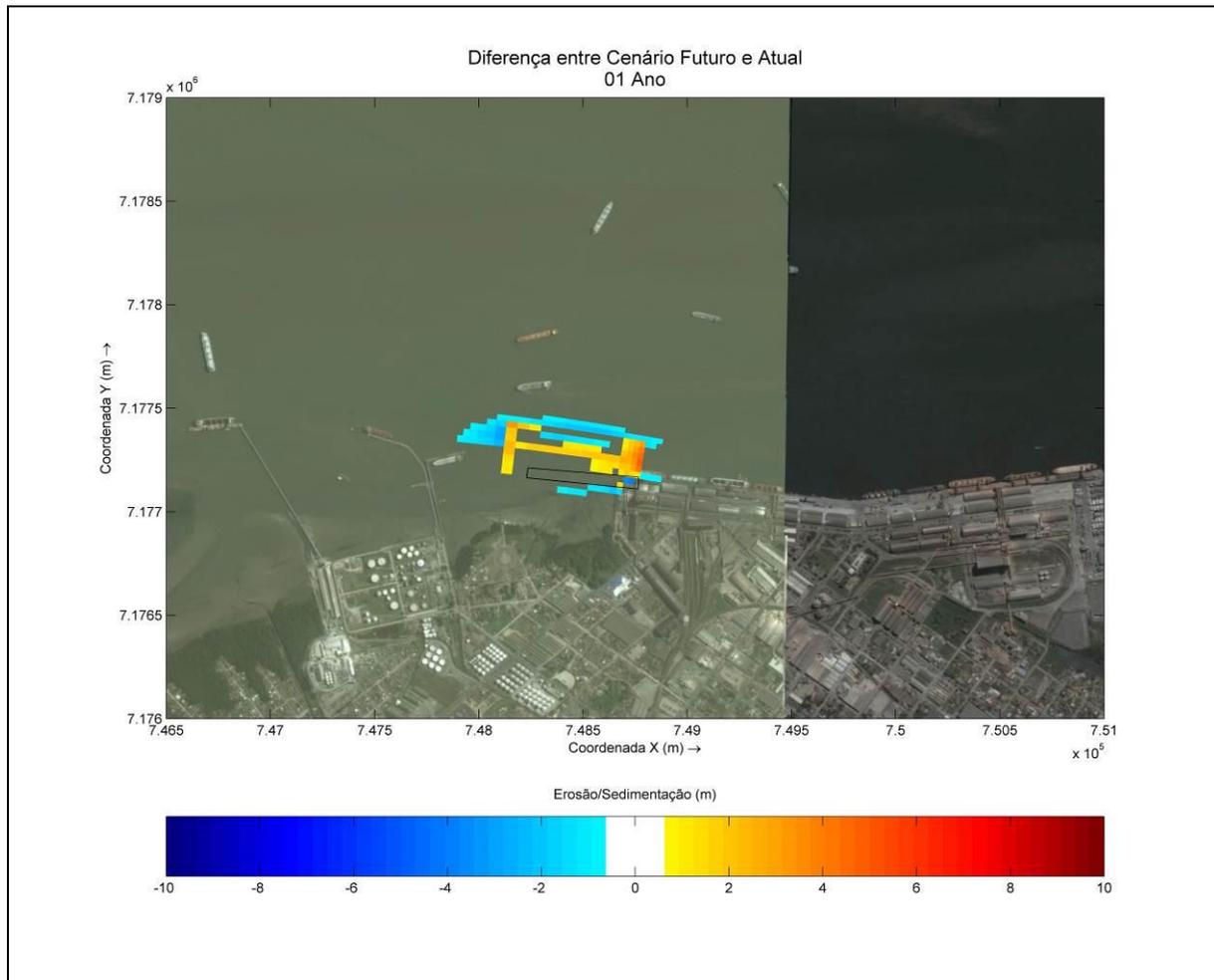


Figura 32. Modificações morfológicas na região do TCP entre o *Cenário Atual* e o *Cenário 02*, ao final de um ano de simulação.

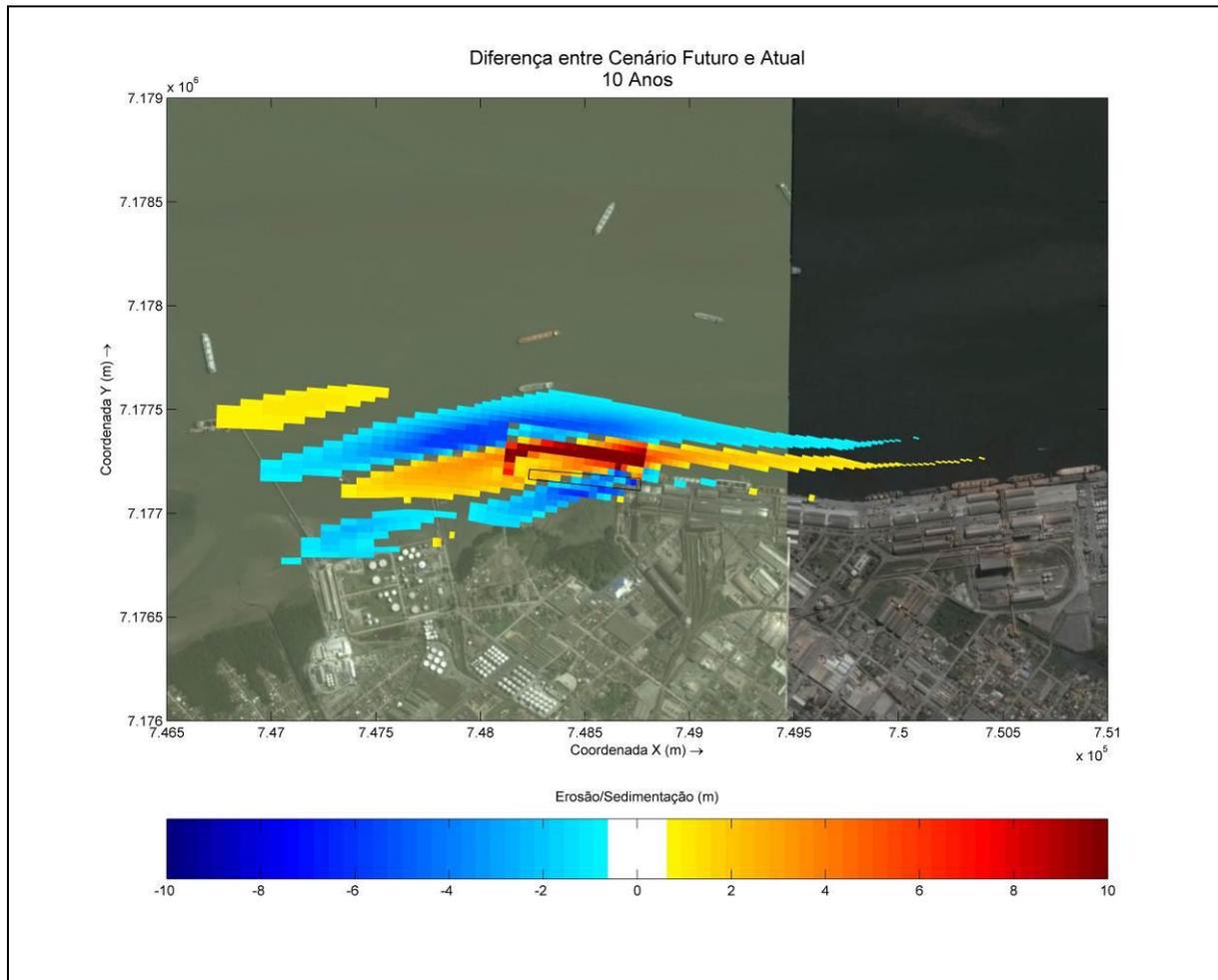


Figura 33. Modificações morfológicas na região do TCP entre o *Cenário Atual* e o *Cenário 02*, ao final de dez anos de simulação.

Importante salientar que todas as modelagens foram executadas considerando todos os berços com navios atracados durante todo o tempo, sendo este o cenário mais crítico em se tratando de alterações hidrodinâmicas e morfológicas. No entanto, este cenário crítico não ocorre na prática, sendo que os impactos sobre a hidrodinâmica e morfologia deverão ser inferiores aos aqui apresentados.

Outro fator a ser considerado é que em nenhum momento, durante a execução das modelagens numéricas, foi considerada a execução de dragagens para a manutenção da profundidade operacional nas áreas portuárias.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou os resultados de simulação hidro-morfodinâmica para a complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP. O modelo foi executado para o *Cenário 01 (Atual)* e o *Cenário 02 (ampliação do TCP)*, com o objetivo de se avaliar os potenciais impactos gerados pela ampliação do empreendimento sobre a hidrodinâmica, na propagação de ondas e, também, nas mudanças morfológicas de fundo.

Para possibilitar uma eficiente avaliação dos potenciais impactos da ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP sobre as correntes de maré, ondas e consequentes modificações morfológicas, foi realizada uma simulação por um período de 15 dias, visando cobrir um ciclo completo de maré de sizígia e de quadratura. Entretanto, para a caracterização da variação morfológica na área de estudo, foi realizada a análise de curto período para 1 ano e de longo período, para 10 anos.

Para o *Cenário Atual* as velocidades máximas de enchente e vazante em quadratura, obtidas através de modelagem, foram da ordem de 0,40 m/s para toda a área modelada. Na condição de maré enchente, a velocidade de corrente na região da alternativa 02 para o novo cais do TCP é inferior a 0,30 m/s. Para a condição de maré de quadratura vazante, a condição atual na região do cais proposto, a velocidade de corrente para toda a área alcança a velocidade máxima de 0,25 m/s.

Para o *Cenário Atual* as velocidades máximas de correntes de enchente e vazante em sizígia foram da ordem de 1 m/s e 0,75 m/s respectivamente. Na condição de maré enchente de sizígia, as velocidades de corrente na região do cais proposto como alternativa 02 para o TCP atingiram velocidades desde próximo a zero até 0,70 m/s. Para a condição de maré vazante de sizígia as velocidades de correntes atingem velocidade de até 0,60 m/s.

Para o *Cenário 02* (ampliação do TCP), nas condições de maré de quadratura em enchente e vazante, não foi observada variação considerada significativa na velocidade de corrente em relação as correntes observadas no *Cenário Atual*, sendo que os valores médios de corrente foram da ordem de 0,40 m/s. Observa-se a redução da velocidade de corrente na região proposta para o novo cais do TCP.

Na condição de maré enchente a velocidade de corrente em frente ao novo cais proposto para o TCP variou de próximo a zero até 0,40 m/s e próximo a zero até 0,20 m/s para a maré vazante de quadratura.

Para as condições de maré de sizígia em enchente e vazante, para a condição de *Cenário 02 – ampliação do TCP*, observou-se variação na velocidade de corrente em relação ao *Cenário Atual* na região proposta pela alternativa 02 para o novo cais do TCP. Os valores máximos de corrente observados para a região foram de 1m/s, assim como no *Cenário Atual*. Para a condição de maré de sizígia enchente verifica-se uma condição muito semelhante àquela observada na condição do *Cenário Atual* para toda área modelada com exceção da região proposta para o novo cais do TCP, onde observam-se velocidades variando desde próximas a zero até 0,60 m/s. Para as condições de maré de sizígia vazante, assim como na maré de sizígia enchente, também verifica-se uma alteração nas velocidades de corrente na região proposta para o novo cais do TCP, variando desde próximo a zero até 0,50 m/s.

As variações nas correntes de maré enchente em quadratura, comparando o *Cenário Atual* e o *Cenário 02* (complementação das obras de ampliação do TCP), demonstraram ocorrer uma pequena diminuição na velocidade da corrente de até 0,40 m/s para a área diretamente em frente ao novo cais de atracação, onde estaria localizado o navio atracado. Também se observa uma redução na velocidade de corrente na região a oeste do cais proposto na ordem de 0,10 m/s, esta redução se dá pela presença da nova estrutura bem como do navio atracado, causando uma sombra na área. Para a condição de maré vazante de quadratura, as variações de correntes, entre o *Cenário Atual* e o *Cenário 02* (complementação das obras de ampliação do TCP), são mínimas, na ordem de 0,10 m/s, localizadas diretamente a oeste do navio atracado e a sul do cais proposto. Também verifica-se um aumento da velocidade de corrente localizado ao oeste da nova estrutura, na ordem de 0,20 m/s

As variações nas correntes de maré em sizígia, comparando o *Cenário Atual* e o *Cenário 02*, demonstraram ocorrer uma diminuição na velocidade da corrente de até 0,60 m/s (enchente e vazante), para a mesma área observada para a maré de quadratura, ao norte e oeste do cais proposto para o Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP. Também é observado um aumento da velocidade em até 0,3 m/s ao sul do cais devido ao estreitamento gerado pela nova estrutura.

Em relação à modelagem de ondas, para o *Cenário Atual* a simulação de ondas da região costeira até o interior da baía de Paranaguá foi realizada a partir de dados obtidos de uma série temporal de 5 anos extraída do modelo global WW3, descritos anteriormente no capítulo de metodologia.

Observa-se a partir dos resultados que nenhum dos casos simulados apresentou altura significativa de onda superior a 5 centímetros ao alcançarem a região das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, demonstrando que as ondulações incidentes não possuem influência nas modificações hidrodinâmicas e morfológicas junto à região de interesse. Desta forma, pode-se concluir que as correntes de maré e a vazão são as únicas forçantes que influenciam na hidrodinâmica e morfologia na área de estudo.

Para se avaliar os potenciais impactos da complementação das obras de ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP, o modelo morfodinâmico foi executado para dois cenários: (1) *Cenário Atual* e (2) *Cenário 02 (complementação das obras de ampliação do TCP)*. Os resultados obtidos nas simulações do cenário futuro foram comparados com o cenário atual, para indicar os possíveis impactos morfológicos influenciados por este projeto de ampliação. O modelo foi executado para dois períodos: (1) um ano (curto período), cobrindo de maneira satisfatória o ciclo anual de marés e a sazonalidade existente no padrão de propagação de ondas na região; (2) dez anos (longo período) considerando alterações decadais.

A análise dos impactos sobre a morfologia analisando a ampliação do TCP (*Cenário 02*) em comparação com o *Cenário Atual*, após um ano de simulação, os valores máximos de deposição, para a comparação entre o *Cenário 02* e o *Cenário Atual*, foi de 1 metro relacionado diretamente com a instalação do cais, não sendo verificadas alterações em outras regiões. As alterações morfológicas estão de acordo com as alterações de velocidade de corrente observadas, principalmente durante as enchentes de quadratura e sizígia, onde ocorre uma redução na velocidade diretamente em frente ao cais proposto, propiciando a deposição de material sedimentar nesta área.

Para a análise do projeto de complementação da ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP de longo período, 10 anos, comparando o *Cenário 02* e o *Cenário Atual*, se verifica uma deposição mais acentuada, atingindo até 10 metros em frente ao cais proposto e uma erosão de até 6 metros na diretamente ao norte da área onde se observa a deposição.

Assim como para a simulação de um ano, as variações morfológicas são coerentes com as alterações apresentadas para as velocidades de corrente, limitadas à área diretamente em torno do cais proposto. A alta deposição observada, de até 10 metros, se deve à redução da velocidade de corrente, principalmente nos períodos de enchente, tanto de quadratura quanto de sizígia, mas também do aprofundamento para 16,5 metros para a instalação do cais, permitindo o acréscimo de material sedimentar, uma vez que a profundidade local atual naturalmente apresenta variação de 6 a 10 metros.

E, assim como nos resultados para simulação de 1 ano, as alterações morfológicas estão relacionadas diretamente com a ampliação do cais proposto como alternativa 02 para o TCP, não sendo verificadas alterações em outras regiões.

Importante salientar que todas as modelagens foram executadas considerando todos os berços com navios atracados durante todo o tempo, sendo este o cenário mais crítico em se tratando de alterações hidrodinâmicas e morfológicas. No entanto, este cenário crítico não ocorre na prática, sendo que os impactos sobre a hidrodinâmica e morfologia deverão ser inferiores aos aqui apresentados.

Outro fator a ser considerado é que em nenhum momento, durante a execução das modelagens numéricas, foi considerada a execução de obras de dragagens para a manutenção da profundidade operacional nas áreas portuárias.

Conclui-se desta forma que o projeto proposto como alternativa 02 para o novo cais do Terminal de Contêineres de Paranaguá – TCP causa alterações significativas na velocidade de correntes e variações morfológicas na região diretamente ao seu entorno.

5. REFERÊNCIAS

CPE - Coastal Planning Engineering, 2010. Modelagem Numérica Da Hidrodinâmica, Propagação De Ondas E Mudanças Morfológicas Na Região Do Tecon-SC, Itapoá - Santa Catarina. Relatório Técnico.

GARCIA, G. E. 2008. Implementação de Modelo Numérico para Avaliação do Transporte de Sedimentos no Reservatório de Itaipu – PR. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2008.

LESSER, G.R. 2009. An approach to medium-term coastal morphological modelling. TU Delft. PhD Thesis, 2009.

MANTOVANELLI, A. 1999. Caracterização da dinâmica hídrica e do material em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem. Dissertação de mestrado em Geologia – Área de Concentração em Geologia Ambiental –Setor de Ciências da Terra/UFPR, 1999.

MARONE, E.; GUIMARÃES, M.R.F.; CAMARGO, R.; PRATA, Jr., V.P. & KLINGENFUSS, M.S. Caracterização física das condições oceanográficas, meteorológicas e costeiras das zonas estuarinas da Baía de Paranaguá. VI Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, Mar del Plata, Argentina, 1995.

RIS, R.C., N. BOOIJ; L.H. HOLTHUIJSEN, 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part II, Verification, Journal of Geophysical Research. C4, 104, 7649-7666.

WL|DelftHydraulics, 1999. Modification first-guess SWAN and benchmark tests for SWAN: Report no. H3515, Delft.

WL|DelftHydraulics, 2000. Physical formulations SWAN and data for validation: Report no. H3528, Delft.

WL | Delft Hydraulics, 2010. Delft3D-Wave User Manual, version 3.04. Disponível em <<http://www.wldelft.nl>>