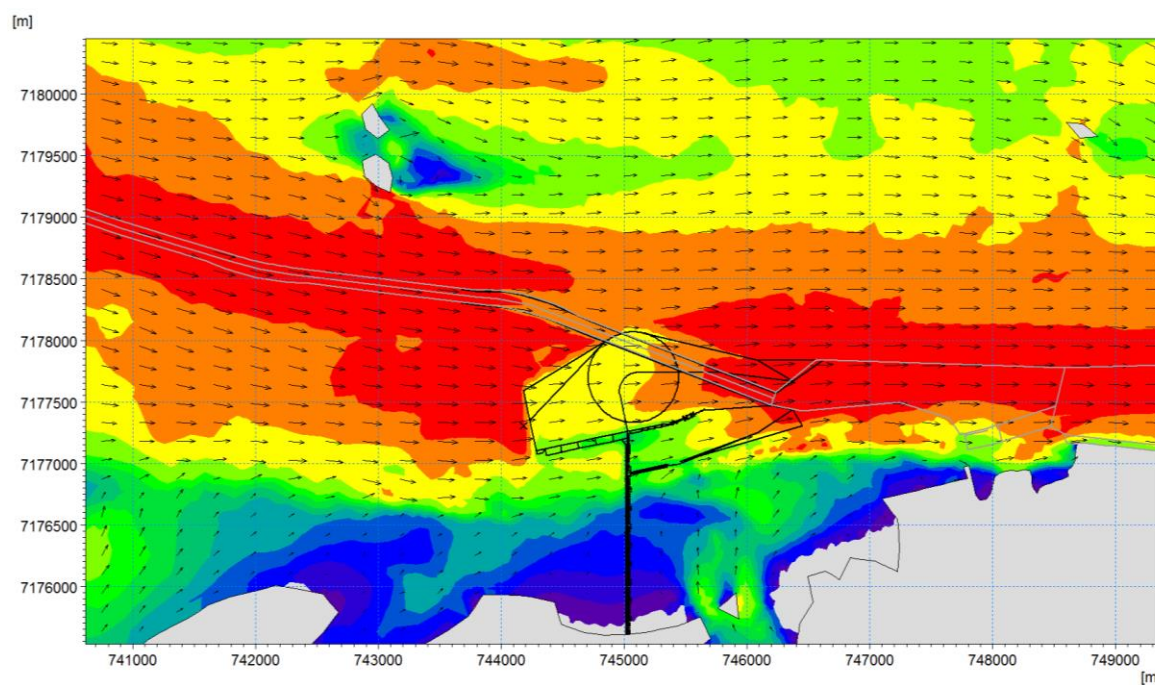


## Porto Guará

### Estudos de apoio ao EIA/RIMA

Caracterização, análise da dispersão dos sedimentos  
dragados e avaliação dos impactos sobre a hidrodinâmica





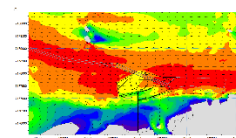
*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*

# Porto Guará

## Estudos de apoio ao EIA/RIMA

Caracterização, análise da dispersão dos sedimentos  
dragados e avaliação dos impactos sobre a hidrodinâmica

Preparado para      Cia Ambiental  
Representado por    Sr. Fernando Prochmann



*Campos de correntes*

Gerente do Projecto	Rodrigo C. de Andrade
Número do Projecto	15800591
Data de aprovação	21/07/2021 (rev. 1.0: 07/07/2021)
Revisão	2.0
Classificação	Restrito



*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*





## Sumário Executivo

A HydroInfo foi solicitada pela Cia Ambiental para elaborar os seguintes estudos como suporte ao licenciamento ambiental do Porto Guará, localizado no Complexo Estuarino de Paranaguá, PR:

- Caracterização das condições hidrodinâmicas;
- Caracterização dos processos de transporte na linha de costa;
- Análise da dispersão do sedimento dragado; e
- Análise dos impactos da presença do terminal sobre as condições hidrodinâmicas.

As caracterizações e análises acima listadas foram realizadas com base em observações no interior do Complexo Estuarino, literatura científica e resultados de modelagem computacional.

Na ausência de séries históricas de dados medidos na área em que será implantado o Porto Guará, modelos hidrodinâmico e de transformação de ondas forneceram informações valiosas que permitiram caracterizar as condições hidrodinâmicas atuais na área do Porto para diferentes condições meteo-oceanográficas. Combinadas às fotografias aéreas e imagens de satélite da região, as informações fornecidas pelos modelos e demais dados coletados na região também permitiram compreender a dinâmica da linha da costa adjacente ao empreendimento e forneceram a base para a avaliação dos impactos do Porto.

No que diz respeito à análise da dispersão dos sedimentos dragados, os modelos aplicados forneceram estimativas das concentrações de sedimentos em suspensão e das espessuras dos depósitos na área do Porto e na área de descarte para as condições de verão e inverno simuladas. Algumas conclusões relevantes obtidas da análise:

- na área do Porto a trajetória das plumas de sedimentos geradas pelo *overflow* das dragas é fortemente influenciada pelas correntes de maré, sem interferência significativa das sazonalidades. As máximas concentrações, da ordem de 20 kg/m<sup>3</sup>, são observadas no entorno dos pontos de dragagem e os máximos deslocamentos das plumas são da ordem de 7km em períodos de enchente e 11km em períodos de vazante. As máximas espessuras dos sedimentos depositados ao final de 30 dias de simulação são da ordem de 15 cm e são restritas à região do Porto;
- na área de descarte ACE-20 são esperadas concentrações elevadas de sedimentos em suspensão, dado o grande volume de sedimentos descartados. Esses sedimentos devem permanecer na coluna de água por tempo suficiente para que ocorra a interação com os sedimentos descartados nos ciclos subsequentes de dragagem. No inverno, há a tendência de deslocamento das plumas para NE influenciada pelos ventos de Sul frequentes no período, enquanto no verão o deslocamento é preferencial para SW em resposta aos ventos de NE mais frequentes nessa época do ano. As máximas concentrações são observadas no entorno dos pontos de descarte e alcançam 60 kg/m<sup>3</sup>. Os máximos deslocamentos das plumas são da ordem de 55km para NE (no inverno) e 30km para SW (no verão). Os maiores depósitos ocorrem principalmente dentro dos limites da ACE-20 nas duas condições, sendo as máximas espessuras, da ordem de 1m, observadas no inverno.

Os modelos também possibilitaram prever como o aprofundamento das bacias de manobras e atracação e a infraestrutura do Porto devem afetar as condições hidrodinâmicas na região.



Os seguintes impactos foram observados na área do Porto para as duas fases do projeto, sem diferença significativa entre as condições de verão e inverno:

- o aprofundamento da bacia portuária deverá reduzir localmente as velocidades das correntes. Em média, as reduções na bacia portuária não devem ultrapassar 0,10 m/s na fase 1 do projeto e 0,12 m/s na fase 2. As estacas e demais estruturas molhadas do Porto também deverão reduzir as velocidades das correntes sob as pontes de acesso e píeres em função da resistência ao escoamento gerada por essas estruturas. As reduções observadas nessas áreas são, em média, da ordem de 0,15 m/s nas duas fases. Em termos percentuais, as reduções nas velocidades observadas na fase 1 variam de 2% a 30% na bacia portuária, onde os maiores percentuais ocorrem nas áreas com maior aprofundamento, e alcançam 40% sob as pontes e píeres do Porto. Para a fase 2 as reduções na bacia portuária variam de 5% a 35%, sem diferença sob as pontes e píeres em comparação com a fase 1;
- os impactos da presença do Porto sobre as ondas são restritos à área do Porto e ocorrem principalmente nas áreas sob as pontes de acesso e píeres. Nessas áreas as alturas das ondas chegam a ser reduzidas em até 20% em função da resistência ao escoamento geradas pelas estacas e demais estruturas molhadas do Porto. Mesmo assim, em termos absolutos as máximas reduções nas alturas das ondas sob as pontes e píeres são, em média, da ordem de 2 cm nos cenários analisados. No interior da bacia portuária as variações nas alturas das ondas não ultrapassam  $\pm 1$  cm, o que corresponde, em termos percentuais, a variações da ordem de  $\pm 5\%$ .

Os aprofundamentos previstos nas áreas do sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina para atender a fase 2 do projeto do Porto Guará também devem gerar ligeiras alterações no padrão hidrodinâmico:

- nas áreas ALFA, BRAVO e CHARLIE deverá ocorrer ligeiro aumento da velocidade das correntes em alguns trechos isolados que, em média, não ultrapassam 4 cm/s. Em termos percentuais, este acréscimo corresponde a uma variação inferior a 5% nas velocidades nessas áreas. O aumento das velocidades pode ser explicado pelo alinhamento do canal de acesso com o sentido preferencial do escoamento nessas áreas. Na área DELTA, destaca-se a redução de velocidade do fluxo na bacia da área DELTA 2 que alcança, em média, -6 cm/s (que corresponde a uma redução de 17%);
- os impactos sobre as condições de ondas serão mais evidentes nas áreas ALFA e BRAVO, em função da maior sensibilidade das ondas de *swell* incidentes nessas áreas aos aprofundamentos projetados. Os impactos são mais evidentes no inverno, possivelmente em decorrência das ondas de maior comprimento que incidem no período em comparação com o verão. Na área ALFA as alturas das ondas são reduzidas em até 5% na parte interna do canal e aumentadas em menos de 1% fora dele. Na área BRAVO os máximos aumentos e reduções nas alturas das ondas são da ordem de 30% e 15%, respectivamente. Entretanto, em termos absolutos as variações nas alturas das ondas decorrentes dos aprofundamentos dessas áreas não ultrapassam, em média,  $\pm 5$  cm.



# CONTEÚDO

<b>Sumário Executivo .....</b>	<b>i</b>
<b>1      Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2      Características gerais do empreendimento .....</b>	<b>3</b>
<b>3      Caracterização hidrodinâmica .....</b>	<b>5</b>
3.1      Ventos .....	6
3.2      Marés .....	10
3.3      Correntes .....	13
3.4      Ondas.....	16
<b>4      Caracterização dos processos de transporte na linha de costa .....</b>	<b>25</b>
<b>5      Análise da dispersão dos sedimentos dragados .....</b>	<b>31</b>
5.1      Entendimento do problema .....	31
5.2      Características dos sedimentos dragados .....	31
5.3      Sobre as obras de dragagem de aprofundamento .....	34
5.3.1      Estimativa do ciclo de dragagem .....	35
5.3.2      Estimativa da carga sólida de <i>overflow</i> .....	37
5.3.3      Estimativa da carga sólida no descarte .....	38
5.4      Abordagem.....	38
5.5      Análise da dispersão dos sedimentos .....	40
5.5.1      Área do Porto .....	40
5.5.1.1      Concentração de sedimentos em suspensão .....	40
5.5.1.2      Espessura dos depósitos .....	44
5.5.2      Área de descarte.....	46
5.5.2.1      Concentração de sedimentos em suspensão .....	46
5.5.2.2      Espessura dos depósitos .....	49
5.5.3      Diferenças esperadas entre as fases do projeto .....	50
<b>6      Análise dos impactos sobre a hidrodinâmica .....</b>	<b>51</b>
6.1      Entendimento do problema .....	51
6.2      Abordagem.....	52
6.3      Impactos na área do Porto .....	55
6.3.1      Correntes e níveis de água .....	55
6.3.2      Ondas.....	61
6.4      Impactos nas demais áreas do sistema aquaviário.....	69
6.4.1      Correntes .....	69
6.4.2      Ondas.....	73
<b>7      Considerações finais .....</b>	<b>77</b>
7.1      Premissas e limitações técnicas do estudo.....	77
7.2      Conclusões .....	78
<b>8      Referências .....</b>	<b>81</b>



## FIGURAS

Figura 2.1	Localização do Porto Guará no Complexo Estuarino de Paranaguá. Imagem de satélite obtida do Google Earth e desenho do Porto obtido do projeto conforme /1/. .....	3
Figura 2.2	Acima: visão geral das bacias de manobras e atracaco e píeres do Porto. Abaixo: detalhe dos píeres. Informaces obtidas do projeto conforme /1/. .....	4
Figura 3.1	Localizaco do Porto Guará e indicao dos principais compartimentos do Complexo Estuarino de Paranaguá (imagem obtida do <i>Google Earth</i> ). .....	5
Figura 3.2	Localizaco dos pontos em que foram extraídos os dados hidrodinâmicos (bacia do Porto Guará) e de ventos (TCP) utilizados nas análises. ....	6
Figura 3.3	Rosa-dos-ventos para o período de junho de 2019 a maio de 2020. ....	7
Figura 3.4	Níveis de água medidos através do marégrafo instalado na Ponta do Felix (ver descrio no Apêndice A) em período de quadratura. A amplificaco dos harmônicos de alta frequência da maré  indicada pelas setas vermelhas. ....	10
Figura 3.5	Variacão da maré na poso da bacia do Porto Guará para o período de junho de 2019 a maio de 2020. ....	12
Figura 3.6	Instantâneo do campo de correntes típicas de condio de maré <u>enchente</u> em período de sizígia no Complexo Estuarino. O vetor indica a direo da corrente e a escala de cor a sua velocidade. ....	13
Figura 3.7	Instantâneo do campo de correntes típicas de condio de maré <u>vazante</u> em período de sizígia no Complexo Estuarino. O vetor indica a direo da corrente e a escala de cor a sua velocidade. ....	14
Figura 3.8	Rosas de correntes para os períodos de inverno/2019, primavera/2019, verão/2020 e outono/2020. ....	15
Figura 3.9	Instantâneo do campo de correntes médias típicas de condio de maré <u>enchente</u> na área do Porto Guará. O vetor indica a direo da corrente e a escala de cor a sua velocidade. ....	16
Figura 3.10	Instantâneo do campo de correntes médias típicas de condio de maré <u>vazante</u> na área do Porto Guará. O vetor indica a direo da corrente e a escala de cor a sua velocidade. ....	16
Figura 3.11	Rosas-de-ondas de $H_s \times Dir$ para o período de junho de 2019 a maio de 2020. ....	17
Figura 3.12	Rosas-de-ondas de $T_p \times Dir$ para o período de junho de 2019 a maio de 2020. ....	17
Figura 4.1	Imagens ilustrativas da linha de costa na área do Porto Guará nos anos de 1980, 2002, 2006, 2013, 2016 e 2020. ....	26
Figura 4.2	Análise comparativa da linha de costa para a região do Porto Guará entre os anos de 1980, 2002, 2006, 2013, 2016 e 2020. ....	27
Figura 4.3	Detalhe da progradao da costa no pontão da foz do Rio Emboguaçu. ....	28
Figura 4.4	Detalhe da única região que demonstrou erosão da margem entre 1980 e 2002, posteriormente, mostrando tendência a retornar gradativamente para seu estado inicial. ....	29
Figura 5.1	Pontos de coletas de amostras de sedimentos na área do Porto Guará. Obtido de /12/. ....	32
Figura 5.2	Bacias de manobra e atracaco do Porto Guará. As áreas hachuradas em branco e laranja indicam os limites da área dragada. Informaces obtidas do projeto conforme /1/. ....	34
Figura 5.3	Localizaco da área de descarte ACE-20. ....	35
Figura 5.4	Posio das fontes /dragas durante os períodos simulados na área do Porto (esquerda) e na área de descarte (direita). ....	40
Figura 5.5	Trajtria da pluma de sedimentos durante o overflow da draga (acima) e 30 minutos (centro) e 90 minutos (abaixo) após o overflow em condio de maré enchente. A escala de cores indica as concentrao de sedimentos em suspensão médias na coluna de gua. ....	41
Figura 5.6	Trajtria da pluma de sedimentos durante o overflow da draga (acima) e 30 minutos (centro) e 90 minutos (abaixo) após o overflow em condio de maré vazante. A escala de cores indica as concentrao de sedimentos em suspensão médias na coluna de gua. ....	42
Figura 5.7	Máximas concentrao de sedimento em suspensão médias na coluna de água calculadas durante o período de simulao de inverno (acima) e verão (abaixo) na área do Porto. ....	43



Figura 5.8	Espessura dos depósitos na área do Porto ao final de 30 dias de operação de dragagem nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo).....	45
Figura 5.9	Exemplo de trajetória da pluma de sedimentos após descarte na porção NE da área ACE-20. Um novo descarte ocorre na porção SE cerca de 3 horas após o primeiro descarte. A escala de cores indica as concentrações de sedimentos em suspensão médias na coluna de água. ....	46
Figura 5.10	Máximas concentrações de sedimento em suspensão médias na coluna de água calculadas durante o período de simulação de inverno (acima) e verão (abaixo) na área de descarte. ....	48
Figura 5.11	Espessura dos depósitos na área de descarte ao final de 30 dias de operação de dragagem na condição de inverno. ....	49
Figura 5.12	Espessura dos depósitos na área de descarte ao final de 30 dias de operação de dragagem na condição de verão. ....	50
Figura 6.1	Desenho esquemático ilustrativo do perfil longitudinal da coluna de água na área aprofundada de um porto. O fluxo sofre desaceleração quando passa da profundidade $h_1$ (menor) para a profundidade $h_2$ (maior) e aceleração quando encontra novamente a profundidade $h_1$ . ....	51
Figura 6.2	Batimetria na área do Porto Guará para a condição atual (acima) e cenários 1 (meio) e 2 (abaixo). ....	53
Figura 6.3	Batimetria nas áreas do sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina para a condição atual (acima) e cenários 1 (meio) e 2 (abaixo). ....	54
Figura 6.4	Instantâneo de um campo de correntes médias típico de condição de maré <u>enchente</u> para a condição atual (acima) e cenários 1 (centro) e 2 (abaixo). O vetor indica a direção da corrente e a escala de cor a sua velocidade. ....	56
Figura 6.5	Instantâneo de um campo de correntes típico de condição de maré <u>vazante</u> para a condição atual (acima) e cenários 1 (centro) e 2 (abaixo). O vetor indica a direção da corrente e a escala de cor a sua velocidade. ....	57
Figura 6.6	Inverno: velocidade (acima) e direção (abaixo) das correntes calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2. ....	58
Figura 6.7	Verão: velocidade (acima) e direção (abaixo) das correntes calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2. ....	58
Figura 6.8	Inverno: níveis de água calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2. ....	59
Figura 6.9	Verão: níveis de água calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2. ....	59
Figura 6.10	Inverno: variações médias das velocidades das correntes causadas pela presença do Porto Guará para os cenários 1 (acima) e 2 (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade. ....	60
Figura 6.11	Verão: variações médias das velocidades das correntes causadas pela presença do Porto Guará para os cenários 1 (acima) e 2 (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade. ....	61
Figura 6.12	Instantâneo de um campo de ondas associado a ventos de NE para as condições atual (acima), cenário 1 (centro) e cenário 2 (abaixo). O vetor indica a direção da onda e a escala de cor a sua altura. ....	63
Figura 6.13	Instantâneo de um campo de ondas associado a ventos de SW para as condições atual (acima), cenário 1 (centro) e cenário 2 (abaixo). O vetor indica a direção da onda e a escala de cor a sua altura. ....	64
Figura 6.14	Inverno: altura (acima), período (centro) e direção (abaixo) de ondas calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2. ....	65
Figura 6.15	Verão: altura (acima), período (centro) e direção (abaixo) de ondas calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2. ....	66
Figura 6.16	Inverno: variações médias das alturas significativas de ondas ( $H_s$ ) causadas pela presença do Porto Guará para os cenários 1 (acima) e 2 (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda. ....	67
Figura 6.17	Verão: variações médias das alturas significativas de ondas ( $H_s$ ) causadas pela presença do Porto Guará para os cenários 1 (acima) e 2 (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda. ....	68



Figura 6.18	Visão geral das variações médias das velocidades das correntes no sistema aquaviário dos portos de Antonina e Paranaguá causadas pelo aprofundamento dos canais e bacias para implantação do Porto Guará para o cenário 2 nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.....	70
Figura 6.19	Detalhe das variações médias das velocidades das correntes causadas pelo aprofundamento das áreas ALFA (acima) e BRAVO 1 (abaixo) para implantação do Porto Guará para o cenário 2 no período de inverno. A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.....	71
Figura 6.20	Detalhe das variações médias das velocidades das correntes causadas pelo aprofundamento das áreas BRAVO 2 (acima) e CHARLIE (abaixo) para implantação do Porto Guará para o cenário 2 no período de inverno. A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.....	72
Figura 6.21	Detalhe das variações médias das velocidades das correntes causadas pelo aprofundamento das áreas DELTA 1 e 2 para implantação do Porto Guará para o cenário 2 no período de inverno. A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.....	73
Figura 6.22	Visão geral das variações médias das alturas significativas de ondas no sistema aquaviário dos portos de Antonina e Paranaguá causadas pelo aprofundamento dos canais e bacias para implantação do Porto Guará para o cenário 02 nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda.....	74
Figura 6.23	Detalhe das variações médias das alturas significativas de ondas causadas pelo aprofundamento da área ALFA para implantação do Porto Guará para o cenário 2 nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda.....	75
Figura 6.24	Detalhe das variações médias das alturas significativas de ondas causadas pelo aprofundamento da área BRAVO para implantação do Porto Guará para o cenário 2 nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda.....	76

## TABELAS

Tabela 2.1	Profundidades mínimas atuais e previstas nas áreas do sistema aquaviário.....	4
Tabela 3.1	Frequência de ocorrência de ventos – Velocidade X Direção – Inverno 2019.....	8
Tabela 3.2	Frequência de ocorrência de ventos – Velocidade X Direção – Primavera 2019.....	9
Tabela 3.3	Frequência de ocorrência de ventos – Velocidade X Direção – Verão 2020.....	9
Tabela 3.4	Frequência de ocorrência de ventos – Velocidade X Direção – Outono 2020.....	10
Tabela 3.5	Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Direção – Inverno de 2019.....	18
Tabela 3.6	Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Tp – Inverno de 2019.....	19
Tabela 3.7	Frequência de ocorrência de ondas – Tp x Direção – Inverno de 2019.....	19
Tabela 3.8	Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Direção – Primavera de 2019.....	20
Tabela 3.9	Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Tp – Primavera de 2019.....	20
Tabela 3.10	Frequência de ocorrência de ondas – Tp x Direção – Primavera de 2019.....	21
Tabela 3.11	Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Direção – Verão de 2019.....	21
Tabela 3.12	Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Tp – Verão de 2019.....	22
Tabela 3.13	Frequência de ocorrência de ondas – Tp x Direção – Verão de 2019.....	22
Tabela 3.14	Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Direção – Outono de 2019.....	23
Tabela 3.15	Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Tp – Outono de 2019.....	23
Tabela 3.16	Frequência de ocorrência de ondas – Tp x Direção – Outono de 2019.....	24
Tabela 6.1	Composição granulométrica das amostras de sedimentos em massa conforme apresentadas nos boletins da FUNDESTAC e a composição média calculada.....	33
Tabela 5.1	Características assumidas para representar o ciclo de operação das dragas.....	37



## APÊNDICES

### **APÊNDICE A**

Base de dados para o estabelecimento dos modelos

### **APÊNDICE B**

Modelo hidrodinâmico

### **APÊNDICE C**

Modelo de transformação de ondas

### **APÊNDICE D**

Modelo de transporte de sedimentos





*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*





## NOMENCLATURA

Definições	
Data/hora	Datas e horas relativas a UTC
Nível de água	Relativo ao Nível de Redução da DHN
Direção do vento	°N de onde vem
Direção da onda	°N de onde vem
Direção da corrente	°N para onde vai

Símbolos e Abreviações	
ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
DHN	Departamento de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EMC	<i>Environmental Modelling Center</i>
Dir	Direção de pico da onda [°]
F	Fração de silte + argila presentes no volume de sedimento dragado [%]
Hs	Altura significativa de onda [m]
HYCOM	<i>Hybrid Coordinate Ocean Model</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IOOS	<i>Integrated Ocean Observing System</i>
M	Coeficiente de Manning
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
Q <sub>o</sub>	Vazão de overflow [m³/s]
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
TCP	Terminal de Contêineres de Paranaguá
t	Duração do descarte da draga [min]
T	Percentual de silte + argila que deverá extravasar da cisterna da draga [%]
Tp	Período de pico da onda [s]
U	Componente Leste-Oeste de velocidade de corrente [m/s]
V	Componente Norte-Sul de velocidade de corrente [m/s]
Vol	Volume real estimado de sedimentos na cisterna da draga [m³]
WW3	<i>WaveWatch III Model</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
$\alpha$	Coeficiente de arrebentação de ondas [-]
$\gamma$	Coeficiente de arrebentação de ondas [-]
$\rho$	Massa específica dos grãos de sedimentos [kg/m³]



*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*



## 1 Introdução

A HYDROINFORMATICS SOLUTIONS – Soluções de hidroinformática Ltda. (doravante denominada HydroInfo) foi solicitada pela Cia Ambiental para elaborar os seguintes estudos como suporte ao licenciamento ambiental do Porto Guará, localizado no Complexo Estuarino de Paranaguá, PR:

- Caracterização das condições hidrodinâmicas: visa fornecer um diagnóstico das condições de correntes, ondas e níveis de água e sua correlação com os ventos para auxiliar na compreensão da dinâmica local e fornecer a base para a avaliação de impacto;
- Caracterização dos processos de transporte na linha de costa: objetiva conhecer a evolução temporal da linha de costa, possíveis variações (erosão e acreção) em função das condições meteo-oceanográficas e fornecer a base para a avaliação de impacto;
- Análise da dispersão do sedimento dragado: visa fornecer a extensão das plumas de sedimentos e depósitos no fundo originados pelas operações de dragagem na área do Porto e na área de bota-fora, fornecendo subsídios para a avaliação de impacto; e
- Análise dos impactos da presença do terminal sobre as condições hidrodinâmicas: tem como objetivo quantificar os impactos das estruturas do terminal e aprofundamento da bacia portuária sobre as condições hidrodinâmicas na área de estudo, fornecendo subsídios para a avaliação de impacto.

As caracterizações e análises acima listadas foram realizadas com base em observações no interior do Complexo Estuarino, literatura científica e resultados de modelagem computacional. Na ausência de observações na área do Porto, os modelos computacionais forneceram estimativas das condições hidrodinâmicas na área de interesse e possibilitaram quantificar os impactos da presença do Porto sobre as condições hidrodinâmicas e o comportamento dos sedimentos oriundos das obras de dragagem previstas para a implantação do empreendimento.

A base de dados e os modelos hidrodinâmico, de transformação de ondas e de transporte de sedimentos utilizados como base para os estudos desenvolvidos neste trabalho são apresentados nos seguintes anexos:

- Apêndice A: Base de dados para o estabelecimento dos modelos
- Apêndice B: Modelo hidrodinâmico
- Apêndice C: Modelo de transformação de ondas
- Apêndice D: Modelo de transporte de sedimentos



*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*



## 2 Características gerais do empreendimento

O Porto Guará está previsto para ser instalado no interior do Complexo Estuarino de Paranaguá próximo à foz do Rio Emboguaçu entre os Portos de Paranaguá e Antonina. Sua localização é indicada na Figura 2.1.

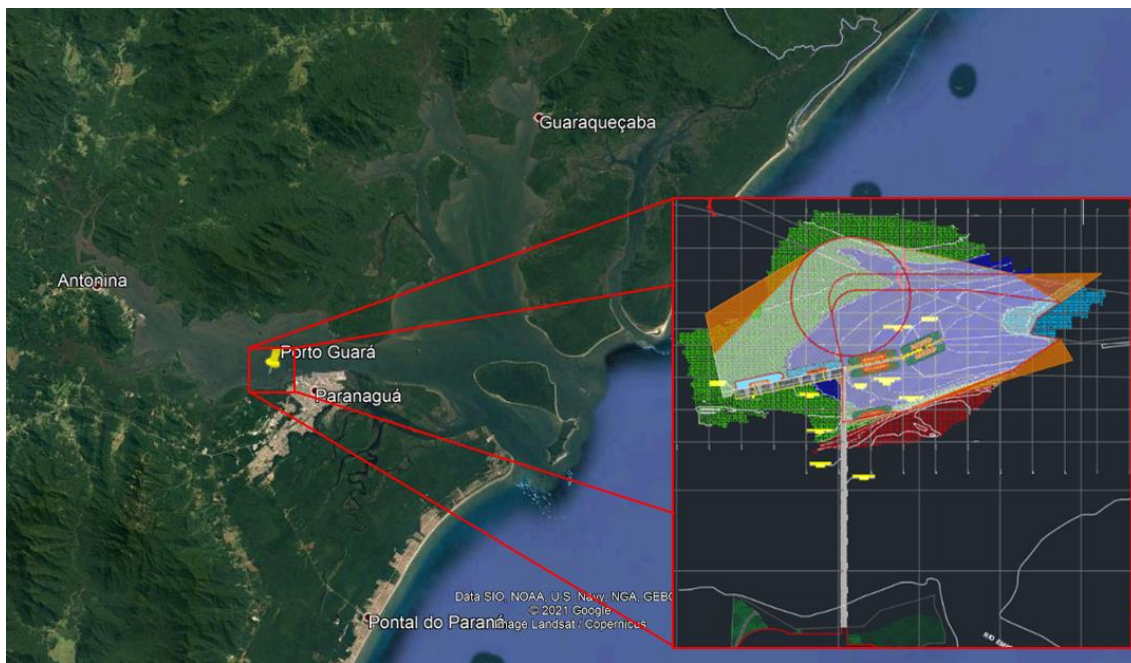


Figura 2.1 Localização do Porto Guará no Complexo Estuarino de Paranaguá. Imagem de satélite obtida do Google Earth e desenho do Porto obtido do projeto conforme /1/.

O projeto compreende um terminal portuário que se conecta à retroárea através de duas pontes de acesso com pouco mais de 1.500 m de extensão. O terminal portuário é formado por um píer de contêineres, um píer de granéis sólidos e um píer de granéis líquidos localizados na sua extremidade norte, e um píer de fertilizantes distante cerca de 200 m da extremidade. As pontes de acesso são apoiadas sobre estacas tubulares com diâmetro externo de 1016 mm, espaçamento longitudinal típico de 15 m e espaçamento transversal típico de 9,0 m e 6,1 m anterior e posteriormente ao píer de fertilizantes, e 7,8 m na ponte de acesso ao píer de contêineres. A Figura 2.2 mostra terminal portuário e seus píeres.

Para o acesso e atracação das embarcações no Porto é prevista a dragagem de aprofundamento das bacias de manobra e atracação (ver geometria na Figura 2.2). As obras de dragagem devem ser executadas em duas fases respeitando o projeto de implantação do Porto, onde a primeira prevê o aprofundamento da bacia na cota -14m DHN, sem alteração nas dimensões atuais do sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina, e a segunda prevê o aprofundamento da bacia na cota -16m DHN, combinada ao aprofundamento do sistema aquaviário existente. As profundidades mínimas atuais e previstas nas áreas do sistema aquaviário são apresentadas na Tabela 2.1.

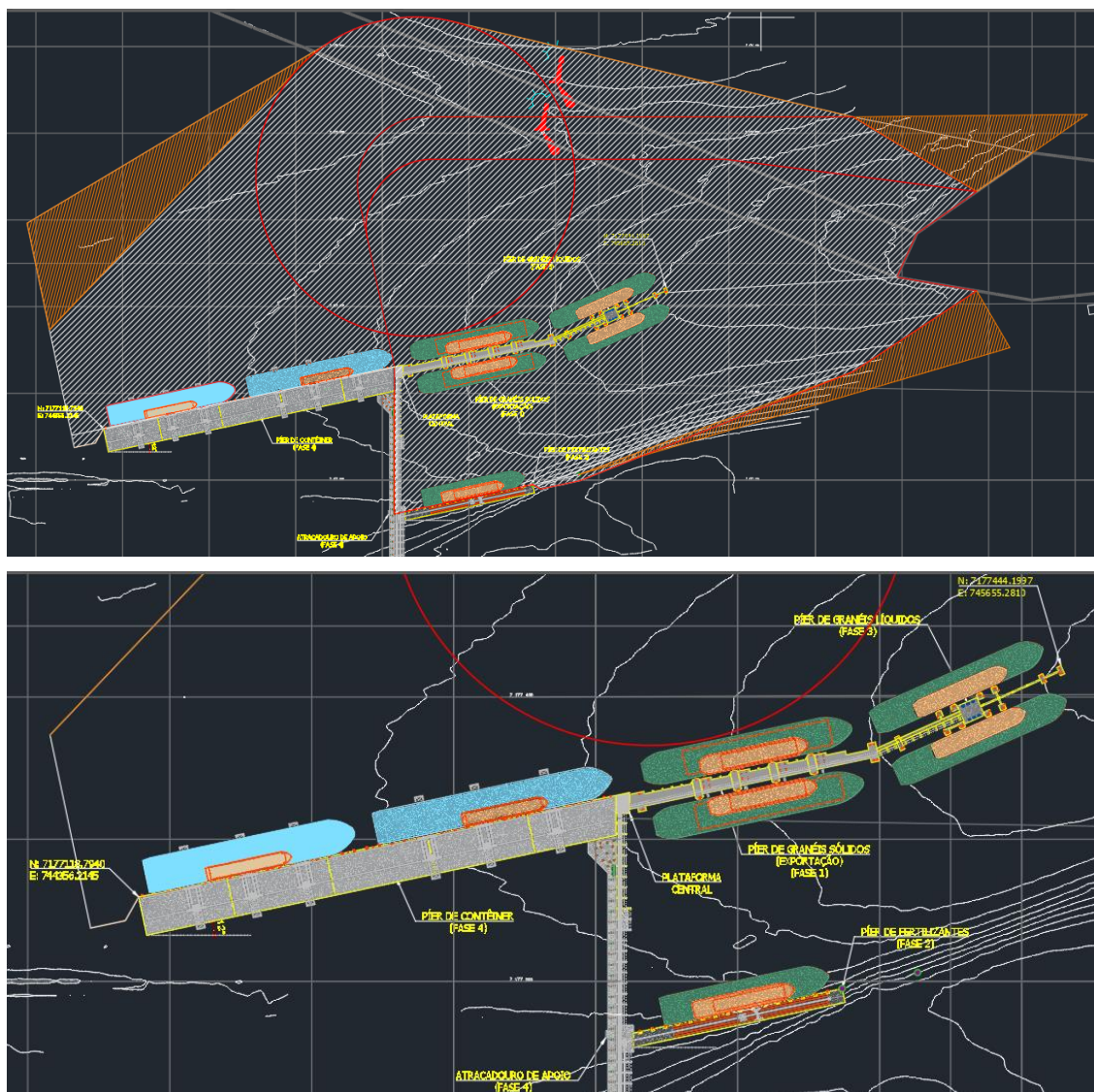


Figura 2.2 Acima: visão geral das bacias de manobras e atracação e píeres do Porto. Abaixo: detalhe dos píeres. Informações obtidas do projeto conforme /1/.

Tabela 2.1 Profundidades mínimas atuais e previstas nas áreas do sistema aquaviário.

Área	Profundidades atuais [m]	Profundidades Fase 1 [m]	Profundidades Fase 2 [m]
ALFA	16	16	18
BRAVO 1	15	15	17
BRAVO 2	14	14	17
CHARLIE 1	14	14	16
CHARLIE 2	14	14	16
CHARLIE 3	14	14	16
DELTA 1	9,5	9,5	12,5
DELTA 2	9,5	9,5	12,5





### 3 Caracterização hidrodinâmica

O Porto Guará está projetado para ser construído em localização a montante do Porto de Paranaguá, dentro no Complexo Estuarino de Paranaguá. O complexo é formado por dois corpos de água principais – as baías de Paranaguá e Antonina e as baías de Laranjeiras e Pinheiros – que se comunicam com o mar através dos canais da Galheta, Norte e de Superagüi. Um quarto canal artificial estreito, denominado Viradouro, conecta a porção Norte da Baía de Laranjeiras ao mar, porém sua contribuição para as condições hidrodinâmicas no interior do complexo estuarino pode ser considerada desprezível. A Figura 3.1 ilustra os diferentes compartimentos do Complexo Estuarino.



Figura 3.1 Localização do Porto Guará e indicação dos principais compartimentos do Complexo Estuarino de Paranaguá (imagem obtida do *Google Earth*).

No interior do Complexo Estuarino o escoamento é governado principalmente pela ação das marés, com fluxos de enchente e vazante bem definidos. Com exceção de alguns rios de maior porte, como o Rio Cachoeira, as vazões médias mensais da maioria dos pequenos rios e córregos que deságuam no complexo, em média, não ultrapassam 10 m<sup>3</sup>/s. Alguns autores estimam que a contribuição média anual de água doce chega a 200 m<sup>3</sup>/s, o que é significativamente inferior às vazões geradas pela maré, que ultrapassam 12.000 m<sup>3</sup>/s na porção inferior do complexo estuarino (/2/).

As baixas vazões fluviais combinadas às pequenas / médias amplitudes de maré (da ordem de 1,5 m na porção inferior do complexo estuarino, conforme /2/) impedem a formação de cunha salina típica de estuários estratificados. Com isto, a coluna de água de forma geral apresenta-se praticamente homogênea e a presença da água doce não diluída dos rios somente é percebida nas porções mais internas do estuário, o que corresponde a um padrão típico de estuários parcialmente misturados.

Apesar dos ventos influenciarem o padrão hidrodinâmico na plataforma externa, promovendo variações de baixa frequência no nível médio do mar (maré meteorológica), seus efeitos diretos sobre as correntes no interior do complexo estuarino são menos relevantes em comparação



com a maré astronômica e ocorrem na forma de correntes residuais, conforme evidenciado por diversos autores (/2/, /3/).

As características geomorfológicas do Complexo Estuarino fornecem abrigo natural aos portos localizados no seu interior, impedindo a penetração das ondulações de *swell* originadas na plataforma externa. As baixas profundidades no banco da Galheta, localizado na entrada do complexo, também favorecem a perda de energia das ondas em função do atrito com o fundo, fornecendo abrigo nas áreas internas do canal de acesso aos portos. Com isto, as ondas no interior do complexo estuarino são limitadas às ondas de alta frequência e pequena altura geradas localmente pelo vento.

Na ausência de séries históricas de dados medidos na área em que será implantado o Porto Guará, a hidrodinâmica da região foi caracterizada com base em dados extraídos dos modelos hidrodinâmico e de ondas calibrados e validados satisfatoriamente para a região, conforme descrito nos Apêndice B e C deste relatório. Os dados de ondas, marés e correntes apresentados e analisados a seguir foram extraídos dos modelos em uma posição central da bacia do Porto nas coordenadas geográficas [E= 745.058m; N= 7.177.723m]. A caracterização dos ventos foi realizada com base nos dados medidos através da estação meteorológica instalada no Terminal de Contêineres de Paranaguá (TCP) nas coordenadas geográficas [E= 751.259m; N= 7.177.181m]. A Figura 3.2 mostra a localizações das posições em que foram obtidos os dados.

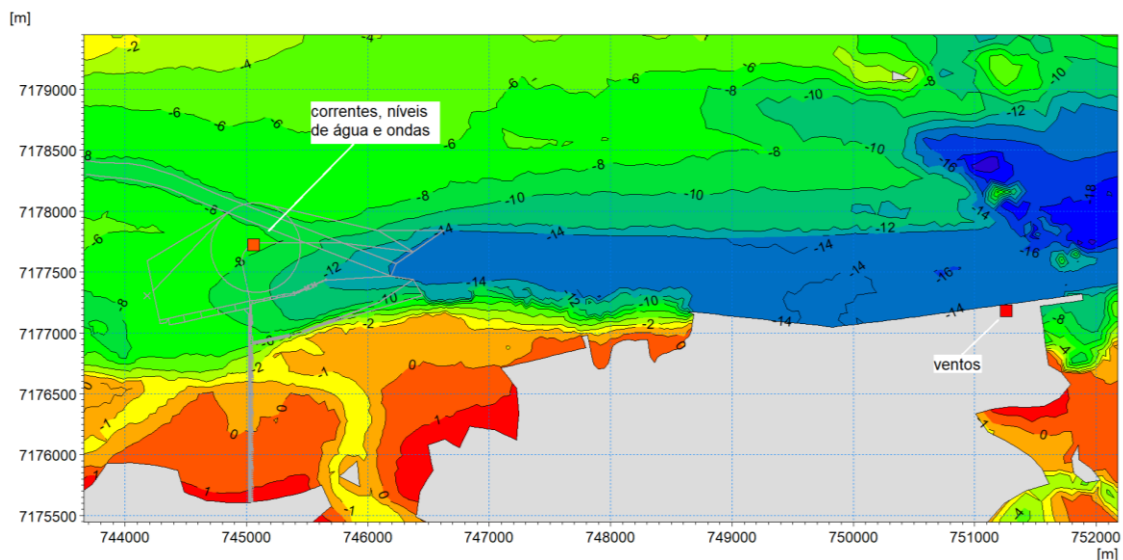


Figura 3.2 Localização dos pontos em que foram extraídos os dados hidrodinâmicos (bacia do Porto Guará) e de ventos (TCP) utilizados nas análises.

Os parâmetros físicos – ventos, marés, correntes e ondas – serão abordados separadamente e, posteriormente, apresentadas suas correlações com os processos sedimentares junto à linha de costa nas proximidades do futuro terminal.

## 3.1 Ventos

O Clima no Litoral do Estado do Paraná e na região do Complexo Estuarino de Paranaguá é bastante dinâmico, com atuação do Anticiclone Extratropical do Atlântico Sul, da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e de frentes frias (/4/, /5/). Dentre esses sistemas de mesoescala, Grimm, /6/, destaca que a principal influência sobre os ventos de superfície é o sistema de alta pressão do Atlântico Sul. Esse sistema atua sobre o Sul do Brasil em todas as estações do ano e produz vento médio na superfície de E / NE de fraca intensidade.





Na Figura 3.3 são apresentadas rosas de ventos sazonais geradas a partir dos dados horários de ventos obtidos no TCP (ver posição na Figura 3.2) no período de 1 ano (entre junho de 2019 e maio de 2020). Na primavera, observa-se predomínio dos ventos da direção SE, porém, com importante parcela de NE. Com a chegada do verão, os ventos de SE e NE continuam existindo, porém, passando a aumentar a frequência dos ventos de SW. No outono os ventos de SW e E se intensificam e passam a ser os mais frequentes. No inverno, os ventos de SW e de SE predominam.

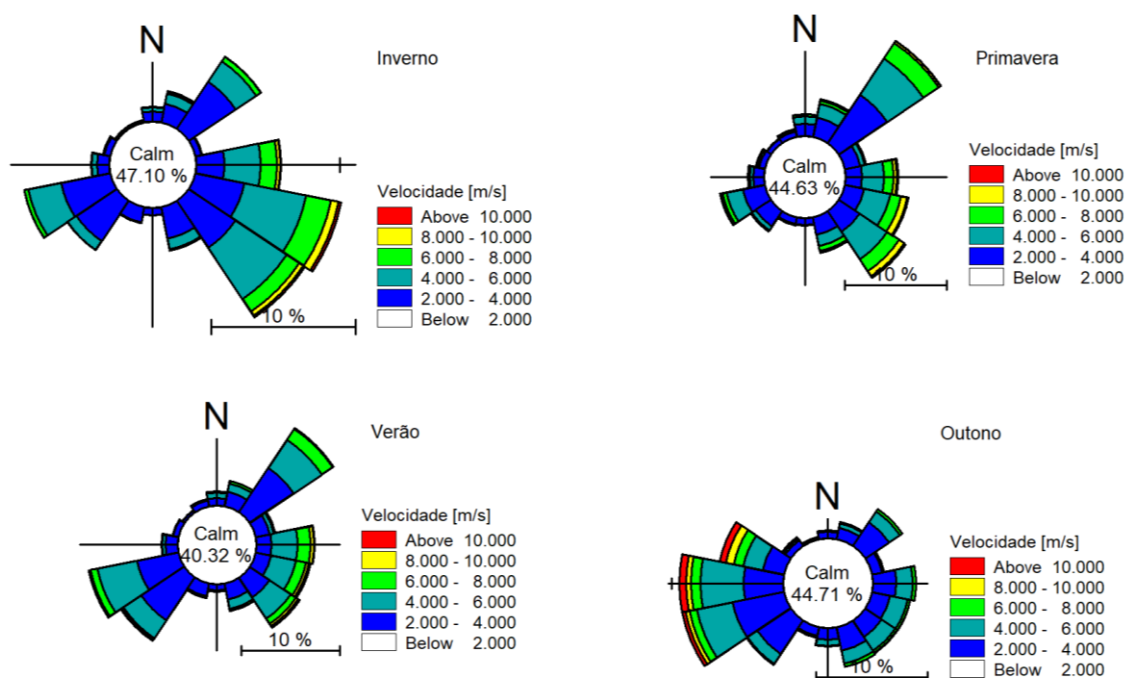


Figura 3.3 Rosa-dos-ventos para o período de junho de 2019 a maio de 2020.

Grimm, /6/, destaca que em nenhuma época do ano é observado vento médio de Sul em baixos níveis sobre a região sul do Brasil, correlacionando-se exatamente com os registros observados em Paranaguá, onde a direção Sul é a que possui menor ocorrência.

No inverno, ventos de oeste estendem-se para o norte, atingindo o Sudeste/Centro do Brasil, enquanto no restante do ano restringem-se ao extremo sul, pois se estabelece sobre grande parte do continente uma circulação anti-ciclônica em torno da Alta da Bolívia. (/6/). Através dos dados medidos apresentados, é possível corroborar que essa presença de ventos de Oeste ocorre principalmente durante o outono.

Em acordo com observações feitas em Paranaguá, Wagner (/7/) realizou um estudo dos ventos no Estado do Paraná com o fim de caracterizar o regime de ventos quanto à velocidade, e direção predominantes. A direção do vento predominante na maior parte dos locais estudados foi NE, seguida das direções E / SE, fato que pode estar relacionado com os centros de alta pressão do Atlântico e do Pacífico, que originam ventos nesta direção e que atingem o estado. O autor observou ainda que para os picos máximos dos ventos, embora a maior porcentagem tenha se concentrado nas direções NE, E, SE, os maiores valores verificados ocorreram nas direções S, SW e W, evidenciando uma correlação entre a entrada da Massa de Ar Polar, que é acompanhada de ventos do quadrante sul, e a ocorrência de picos máximos extremos.

Essa descrição do regime de ventos na região se faz importante especialmente pelo fato da presença de ondas no terminal estar estritamente ligada à presença de ventos locais, visto que a posição em que o Porto Guará se encontrará é uma região abrigada da ação das ondas que se propagam vindas de mar aberto.



Toda essas particularidades de direções e velocidades de ventos e suas relações com os centros de Alta e Baixa pressão atuantes no Atlântico Sul, nas proximidades do litoral do Estado do Paraná, também são capazes de gerar forte influência sobre o represamento de águas no interior do Complexo Estuarino, adicionando à variação de nível formado pelas marés, a chamada maré meteorológica, que em certas condições climáticas é capaz de representar importante contribuição para a variação de nível no local, e consequentemente, podendo alterar os padrões hidrodinâmicos.

A fim de facilitar a correlação entre as ocorrências de direções e intensidades dos ventos na área de estudo, foi realizada a análise da frequência de ocorrência dos ventos medidos no TCP entre junho de 2019 e maio de 2020. A análise é apresentada da Tabela 3.1 à Tabela 3.4.

Tabela 3.1 Frequência de ocorrência de ventos – Velocidade X Direção – Inverno 2019.

																	Freq.	Freq. Acumulada
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		
(0,0, 0,5)	0.43%	0.25%	0.79%	0.98%	0.25%	0.16%	0.17%	0.20%	0.28%	0.22%	0.17%	0.22%	0.43%	0.38%	0.47%	0.52%	5.94%	5.94%
[0,5, 1,0)	0.37%	0.40%	0.78%	0.60%	0.25%	0.19%	0.16%	0.27%	0.21%	0.31%	0.37%	0.37%	0.47%	0.56%	0.39%	0.42%	6.12%	12.06%
[1,0, 2,0)	1.10%	0.92%	2.37%	1.34%	1.21%	0.87%	1.09%	0.82%	0.75%	1.04%	1.51%	1.70%	2.24%	1.67%	0.96%	1.02%	20.59%	32.65%
[2,0, 3,0)	0.52%	0.80%	2.06%	0.71%	0.99%	0.74%	0.94%	1.05%	0.56%	0.49%	2.18%	2.39%	1.31%	1.02%	0.34%	0.29%	16.40%	49.05%
[3,0, 4,0)	0.23%	0.50%	1.34%	0.38%	1.02%	0.81%	0.85%	0.87%	0.37%	0.32%	1.52%	2.13%	1.67%	0.61%	0.16%	0.14%	12.93%	61.98%
[4,0, 5,0)	0.20%	0.41%	1.13%	0.19%	1.19%	1.17%	1.18%	0.80%	0.27%	0.13%	0.95%	2.49%	2.16%	1.02%	0.10%	0.06%	13.43%	75.41%
[5,0, 6,0)	0.09%	0.23%	0.71%	0.04%	0.49%	0.62%	0.36%	0.21%	0.16%	0.05%	0.37%	1.17%	0.84%	0.32%	0.06%	0.00%	5.73%	81.14%
[6,0, 7,0)	0.05%	0.12%	0.31%	0.01%	0.31%	0.28%	0.14%	0.16%	0.04%	0.01%	0.10%	0.46%	0.49%	0.32%	0.03%	0.01%	2.85%	83.99%
[7,0, 8,0)	0.01%	0.04%	0.14%	0.00%	0.16%	0.13%	0.06%	0.06%	0.01%	0.01%	0.07%	0.25%	0.19%	0.34%	0.04%	0.00%	1.52%	85.51%
[8,0, 9,0)	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.10%	0.06%	0.03%	0.01%	0.01%	0.01%	0.06%	0.21%	0.24%	0.34%	0.04%	0.00%	1.15%	86.66%
[9,0, 10,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.03%	0.13%	0.11%	0.22%	0.03%	0.00%	0.57%	87.23%
[10,0, 11,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.11%	0.08%	0.19%	0.01%	0.00%	0.42%	87.65%
[11,0, 12,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.11%	0.07%	0.12%	0.01%	0.00%	0.33%	87.98%
[12,0, 13,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.03%	0.13%	0.04%	0.00%	0.00%	0.23%	88.21%
[13,0, 14,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.03%	0.07%	0.01%	0.00%	0.12%	88.33%
[14,0, 15,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	0.01%	0.00%	0.00%	0.07%	88.40%
>= 15,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.00%	0.01%	0.00%	0.08%	88.48%
Freq.	3.01%	3.68%	9.66%	4.26%	6.03%	5.05%	5.00%	4.47%	2.67%	2.59%	7.40%	11.76%	10.59%	7.23%	2.64%	2.46%		
Freq. Acumulada	3.01%	6.69%	16.35%	20.62%	26.64%	31.69%	36.69%	41.15%	43.82%	46.41%	53.81%	65.57%	76.16%	83.39%	86.02%	88.48%	Calmaria: 11.52%	



Tabela 3.2 Frequência de ocorrência de ventos – Velocidade X Direção – Primavera 2019.

																		Freq.	Freq. Acumulada
		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		
Velocidade de Vento [m/s]	(0,0, 0,5)	0.26%	0.27%	0.83%	1.00%	0.15%	0.15%	0.22%	0.38%	0.25%	0.12%	0.11%	0.17%	0.19%	0.39%	0.37%	0.37%	5.21%	5.21%
	[0,5, 1,0)	0.44%	0.32%	0.83%	1.00%	0.29%	0.14%	0.19%	0.34%	0.31%	0.22%	0.22%	0.15%	0.28%	0.37%	0.40%	0.36%	5.86%	11.06%
	[1,0, 2,0)	1.21%	1.12%	2.84%	1.91%	1.03%	1.26%	1.46%	1.36%	0.83%	0.76%	1.20%	1.10%	1.33%	1.23%	0.93%	1.05%	20.63%	31.70%
	[2,0, 3,0)	0.77%	1.16%	2.81%	0.90%	0.83%	1.02%	1.98%	1.22%	0.49%	0.52%	1.17%	1.37%	0.52%	0.37%	0.22%	0.29%	15.61%	47.31%
	[3,0, 4,0)	0.35%	0.87%	2.55%	0.48%	0.95%	1.52%	1.06%	0.69%	0.23%	0.26%	0.81%	0.69%	0.42%	0.16%	0.13%	0.20%	11.39%	58.70%
	[4,0, 5,0)	0.59%	1.06%	2.11%	0.24%	1.48%	2.14%	2.15%	0.62%	0.05%	0.08%	0.39%	0.86%	0.19%	0.08%	0.05%	0.12%	12.21%	70.90%
	[5,0, 6,0)	0.27%	0.52%	1.54%	0.12%	0.96%	0.86%	1.05%	0.40%	0.01%	0.01%	0.05%	0.29%	0.05%	0.01%	0.00%	0.05%	6.19%	77.09%
	[6,0, 7,0)	0.12%	0.28%	0.73%	0.05%	0.69%	0.72%	0.75%	0.24%	0.01%	0.00%	0.02%	0.17%	0.05%	0.02%	0.00%	0.02%	3.87%	80.96%
	[7,0, 8,0)	0.07%	0.16%	0.48%	0.05%	0.59%	0.39%	0.55%	0.15%	0.00%	0.00%	0.05%	0.06%	0.02%	0.02%	0.00%	0.01%	2.59%	83.56%
	[8,0, 9,0)	0.02%	0.10%	0.19%	0.02%	0.27%	0.36%	0.37%	0.09%	0.00%	0.00%	0.01%	0.12%	0.03%	0.00%	0.00%	0.02%	1.60%	85.15%
	[9,0, 10,0)	0.00%	0.03%	0.02%	0.00%	0.11%	0.19%	0.19%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.62%	85.77%
	[10,0, 11,0)	0.00%	0.02%	0.01%	0.01%	0.02%	0.06%	0.09%	0.02%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.25%	86.03%
	[11,0, 12,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.02%	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.16%	86.19%
	[12,0, 13,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.03%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.15%	86.33%
	[13,0, 14,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%	86.40%
[14,0, 15,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	86.43%	
>= 15,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	86.43%	
Freq.		4.10%	5.92%	14.93%	5.76%	7.56%	8.85%	10.19%	5.56%	2.17%	1.98%	4.04%	5.03%	3.09%	2.65%	2.10%	2.50%		
Freq. Acumulada		4.10%	10.02%	24.95%	30.71%	38.27%	47.12%	57.31%	62.87%	65.04%	67.01%	71.06%	76.09%	79.17%	81.83%	83.93%	86.43%	Calmaria:	13.55%

Tabela 3.3 Frequência de ocorrência de ventos – Velocidade X Direção – Verão 2020.

																		Freq.	Freq. Acumulada
		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		
Velocidade de Vento [m/s]	(0,0, 0,5)	0.32%	0.22%	0.87%	0.83%	0.08%	0.05%	0.08%	0.20%	0.22%	0.10%	0.14%	0.12%	0.16%	0.41%	0.33%	0.36%	4.51%	4.51%
	[0,5, 1,0)	0.39%	0.26%	0.84%	0.77%	0.19%	0.10%	0.12%	0.26%	0.23%	0.15%	0.12%	0.15%	0.28%	0.40%	0.35%	0.35%	4.97%	9.48%
	[1,0, 2,0)	0.83%	0.89%	2.85%	1.87%	0.68%	0.75%	0.90%	1.23%	0.78%	0.73%	1.42%	1.55%	1.57%	1.10%	1.06%	0.90%	19.10%	28.57%
	[2,0, 3,0)	0.39%	0.75%	3.16%	0.90%	0.53%	0.68%	1.33%	0.97%	0.47%	0.79%	2.23%	2.32%	0.69%	0.39%	0.23%	0.32%	16.17%	44.74%
	[3,0, 4,0)	0.33%	0.65%	2.51%	0.49%	0.90%	0.99%	1.08%	0.90%	0.21%	0.51%	2.51%	1.61%	0.49%	0.18%	0.07%	0.12%	13.53%	58.26%
	[4,0, 5,0)	0.35%	0.60%	2.28%	0.25%	1.38%	1.67%	2.15%	0.82%	0.05%	0.13%	1.50%	2.55%	0.36%	0.09%	0.05%	0.14%	14.38%	72.65%
	[5,0, 6,0)	0.08%	0.23%	1.64%	0.22%	0.99%	0.92%	0.86%	0.40%	0.02%	0.01%	0.26%	1.08%	0.05%	0.06%	0.00%	0.02%	6.86%	79.51%
	[6,0, 7,0)	0.04%	0.13%	1.33%	0.08%	0.74%	0.65%	0.52%	0.16%	0.02%	0.01%	0.08%	0.54%	0.06%	0.05%	0.00%	0.03%	4.44%	83.94%
	[7,0, 8,0)	0.03%	0.12%	0.67%	0.06%	0.47%	0.46%	0.34%	0.08%	0.01%	0.00%	0.03%	0.18%	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%	2.51%	86.45%
	[8,0, 9,0)	0.00%	0.02%	0.13%	0.02%	0.23%	0.22%	0.30%	0.03%	0.00%	0.00%	0.01%	0.15%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	1.13%	87.58%
	[9,0, 10,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.08%	0.09%	0.14%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.39%	87.97%
	[10,0, 11,0)	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.02%	0.09%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.21%	88.18%
	[11,0, 12,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.04%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%	88.30%
	[12,0, 13,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%	88.40%
	[13,0, 14,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	88.45%
	[14,0, 15,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	88.50%
	>= 15,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	88.51%
Freq.		2.78%	3.87%	16.29%	5.50%	6.32%	6.81%	8.03%	5.08%	2.01%	2.42%	8.30%	10.30%	3.72%	2.74%	2.11%	2.22%		
Freq. Acumulada		2.78%	6.64%	22.93%	28.43%	34.75%	41.57%	49.60%	54.68%	56.70%	59.12%	67.42%	77.72%	81.44%	84.18%	86.29%	88.51%	Calmaria:	11.49%



Tabela 3.4 Frequência de ocorrência de ventos – Velocidade X Direção – Outono 2020.

	Direção																Freq.	Freq. Acumulada
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		
(0,0, 0,5)	0.43%	0.49%	1.08%	1.34%	0.40%	0.28%	0.22%	0.45%	0.39%	0.15%	0.36%	0.42%	0.52%	0.46%	0.56%	0.54%	8.06%	8.06%
[0,5, 1,0)	0.34%	0.42%	0.87%	0.69%	0.33%	0.33%	0.32%	0.48%	0.52%	0.28%	0.43%	0.57%	0.70%	0.70%	0.80%	0.43%	8.21%	16.27%
[1,0, 2,0)	0.79%	1.11%	2.18%	0.87%	1.05%	1.59%	1.81%	1.40%	0.85%	1.16%	1.94%	2.34%	1.80%	1.40%	0.75%	0.57%	21.61%	37.88%
[2,0, 3,0)	0.57%	0.77%	1.88%	0.18%	0.75%	1.12%	1.87%	1.21%	0.39%	0.76%	2.36%	2.50%	0.58%	0.45%	0.08%	0.10%	15.58%	53.46%
[3,0, 4,0)	0.22%	0.36%	1.08%	0.11%	1.01%	1.87%	1.78%	0.78%	0.13%	0.25%	1.39%	2.30%	0.53%	0.19%	0.05%	0.05%	12.10%	65.57%
[4,0, 5,0)	0.17%	0.19%	0.89%	0.02%	1.32%	2.27%	2.89%	0.53%	0.02%	0.05%	0.77%	2.60%	0.42%	0.10%	0.04%	0.01%	12.28%	77.85%
[5,0, 6,0)	0.04%	0.06%	0.22%	0.01%	0.78%	1.46%	1.18%	0.17%	0.02%	0.03%	0.20%	0.94%	0.08%	0.06%	0.03%	0.01%	5.29%	83.14%
[6,0, 7,0)	0.02%	0.02%	0.08%	0.00%	0.52%	0.99%	0.69%	0.06%	0.00%	0.01%	0.06%	0.45%	0.05%	0.04%	0.00%	0.00%	2.99%	86.13%
[7,0, 8,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.22%	0.66%	0.38%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	0.28%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	1.61%	87.74%
[8,0, 9,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.07%	0.43%	0.19%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	0.15%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.91%	88.65%
[9,0, 10,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.13%	0.11%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.40%	89.05%
[10,0, 11,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.04%	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.09%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.29%	89.34%
[11,0, 12,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%	89.52%
[12,0, 13,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%	89.66%
[13,0, 14,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	89.70%
[14,0, 15,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	89.73%
>= 15,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	89.74%
Freq.	2.58%	3.41%	8.28%	3.23%	6.51%	11.34%	11.61%	5.09%	2.32%	2.73%	7.59%	12.85%	4.76%	3.43%	2.31%	1.71%		
Freq. Acumulada	2.58%	5.99%	14.27%	17.50%	24.01%	35.35%	46.96%	52.05%	54.38%	57.10%	64.69%	77.54%	82.30%	85.72%	88.03%	89.74%	Calmaria: 10.24%	

## 3.2 Marés

Analisando-se as Tábuas de Marés da Marinha do Brasil, para a estação do Canal da Galheta, na Barra do Complexo estuarino de Paranaguá, observa-se a presença de marés semi-diurnas com amplitudes médias variando entre aproximadamente 0,6m na quadratura e 1,5m na sizígia.

Ao se analisar os dados do modelo matemático extraídos na bacia do Porto Guará, observa-se significativa amplificação da onda de maré no interior do Completo Estuarino. Na Baía de Paranaguá, na Área Diretamente Atingida pelo Porto Guará, as marés apresentam amplitudes de aproximadamente 1m durante na quadratura e 2,5m na Sizígia.

Outro relevante fenômeno evidenciado por alguns autores (/8/, /9/) é a amplificação de harmônicos de alta frequência da maré à medida que esta se propaga para o interior do Complexo Estuarino. Esse fenômeno decorre de fortes interações não-lineares entre as componentes de maré e resulta na formação de até seis eventos diários de preamar e baixamar em períodos de marés de quadratura. A Figura 3.4 ilustra esse fenômeno.

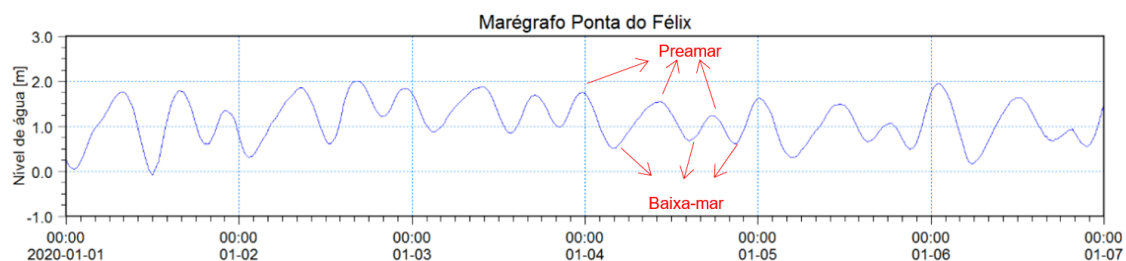


Figura 3.4 Níveis de água medidos através do marégrafo instalado na Ponta do Félix (ver descrição no Apêndice A) em período de quadratura. A amplificação dos harmônicos de alta frequência da maré é indicada pelas setas vermelhas.

Os gráficos apresentados na Figura 3.5 mostram a série temporal de elevação do nível de água extraída do modelo matemático no centro da bacia do Porto Guará. A série temporal foi



repartida entre os períodos de inverno, primavera, verão e outono de modo a facilitar a visualização.

Observa-se maior variação do nível médio dentro do Complexo Estuarino nos meses de outono e inverno em comparação com os meses de primavera e verão, quando o nível médio tende a ser quase constante em torno de 1,0m DHN. Um dos fatores responsáveis por tal variação é a maré meteorológica, gerada pela ação dos ventos, conforme citado anteriormente. Um clássico exemplo de notável ocorrência de maré meteorológica dentro do estuário ocorreu no ano de 1993, quando a variação de nível ocorrida através do empilhamento das águas, além daquela gerada pelas forças astronômicas, chegou a 80cm de coluna d'água, representando aproximadamente 30% da variação total no nível de água, conforme relatado em /9/.

A presença do terminal do Porto Guará não é capaz de alterar a dinâmica da maré no interior do Estuário, entretanto, o conhecimento desse fenômeno oceanográfico é de extrema importância tanto para a segurança dos navios que futuramente demandarão o terminal, como também para a otimização das operações, visto a grande integração entre a maré real no local e o calado das embarcações.

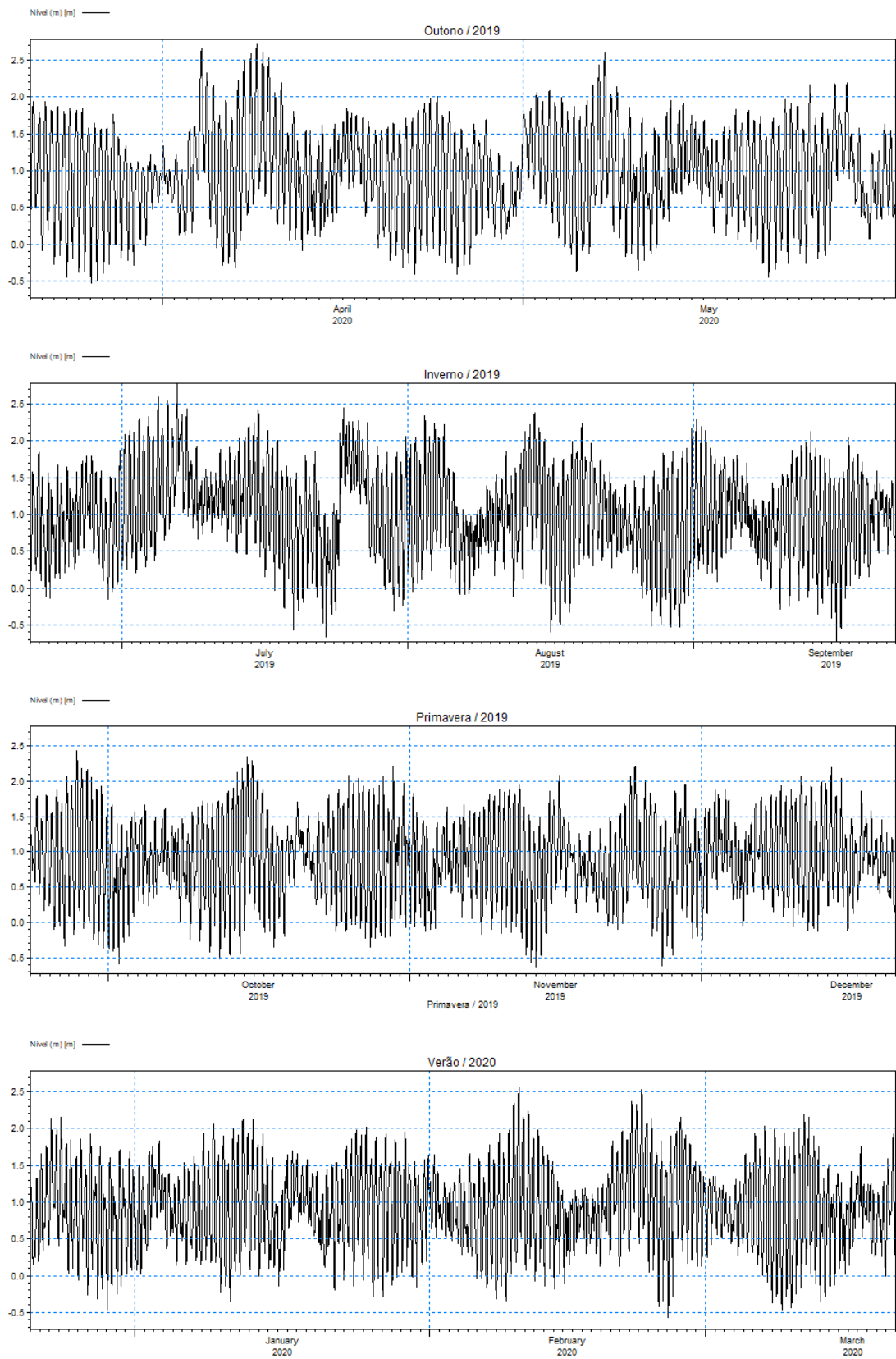


Figura 3.5 Variação da maré na posição da bacia do Porto Guará para o período de junho de 2019 a maio de 2020.



### 3.3 Correntes

A análise dos dados extraídos do modelo hidrodinâmico e demais informações contidas na literatura e base de dados observados (ver Apêndice A), comprovam que no interior do Complexo Estuarino o escoamento é governado principalmente pela ação das marés, com fluxos de enchente e vazante bem definidos. Esse comportamento é evidente nos mapas da Figura 3.6 e Figura 3.7, que mostram campos de correntes em instantes de maré enchente e vazante, respectivamente, em um período de maré de sizígia. Observa-se total correlação entre os vetores de correntes e os momentos de maré enchente e vazante, o que confirma que a maré é o principal agente na formação de correntes no interior do Complexo Estuarino.

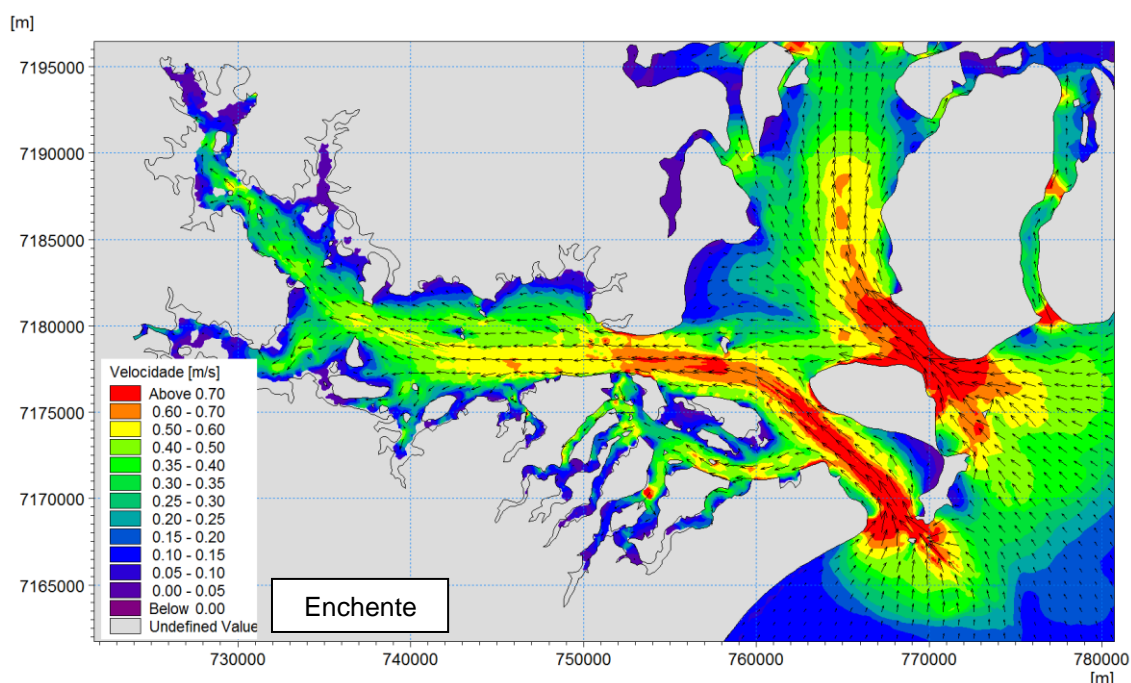


Figura 3.6 Instantâneo do campo de correntes típicas de condição de maré enchente em período de sizígia no Complexo Estuarino. O vetor indica a direção da corrente e a escala de cor a sua velocidade.



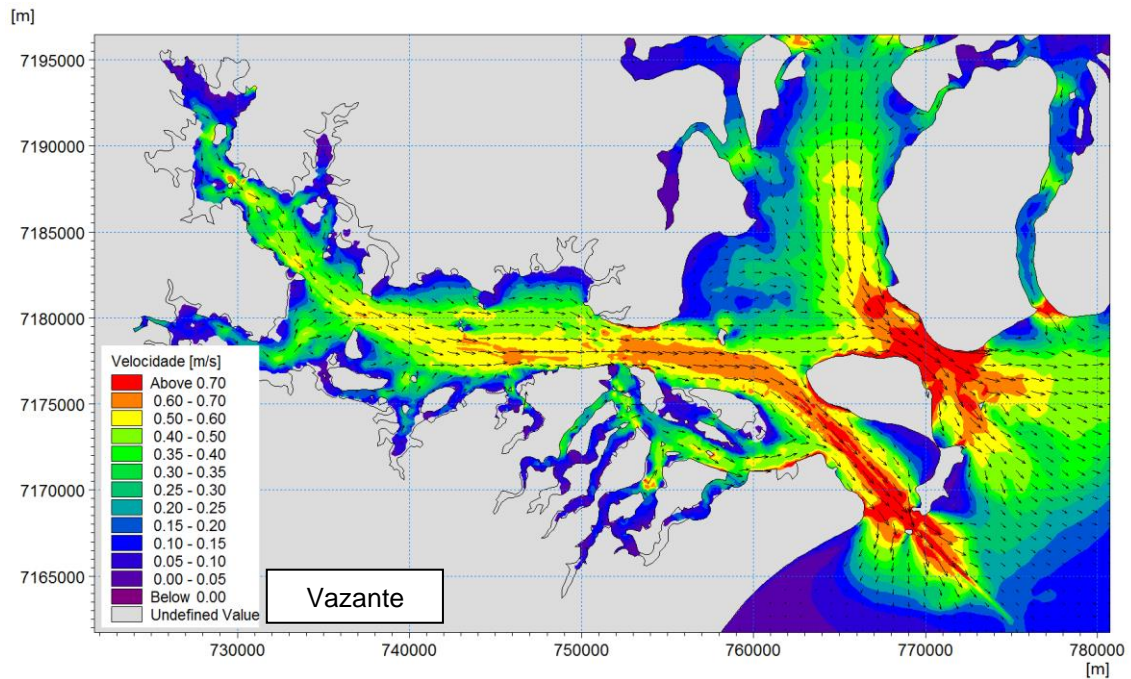


Figura 3.7 Instantâneo do campo de correntes típicas de condição de maré vazante em período de sizígia no Complexo Estuarino. O vetor indica a direção da corrente e a escala de cor a sua velocidade.

Os diagramas da Figura 3.8 ilustram as ocorrências de intensidade por direção das correntes extraídas do modelo na bacia do Porto Guará. Além da visível alternância entre correntes de enchente e vazante, observa-se que durante os meses de outono e inverno ocorre maior duração dos períodos de maré enchente, enquanto as marés vazantes ocorrem por maior período de tempo durante os meses de primavera e verão.

O cruzamento dos dados de ventos medidos no TCP com as correntes calculadas na área do Porto não indica relação entre os parâmetros, o que permite concluir que a maior duração de maré enchente ou vazante não está relacionada à direção do vento e, ainda que os ventos atuem de forma expressiva no empilhamento das águas, essa ação dos ventos conjugada com a formação de maré meteorológica não é suficiente para alterar os padrões das correntes geradas pela modulação da maré astronômica.

É possível que essa variação na duração das enchentes e vazantes esteja relacionada ao regime de chuvas na bacia hidrográfica dos rios que deságuam na região. Os meses de verão são os meses mais chuvosos no Estado, gerando maior contribuição de volume de água doce no Complexo Estuarino (ver Apêndice A deste relatório).



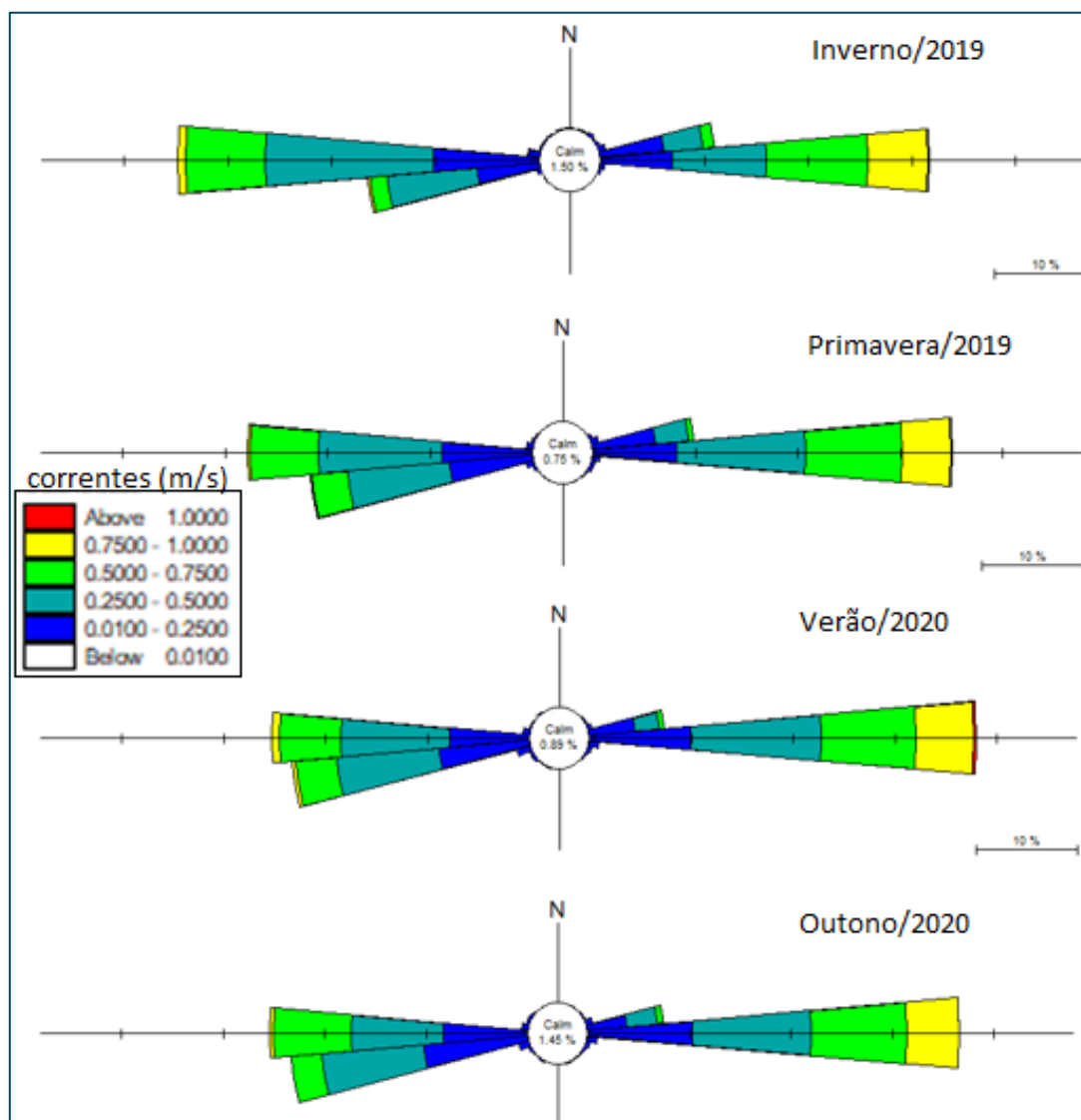


Figura 3.8 Rosas de correntes para os períodos de inverno/2019, primavera/2019, verão/2020 e outono/2020.

Apesar da duração diferenciada das marés de enchente e vazante nos períodos analisados, o alinhamento das correntes permanece totalmente correlacionado à variação da direção das marés, na enchente e na vazante, demonstrando pouca variação gerada pelo regime de chuvas na hidrodinâmica nas proximidades do futuro Porto Guará.

Em especial no local do Porto Guará, localizado em um canal com margens paralelas bem delimitadas, as correntes permanecem se propagando nas mesmas direções quase o ano inteiro, variando apenas o sentido, de acordo com o instante de maré. Os mapas da Figura 3.9 e Figura 3.10 ilustram campos de correntes típicos de condições de maré enchente e vazante na área do futuro Porto extraídos do modelo hidrodinâmico.

Como citado anteriormente em relação à maré, da mesma forma que a amplificação de harmônicos de alta frequência da maré à medida que esta se propaga para o interior do complexo estuarino, resulta na formação de até seis eventos diários de preamar e baixamar em períodos de marés de quadratura, também podem ser observadas até seis inversões de sentido das correntes diariamente, seguindo as características da maré no local.

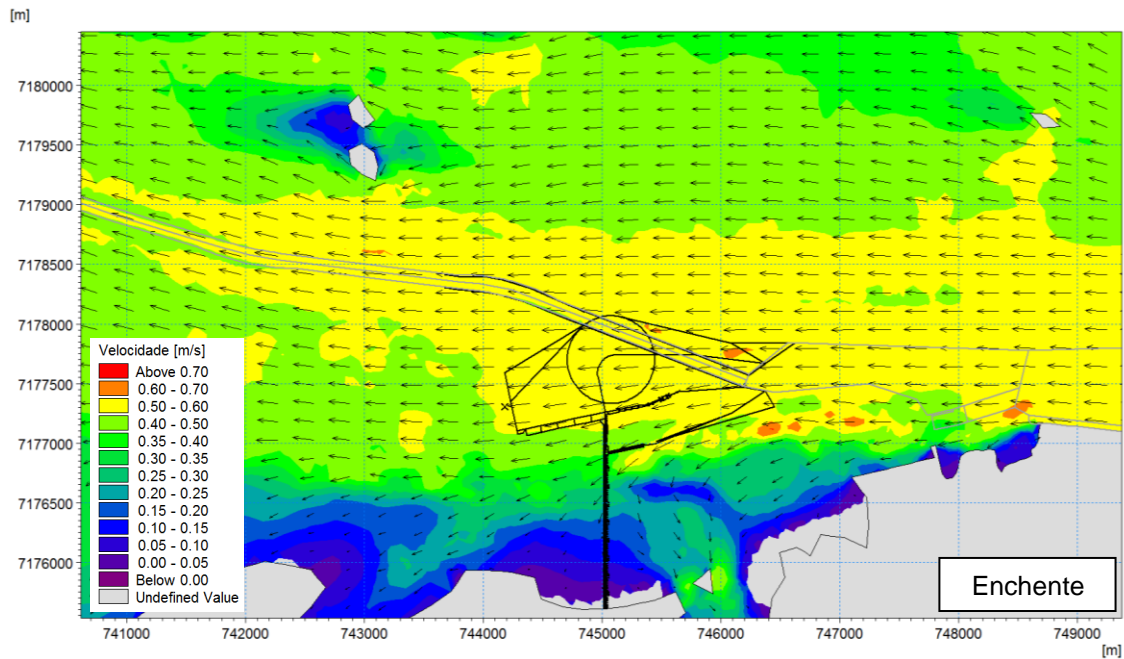


Figura 3.9 Instantâneo do campo de correntes médias típicas de condição de maré enchente na área do Porto Guará. O vetor indica a direo da corrente e a escala de cor a sua velocidade.

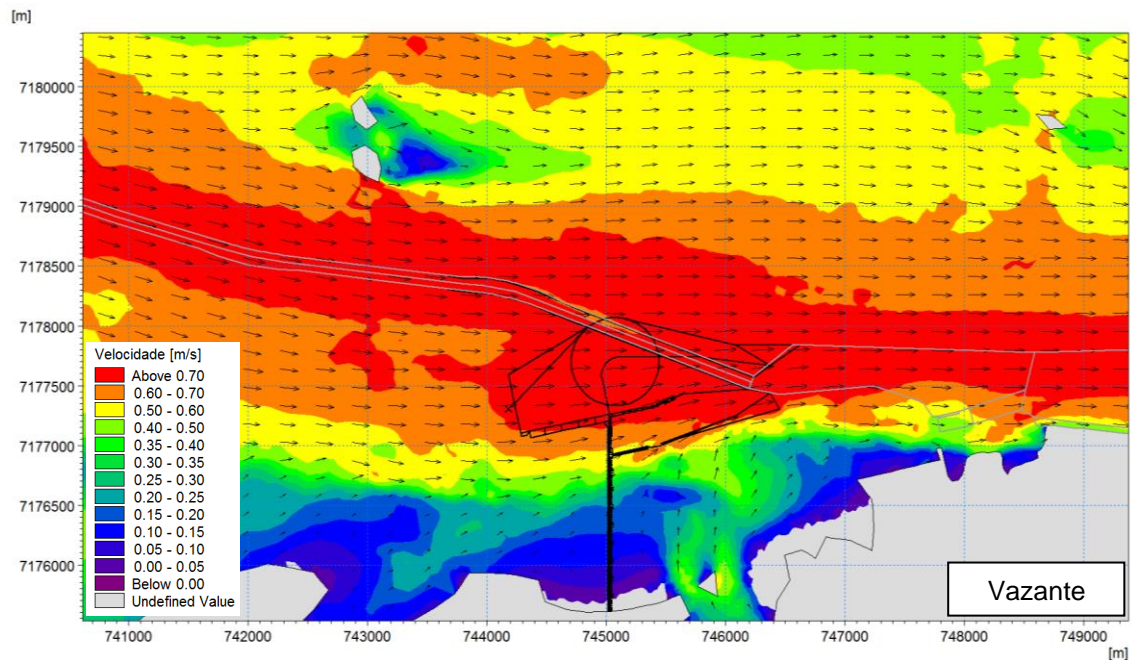


Figura 3.10 Instantâneo do campo de correntes médias típicas de condição de maré vazante na área do Porto Guará. O vetor indica a direo da corrente e a escala de cor a sua velocidade.

## 3.4 Ondas

Os dados de ondas calculados com o modelo matemático para o local do Porto Guará demonstram alturas e períodos extremamente baixos, característicos de ondas geradas por vento local, com pequena pista de atuao. Quando comparados os gráficos de ventos e de ondas, observa-se total correlao entre ambos, provando a tese de que as ondas locais são ondas de vento (*wind sea*).



A área do terminal se encontra protegida da ação das ondas de *swell* que alcançam a barra do estuário, vindas de mar aberto. Essas ondas perdem energia ao se espalhar pelo interior do estuário e não alcançam a área do Porto Guará.

As condições de ondas calculadas na bacia do Porto no período de junho de 2019 a maio de 2020 foram analisadas estatisticamente para a obtenção das frequências de ocorrência entre altura significativa ( $H_s$ ) e direção de onda e período de pico ( $T_p$ ) e direção de onda. As rosas-de-ondas geradas dessa análise são apresentadas na Figura 3.11 e na Figura 3.12.

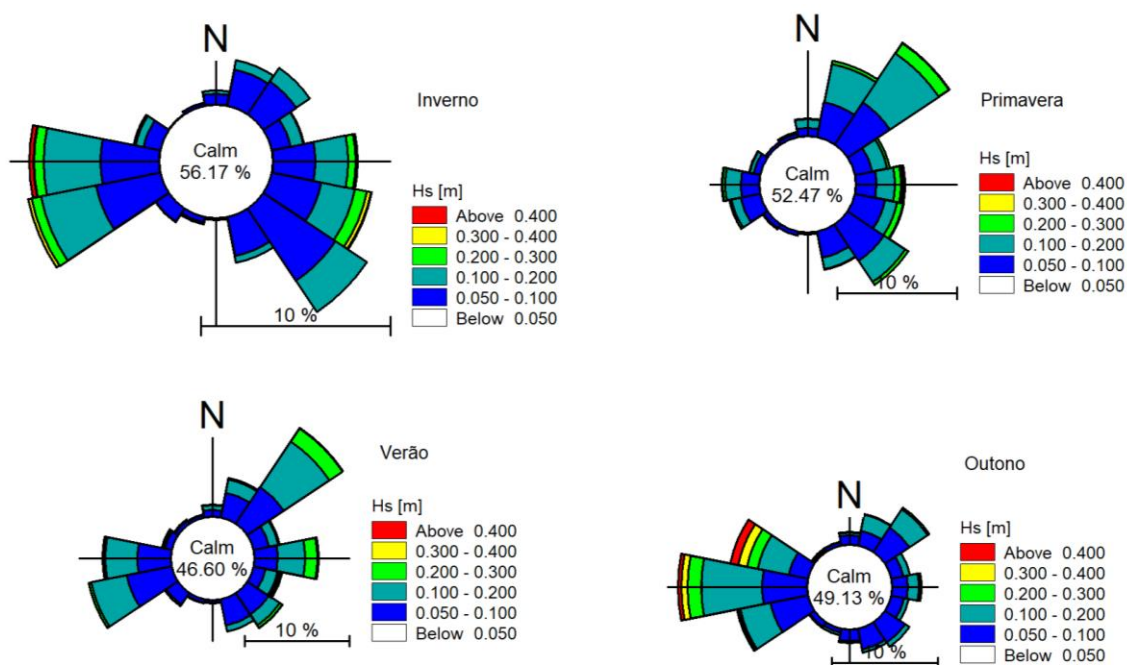


Figura 3.11 Rosas-de-ondas de  $H_s$  x Dir para o período de junho de 2019 a maio de 2020.

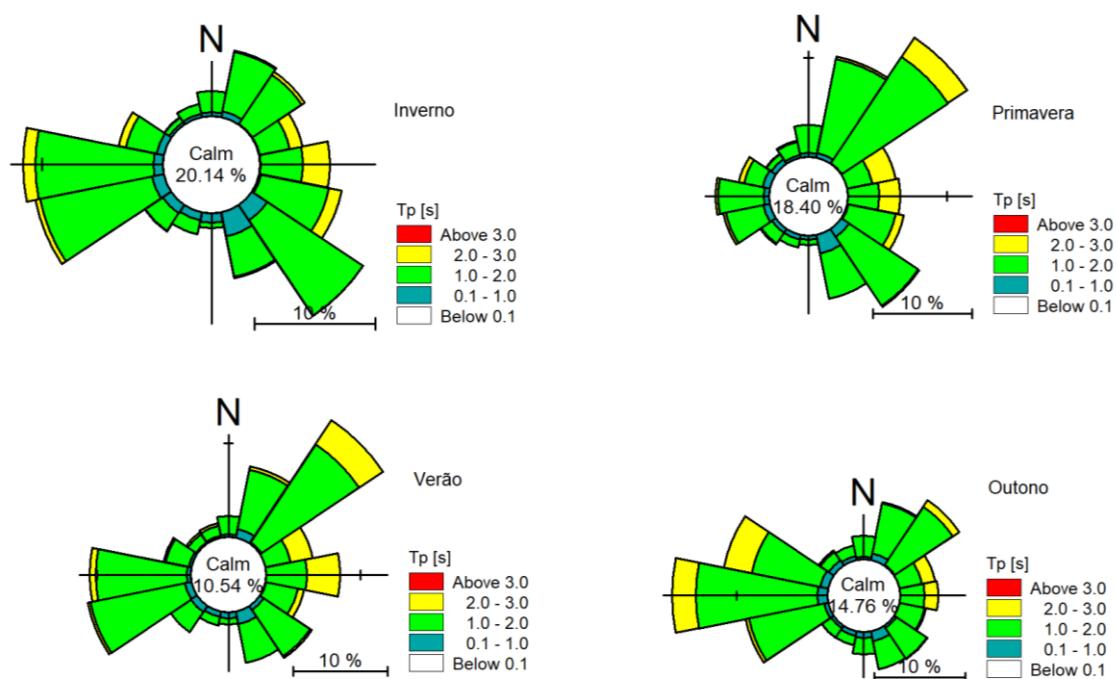


Figura 3.12 Rosas-de-ondas de  $T_p$  x Dir para o período de junho de 2019 a maio de 2020.



O período de pico máximo das ondas observadas na área próximo o Porto Guará é de apenas 3s, o que significa que as ondas possuem pequenos comprimentos de onda e que não interagem com o fundo no local do Porto. Com ondas de comprimento de até aproximadamente 14m, a interação com o fundo passa a ocorrer apenas a partir da profundidade de aproximadamente -7m DHN.

Embora junto à linha de costa as ondas sejam capazes de transportar sedimentos do fundo, a baixa energia associada à pequena altura das ondas no interior do Complexo Estuarino não gera movimento com força suficiente para erodir potencialmente a costa e proporcionar a disponibilização de partículas. O fluxo de sedimentos ocorre principalmente pelas correntes de marés, as quais, com o passar do tempo, podem erodir as margens.

As ondas de maior relevância para o terminal são aquelas de direção Leste e Oeste, pois são as direções que apresentam maior pista de vento, permitindo ondas com altura significativa de até aproximadamente 0,50m.

Em relação às transformações no ambiente, as ondas no interior do Complexo Estuarino se demonstram como os agentes com menor potencial de causar impactos ou alterações hidrodinâmicas.

Da Tabela 3.5 à Tabela 3.16 são apresentadas as frequências de ocorrências de ondas para as diferentes combinações de parâmetros (Hs x Tp, Hs x Dir, Tp x Dir), para as 4 estações do ano. Observa-se ondas de baixa energia em todas as direções.

Tabela 3.5 Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Direção – Inverno de 2019.

																	Freq.	Freq. Acumulada
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		
(0,0, 0,05)	1.31%	3.11%	2.25%	1.89%	1.31%	1.58%	4.51%	3.16%	1.26%	1.49%	1.76%	3.74%	4.64%	2.34%	0.68%	0.95%	35.98%	35.98%
[0,05, 0,1)	0.59%	1.94%	2.07%	0.99%	2.21%	2.66%	4.78%	2.34%	0.05%	0.27%	0.86%	3.43%	3.07%	0.90%	0.00%	0.14%	26.28%	62.26%
[0,1, 0,2)	0.18%	0.50%	0.86%	0.68%	1.71%	1.76%	1.94%	0.50%	0.05%	0.14%	0.00%	2.93%	3.02%	0.41%	0.05%	0.05%	14.74%	77.01%
[0,2, 0,3)	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.41%	0.68%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.50%	0.50%	0.14%	0.00%	0.00%	2.30%	79.31%
[0,3, 0,4)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.45%	79.76%
[0,4, 0,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.27%	80.03%
[0,5, 1,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	80.07%
[1,0, 1,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
[1,5, 2,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
[2,0, 2,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
[2,5, 3,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
[3,0, 3,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
[3,5, 4,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
>= 4,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
Freq.	2.07%	5.55%	5.18%	3.61%	5.73%	6.90%	11.23%	6.00%	1.35%	1.89%	2.66%	10.78%	11.50%	3.79%	0.72%	1.13%		
Freq. Acumulada	2.07%	7.62%	12.80%	16.41%	22.14%	29.04%	40.26%	46.26%	47.61%	49.50%	52.16%	62.94%	74.44%	78.22%	78.94%	80.07%	Calmaria: 19.93%	



Tabela 3.6 Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Tp – Inverno de 2019.

	Período de Onda [s]																Freq.	Freq. Acumulada
	(0,0, 1,0)	(1,0, 2,0)	(2,0, 3,0)	(3,0, 4,0)	(4,0, 5,0)	(5,0, 6,0)	(6,0, 7,0)	(7,0, 8,0)	(8,0, 9,0)	(9,0, 10,0)	(10,0, 11,0)	(11,0, 12,0)	(12,0, 13,0)	(13,0, 14,0)	(14,0, 15,0)	> 15,0		
Altura de Onda [m]	(0,0, 0,05)	10.05%	23.90%	2.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	35.98%	35.98%
	(0,05, 0,1)	0.05%	25.16%	1.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	26.28%	62.26%
	(0,1, 0,2)	0.00%	13.07%	1.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	14.74%	77.01%
	(0,2, 0,3)	0.00%	0.77%	1.53%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.30%	79.31%
	(0,3, 0,4)	0.00%	0.00%	0.45%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.45%	79.76%
	(0,4, 0,5)	0.00%	0.00%	0.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.27%	80.03%
	(0,5, 1,0)	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	80.07%
	(1,0, 1,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(1,5, 2,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(2,0, 2,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(2,5, 3,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(3,0, 3,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(3,5, 4,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	>= 4,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	Freq.	10.10%	62.89%	7.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
	Freq. Acumulada	10.10%	72.99%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	80.07%	Calmaria: 19.93%	

Tabela 3.7 Frequência de ocorrência de ondas – Tp x Direção – Inverno de 2019.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Freq.	Freq. Acumulada
	(0,0, 1,0)	(1,0, 2,0)	(2,0, 3,0)	(3,0, 4,0)	(4,0, 5,0)	(5,0, 6,0)	(6,0, 7,0)	(7,0, 8,0)	(8,0, 9,0)	(9,0, 10,0)	(10,0, 11,0)	(11,0, 12,0)	(12,0, 13,0)	(13,0, 14,0)	(14,0, 15,0)	>= 15,0		
Período de Onda [s]	(0,0, 1,0)	0.32%	0.50%	0.05%	0.05%	0.18%	1.53%	2.07%	0.90%	0.68%	0.86%	1.04%	0.77%	0.63%	0.23%	0.27%	10.10%	10.10%
	(1,0, 2,0)	1.76%	4.96%	4.82%	2.52%	3.43%	5.64%	9.65%	3.83%	0.45%	1.22%	1.76%	9.33%	9.74%	2.52%	0.45%	62.89%	72.99%
	(2,0, 3,0)	0.00%	0.09%	0.32%	1.04%	2.25%	1.08%	0.05%	0.09%	0.00%	0.00%	0.05%	0.41%	0.99%	0.63%	0.05%	7.08%	80.07%
	(3,0, 4,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(4,0, 5,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(5,0, 6,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(6,0, 7,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(7,0, 8,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(8,0, 9,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(9,0, 10,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(10,0, 11,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(11,0, 12,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(12,0, 13,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(13,0, 14,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	(14,0, 15,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	>= 15,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	80.07%
	Freq.	2.07%	5.55%	5.18%	3.61%	5.73%	6.90%	11.23%	6.00%	1.35%	1.89%	2.66%	10.78%	11.50%	3.79%	0.72%	1.13%	
	Freq. Acumulada	2.07%	7.62%	12.80%	16.41%	22.14%	29.04%	40.26%	46.26%	47.61%	49.50%	52.16%	62.94%	74.44%	78.22%	80.07%	Calmaria: 19.93%	





Tabela 3.8 Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Direção – Primavera de 2019.

	Direção																Freq.	Freq. Acumulada
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		
(0.0, 0.05)	1.73%	3.96%	5.13%	2.01%	1.17%	1.63%	3.45%	3.22%	0.70%	0.89%	1.35%	2.10%	2.33%	2.24%	0.98%	1.26%	34.14%	34.14%
[0.05, 0.1)	0.70%	3.03%	4.29%	1.49%	1.73%	2.61%	3.50%	1.96%	0.19%	0.37%	0.37%	1.73%	1.59%	0.61%	0.23%	0.33%	24.72%	58.86%
[0.1, 0.2)	0.75%	3.26%	4.94%	1.31%	1.59%	1.03%	2.15%	0.84%	0.00%	0.00%	0.14%	0.79%	1.31%	0.33%	0.00%	0.09%	18.52%	77.38%
[0.2, 0.3)	0.09%	0.33%	1.07%	0.23%	0.51%	0.56%	0.23%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.19%	0.19%	0.05%	0.00%	0.09%	3.59%	80.97%
[0.3, 0.4)	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.23%	81.20%
[0.4, 0.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.19%	81.39%
[0.5, 1.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	81.44%
[1.0, 1.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[1.5, 2.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[2.0, 2.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[2.5, 3.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[3.0, 3.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[3.5, 4.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
>= 4.0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
Freq.	3.26%	10.59%	15.49%	5.04%	5.32%	5.88%	9.33%	6.06%	0.89%	1.26%	1.87%	4.80%	5.46%	3.22%	1.21%	1.77%		
Freq. Acumulada	3.26%	13.85%	29.34%	34.38%	39.69%	45.57%	54.90%	60.96%	61.85%	63.11%	64.97%	69.78%	75.23%	78.45%	79.66%	81.44%	Calmaria: 18.56%	

Tabela 3.9 Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Tp – Primavera de 2019.

	Período de Onda [s]																Freq.	Freq. Acumulada
	(0.0, 1.0)	(1.0, 2.0)	(2.0, 3.0)	(3.0, 4.0)	(4.0, 5.0)	(5.0, 6.0)	(6.0, 7.0)	(7.0, 8.0)	(8.0, 9.0)	(9.0, 10.0)	(10.0, 11.0)	(11.0, 12.0)	(12.0, 13.0)	(13.0, 14.0)	(14.0, 15.0)	> 15.0		
(0.0, 0.05)	7.93%	24.02%	2.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	34.14%	34.14%
[0.05, 0.1)	0.00%	23.69%	1.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	24.72%	58.86%
[0.1, 0.2)	0.00%	15.58%	2.94%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	18.52%	77.38%
[0.2, 0.3)	0.00%	0.75%	2.85%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3.59%	80.97%
[0.3, 0.4)	0.00%	0.00%	0.23%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.23%	81.20%
[0.4, 0.5)	0.00%	0.00%	0.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.19%	81.39%
[0.5, 1.0)	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	81.44%
[1.0, 1.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[1.5, 2.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[2.0, 2.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[2.5, 3.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[3.0, 3.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
[3.5, 4.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
>= 4.0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
Freq.	7.93%	64.04%	9.47%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
Freq. Acumulada	7.93%	71.97%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	81.44%	Calmaria: 18.56%	



Tabela 3.10 Frequência de ocorrência de ondas – Tp x Direção – Primavera de 2019.

		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Freq.	Freq. Acumulada
Período de Onda [s]	(0,0, 1,0)	0.42%	0.47%	0.05%	0.00%	0.00%	0.14%	0.98%	1.87%	0.33%	0.47%	0.47%	0.70%	0.56%	0.75%	0.51%	0.23%	7.93%	7.93%
	[1,0, 2,0)	2.85%	9.79%	13.11%	2.66%	3.22%	4.90%	8.21%	4.20%	0.56%	0.79%	1.31%	3.82%	4.57%	1.96%	0.65%	1.45%	64.04%	71.97%
	[2,0, 3,0)	0.00%	0.33%	2.33%	2.38%	2.10%	0.84%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%	0.28%	0.33%	0.51%	0.05%	0.09%	9.47%	81.44%
	[3,0, 4,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[4,0, 5,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[5,0, 6,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[6,0, 7,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[7,0, 8,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[8,0, 9,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[9,0, 10,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[10,0, 11,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[11,0, 12,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[12,0, 13,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[13,0, 14,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	[14,0, 15,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
	>= 15,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	81.44%
Freq.		3.26%	10.59%	15.49%	5.04%	5.32%	5.88%	9.33%	6.06%	0.89%	1.26%	1.87%	4.80%	5.46%	3.22%	1.21%	1.77%		
Freq. Acumulada		3.26%	13.85%	29.34%	34.38%	39.69%	45.57%	54.90%	60.96%	61.85%	63.11%	64.97%	69.78%	75.23%	78.45%	79.66%	81.44%	Calmaria: 18.56%	

Tabela 3.11 Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Direção – Verão de 2019.

		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Freq.	Freq. Acumulada
Altura de Onda [m]	(0,0, 0,05)	1.12%	3.97%	4.77%	2.57%	1.68%	1.36%	2.57%	2.38%	0.94%	1.03%	1.92%	3.18%	4.30%	2.06%	1.03%	1.26%	36.14%	36.14%
	[0,05, 0,1)	0.61%	2.43%	4.25%	1.54%	2.24%	1.22%	2.48%	2.52%	0.28%	0.37%	1.36%	4.44%	3.23%	0.61%	0.28%	0.23%	28.10%	64.24%
	[0,1, 0,2)	0.47%	1.31%	5.28%	0.94%	2.43%	1.17%	1.22%	0.61%	0.05%	0.05%	0.14%	3.41%	3.13%	0.19%	0.19%	0.09%	20.66%	84.90%
	[0,2, 0,3)	0.09%	0.14%	1.54%	0.09%	1.03%	0.23%	0.23%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.23%	0.19%	0.19%	0.00%	0.00%	3.97%	88.87%
	[0,3, 0,4)	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.05%	0.19%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.42%	89.29%
	[0,4, 0,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.05%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%	89.43%
	[0,5, 1,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[1,0, 1,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[1,5, 2,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[2,0, 2,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[2,5, 3,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[3,0, 3,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[3,5, 4,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	>= 4,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
Freq.		2.29%	7.85%	15.90%	5.19%	7.48%	4.21%	6.59%	5.52%	1.26%	1.45%	3.41%	11.27%	10.89%	3.04%	1.50%	1.59%		
Freq. Acumulada		2.29%	10.14%	26.04%	31.23%	38.71%	42.92%	49.51%	55.03%	56.29%	57.74%	61.15%	72.42%	83.31%	86.35%	87.84%	89.43%	Calmaria: 10.57%	



Tabela 3.12 Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Tp – Verão de 2019.

	Período de Onda [s]																Freq.	Freq. Acumulada
	(0.0, 1.0)	(1.0, 2.0)	(2.0, 3.0)	(3.0, 4.0)	(4.0, 5.0)	(5.0, 6.0)	(6.0, 7.0)	(7.0, 8.0)	(8.0, 9.0)	(9.0, 10.0)	(10.0, 11.0)	(11.0, 12.0)	(12.0, 13.0)	(13.0, 14.0)	(14.0, 15.0)	> 15.0		
Altura de Onda [m]	(0.0, 0.05)	7.29%	25.01%	3.83%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	36.14%	36.14%
	[0.05, 0.1)	0.00%	26.18%	1.92%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	28.10%	64.24%
	[0.1, 0.2)	0.00%	18.09%	2.57%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	20.66%	84.90%
	[0.2, 0.3)	0.00%	1.17%	2.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3.97%	88.87%
	[0.3, 0.4)	0.00%	0.00%	0.42%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.42%	89.29%
	[0.4, 0.5)	0.00%	0.00%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%	89.43%
	[0.5, 1.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[1.0, 1.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[1.5, 2.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[2.0, 2.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[2.5, 3.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[3.0, 3.5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[3.5, 4.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	>= 4.0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	Freq.	7.29%	70.45%	11.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
	Freq. Acumulada	7.29%	77.75%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	89.43%	Calmaria: 10.57%	

Tabela 3.13 Frequência de ocorrência de ondas – Tp x Direção – Verão de 2019.

	Direção																Freq.	Freq. Acumulada
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		
Período de Onda [s]	(0.0, 1.0)	0.33%	0.98%	0.19%	0.00%	0.00%	0.05%	0.51%	1.36%	0.65%	0.61%	0.79%	0.75%	0.42%	0.28%	0.14%	0.23%	7.29%
	[1.0, 2.0)	1.92%	6.50%	12.62%	2.76%	4.30%	3.51%	5.89%	4.16%	0.61%	0.84%	2.62%	10.19%	9.77%	2.57%	1.08%	1.12%	70.45%
	[2.0, 3.0)	0.05%	0.37%	3.09%	2.43%	3.18%	0.65%	0.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.33%	0.70%	0.19%	0.28%	0.23%	11.69%
	[3.0, 4.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[4.0, 5.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[5.0, 6.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[6.0, 7.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[7.0, 8.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[8.0, 9.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[9.0, 10.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[10.0, 11.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[11.0, 12.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[12.0, 13.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[13.0, 14.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	[14.0, 15.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	>= 15.0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	89.43%
	Freq.	2.29%	7.85%	15.90%	5.19%	7.48%	4.21%	6.59%	5.52%	1.26%	1.45%	3.41%	11.27%	10.89%	3.04%	1.50%	1.59%	
	Freq. Acumulada	2.29%	10.14%	26.04%	31.23%	38.71%	42.92%	49.51%	55.03%	56.29%	57.74%	61.15%	72.42%	83.31%	86.35%	87.84%	89.43%	Calmaria: 10.57%





Tabela 3.14 Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Direção – Outono de 2019.

	Direção																Freq.	Freq. Acumulada
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		
(0,0, 0,05)	1.45%	3.62%	3.76%	2.31%	1.45%	1.36%	2.04%	2.22%	1.27%	1.27%	1.36%	3.53%	5.16%	3.67%	1.40%	1.31%	37.18%	37.18%
[0,05, 0,1)	0.86%	1.49%	2.31%	1.13%	1.18%	1.09%	2.17%	1.99%	0.91%	0.32%	0.54%	4.17%	4.57%	1.49%	0.05%	0.32%	24.59%	61.78%
[0,1, 0,2)	0.18%	1.36%	1.72%	0.54%	0.86%	0.41%	0.54%	0.45%	0.14%	0.18%	0.09%	2.94%	5.30%	2.26%	0.14%	0.05%	17.16%	78.94%
[0,2, 0,3)	0.09%	0.05%	0.18%	0.00%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.18%	1.31%	0.82%	0.09%	0.00%	2.90%	81.84%
[0,3, 0,4)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.45%	0.68%	0.05%	0.00%	1.27%	83.11%
[0,4, 0,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.18%	0.36%	0.00%	0.00%	0.59%	83.70%
[0,5, 1,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.27%	0.00%	0.00%	0.32%	84.01%
[1,0, 1,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[1,5, 2,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[2,0, 2,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[2,5, 3,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[3,0, 3,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[3,5, 4,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
>= 4,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
Freq.	2.58%	6.52%	7.97%	3.99%	3.67%	2.85%	4.76%	4.66%	2.36%	1.77%	1.99%	10.91%	17.03%	9.56%	1.72%	1.68%		
Freq. Acumulada	2.58%	9.10%	17.07%	21.06%	24.73%	27.58%	32.34%	37.00%	39.36%	41.12%	43.12%	54.03%	71.06%	80.62%	82.34%	84.01%	Calmaria: 15.99%	

Tabela 3.15 Frequência de ocorrência de ondas – Hs x Tp – Outono de 2019.

	Período de Onda [s]																Freq.	Freq. Acumulada
	(0,0, 1,0)	(1,0, 2,0)	(2,0, 3,0)	(3,0, 4,0)	(4,0, 5,0)	(5,0, 6,0)	(6,0, 7,0)	(7,0, 8,0)	(8,0, 9,0)	(9,0, 10,0)	(10,0, 11,0)	(11,0, 12,0)	(12,0, 13,0)	(13,0, 14,0)	(14,0, 15,0)	> 15,0		
(0,0, 0,05)	9.38%	25.54%	2.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	37.18%	37.18%
[0,05, 0,1)	0.00%	23.82%	0.77%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	24.59%	61.78%
[0,1, 0,2)	0.00%	15.58%	1.59%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	17.16%	78.94%
[0,2, 0,3)	0.00%	0.59%	2.31%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.90%	81.84%
[0,3, 0,4)	0.00%	0.00%	1.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.27%	83.11%
[0,4, 0,5)	0.00%	0.00%	0.59%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.59%	83.70%
[0,5, 1,0)	0.00%	0.00%	0.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.32%	84.01%
[1,0, 1,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[1,5, 2,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[2,0, 2,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[2,5, 3,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[3,0, 3,5)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[3,5, 4,0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
>= 4,0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
Freq.	9.38%	65.53%	9.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		
Freq. Acumulada	9.38%	74.91%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	84.01%	Calmaria: 15.99%	



Tabela 3.16 Frequência de ocorrência de ondas – Tp x Direção – Outono de 2019.

																	Freq.	Freq. Acumulada
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		
(0.0, 1.0)	0.41%	0.95%	0.14%	0.00%	0.00%	0.05%	0.50%	1.40%	0.63%	0.77%	0.59%	1.13%	1.09%	0.68%	0.59%	0.45%	9.38%	9.38%
[1.0, 2.0)	2.17%	5.39%	7.16%	2.76%	2.45%	2.72%	4.17%	3.22%	1.68%	1.00%	1.31%	9.47%	13.63%	6.30%	0.91%	1.22%	65.53%	74.91%
[2.0, 3.0)	0.00%	0.18%	0.68%	1.22%	1.22%	0.09%	0.09%	0.05%	0.05%	0.00%	0.09%	0.32%	2.31%	2.58%	0.23%	0.00%	9.10%	84.01%
[3.0, 4.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[4.0, 5.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[5.0, 6.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[6.0, 7.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[7.0, 8.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[8.0, 9.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[9.0, 10.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[10.0, 11.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[11.0, 12.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[12.0, 13.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[13.0, 14.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
[14.0, 15.0)	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
>= 15.0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	84.01%
Freq.	2.58%	6.52%	7.97%	3.99%	3.67%	2.85%	4.76%	4.66%	2.36%	1.77%	1.99%	10.91%	17.03%	9.56%	1.72%	1.68%		
Freq. Acumulada	2.58%	9.10%	17.07%	21.06%	24.73%	27.58%	32.34%	37.00%	39.36%	41.12%	43.12%	54.03%	71.06%	80.62%	82.34%	84.01%	Calmaria: 15.99%	



## 4 Caracterização dos processos de transporte na linha de costa

A caracterização do transporte de sedimentos junto a costa na área do Porto Guará foi baseada na análise temporal de imagens obtidas através de fotografias aéreas e por satélite.

A imagem mais antiga disponível para a região consta de um aerolevantamento realizado em 1980. Tomando esta imagem como base, foi possível a realização de uma análise temporal da linha de costa a partir da comparação com imagens de satélites de anos posteriores, com intervalos variando entre 3 e 20 anos entre cada imagem.

Como não é possível determinar as alturas de maré em cada instante em que as fotos foram obtidas, as linhas de costa foram traçadas na linha de vegetação. Ainda que esse procedimento seja o mais viável, de forma a não se contabilizar variações de maré como se fossem alterações temporais da linha de costa, essa análise deve ser utilizada de forma qualitativa, apenas apresentando locais com tendências de erosão ou assoreamento, e não a fim de se determinar precisamente o quanto determinada porção da linha de costa avançou sobre o mar ou regrediu.

Devido à pouca presença de sedimentos emersos disponíveis e não existência de dunas, os ventos desempenham papel pouco importante no transporte direto de sedimentos e desenho da linha de costa. Sua influência está presente apenas indiretamente, pela presença das ondas formadas localmente e pelo aumento do nível de água por represamento.

A presença de bancos arenosos na desembocadura do Rio Emboguaçu, sugere a contribuição sedimentar que o mesmo traz para o meio em que está inserido o Porto Guará. Tais bancos ficam visíveis apenas em períodos de maré baixa.

A área de drenagem das baías de Antonina e Paranaguá evidenciam predominantemente dois grandes compartimentos geomorfológicos: Serra do Mar e Planície Litorânea. Essa configuração paisagística proporciona elevada suscetibilidade natural à ocorrência de movimentos de massa e desenvolvimento de processos erosivos nas margens (/10/). No caso do Complexo Estuarino de Paranaguá, a pluviosidade considerada significativa na região (de 2.000 a 3.600mm por ano) pode ser um fator importante para o aporte sedimentar e carreamento de sedimentos finos para a região (/11/). O que justifica a disponibilidade de sedimentos e criação de bancos arenosos nas desembocaduras desses pequenos rios no interior do estuário.

Todas as imagens utilizadas nas análises estão apresentadas na Figura 4.1 e a Figura 4.2 apresenta uma integração entre as linhas de costa de todos os anos analisados.

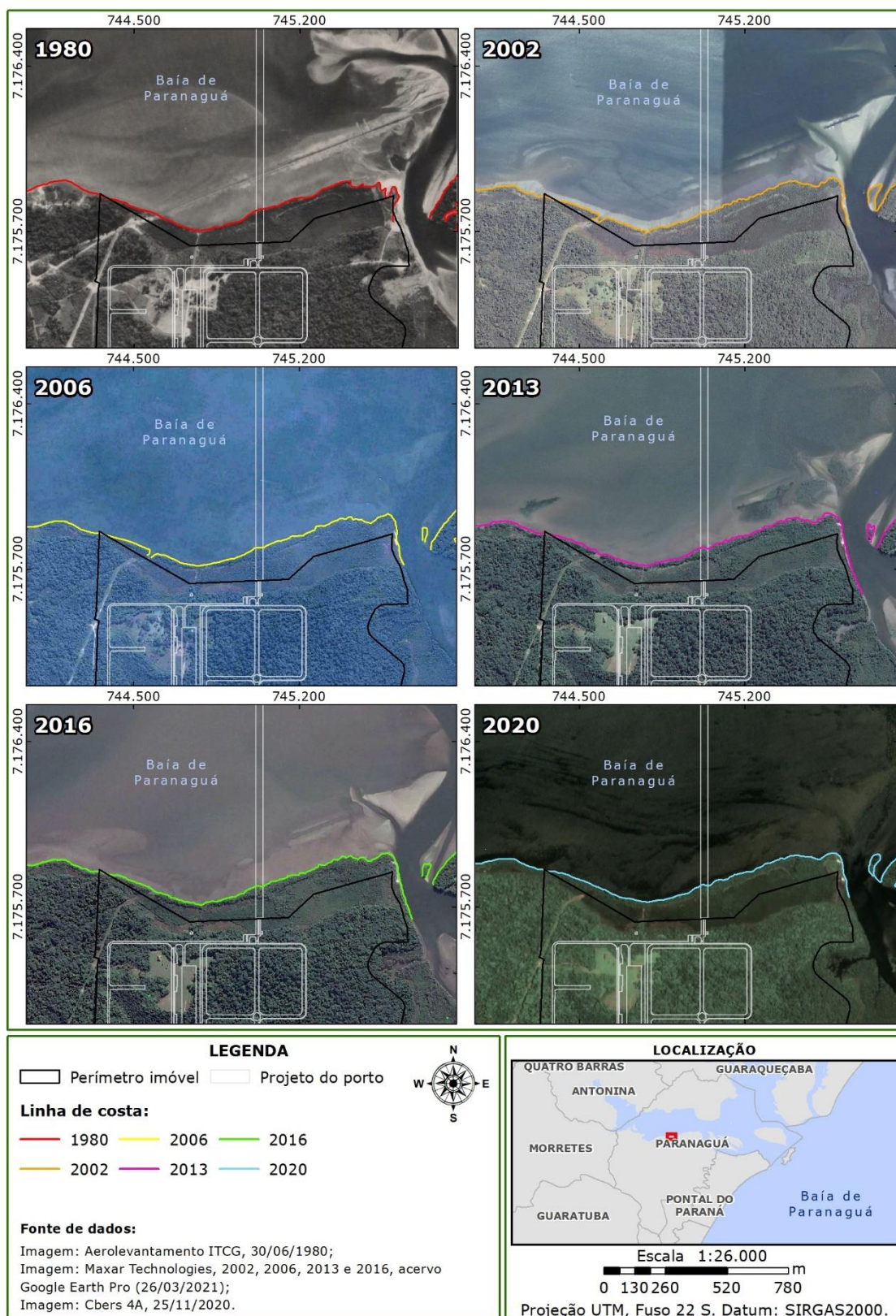


Figura 4.1 Imagens ilustrativas da linha de costa na área do Porto Guará nos anos de 1980, 2002, 2006, 2013, 2016 e 2020.



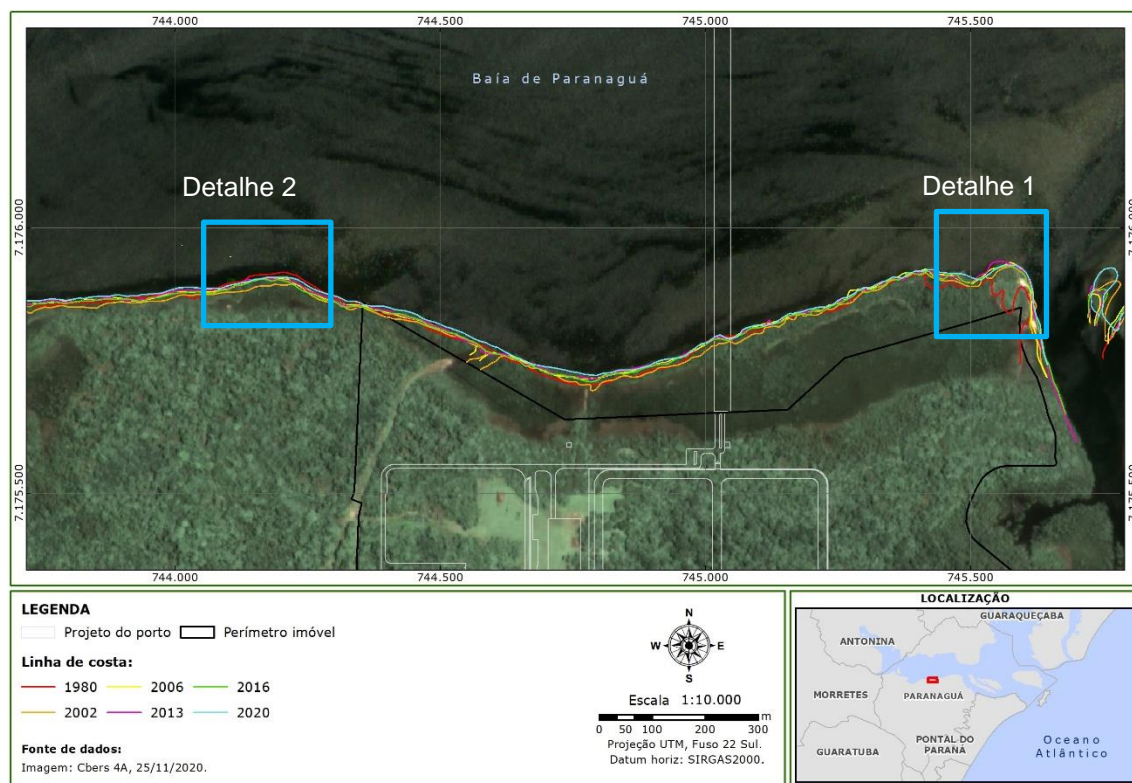


Figura 4.2 Análise comparativa da linha de costa para a região do Porto Guará entre os anos de 1980, 2002, 2006, 2013, 2016 e 2020.

A principal variação dentre todo o histórico é observada entre a primeira e segunda imagem, o que era de se esperar, visto que essas são as imagens com maior intervalo de tempo entre imagens subsequentes.

Observa-se um avanço do pontão na foz do Rio Emboguaçu, lateral ao terreno do Porto Guará. O restante do litoral analisado apresenta padrão de estabilidade dinâmica, com pouca variação para o período de 40 anos, com leve tendência a leve progradação da margem em quase todo o terreno.

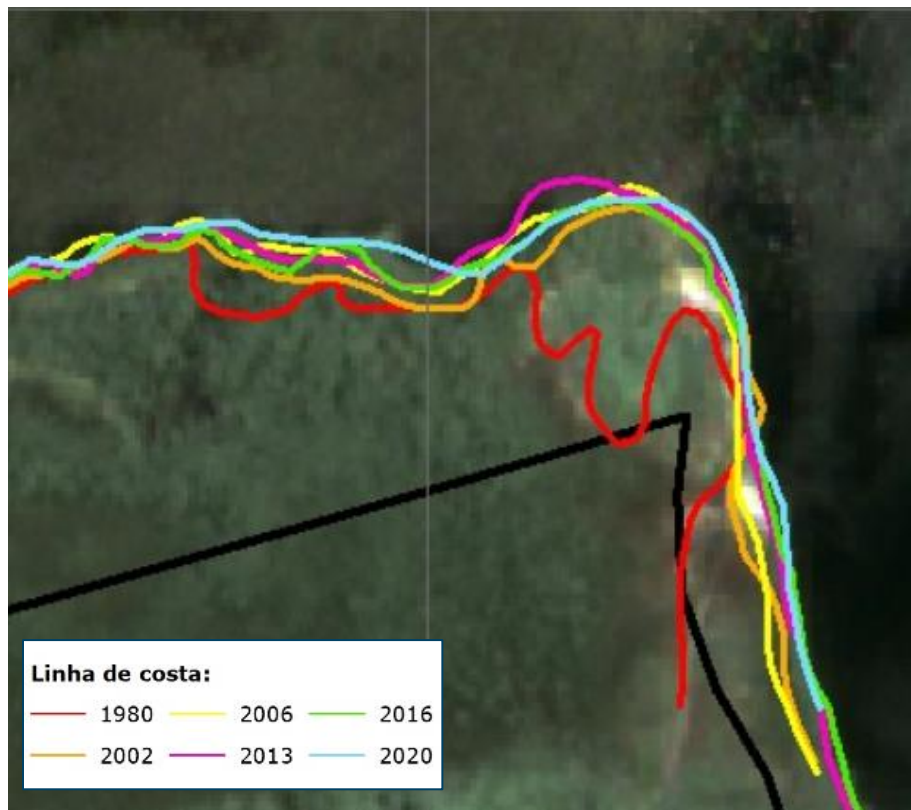


Figura 4.3 Detalhe da progradação da costa no pontão da foz do Rio Emboguaçu.

Como visto anteriormente, as ondas presentes no local são ondas de curto período e de pequena altura, ou seja, pouco energéticas, o que contribui positivamente para a existência de uma região de costa deposicional. Além disso, a desembocadura do Rio Emboguaçu na lateral do Porto contribui como fonte sedimentar para a formação dessa área deposicional.

É possível que os períodos com retrocesso da linha de costa, dentro desse equilíbrio dinâmico, sejam aqueles marcados por maiores velocidades de correntes, associado a maior nível de água na Baía de Paranaguá e na Baía de Antonina. Esses momentos favorecem formações de prismas deposicionais no exterior do Complexo Estuarino, entretanto, permite a erosão de porções da margem que ficam emersas apenas em períodos de maiores cheias e vazões.

Em resumo, diante dos dados analisados, é possível concluir que, apesar da pouca dinamicidade da linha de costa em torno do terreno do Porto Guará, as variações que ocorrem estão presentes principalmente pela presença do Rio Emboguaçu e pelas variações de nível de água no interior do Complexo Estuarino. E que os efeitos de ondas e ventos são os menos representativos nessas alterações, característica bem diferente de porções de praias expostas ao mar aberto.

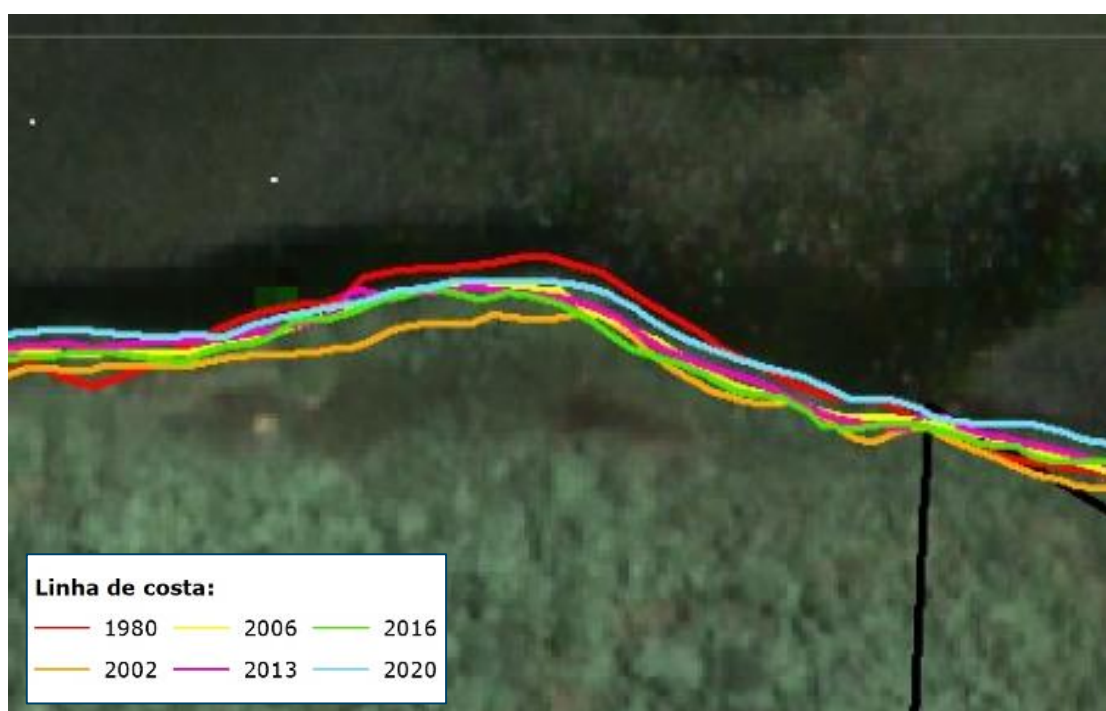


Figura 4.4 Detalhe da única região que demonstrou erosão da margem entre 1980 e 2002, posteriormente, mostrando tendência a retornar gradativamente para seu estado inicial.





*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*



## 5 Análise da dispersão dos sedimentos dragados

### 5.1 Entendimento do problema

As atividades de dragagem previstas para a implantação do Porto Guará resultarão na dispersão de sedimentos na área do projeto, que serão transportados pelas correntes de maré no interior do Complexo Estuarino. O espalhamento do sedimento dragado poderá causar impactos negativos à flora e fauna da região. O sedimento mais grosso (areia) irá se depositar quase que instantaneamente, não causando problemas para a qualidade da água. Porém, a deposição desse sedimento pode resultar no soterramento de organismos vivos que porventura possam existir nas cercanias do Porto. O material mais fino, por sua vez, pode permanecer por mais tempo na coluna de água, afetando a qualidade da água e a reduzindo a penetração da luz solar.

O volume de material em suspensão dependerá do tipo e quantidade de dragas a serem utilizadas, do ciclo de operação e taxa de *overflow* dessas dragas, do tipo de material a ser dragado, entre outros fatores. As concentrações e extensão da pluma do sedimento em suspensão dependerá também das características das correntes e ondas na área de estudo. No interior do Complexo Estuarino as marés são o principal mecanismo gerador de correntes. O material em suspensão será então transportado pelas correntes de maré enquanto sofre sedimentação, podendo se depositar sobre o fundo caso as condições sejam favoráveis. A depender das velocidades das correntes e das características dos grãos, o material depositado poderá ser novamente ressuspensionado e transportado para regiões mais afastadas do porto. A contribuição das ondas sobre o mecanismo de ressuspensão dos sedimentos no interior do Complexo Estuarino é pouco significativa em comparação com a contribuição das correntes de maré, dada a baixa energia das ondas na região.

Uma vez dragado, esse material será transportado e posteriormente descartado na área de despejo. Seu comportamento após o descarte dependerá das características do descarte, composição do sedimento descartado e da velocidade das correntes na área de despejo. Sedimentos mais grosseiros, como a areia, poderão rapidamente alcançar o fundo, formando depósitos, enquanto os sedimentos mais finos como silte e argila poderão permanecer em suspensão por mais tempo e transportados para regiões afastadas da área de despejo.

### 5.2 Características dos sedimentos dragados

As características dos sedimentos que serão dragados durante as obras de aprofundamento da bacia do Porto foram estimadas a partir da análise granulométrica das amostras de sedimentos coletadas através de ensaios de sondagem (SPT) realizados pela empresa FUNDESTAC em 46 pontos localizados conforme indicado na Figura 5.1. Para cada furo de sondagem foram coletadas amostras na superfície, meio e fundo do perfil, totalizando 138 amostras. A localização dos furos de sondagem é apresentada na Figura 5.1.

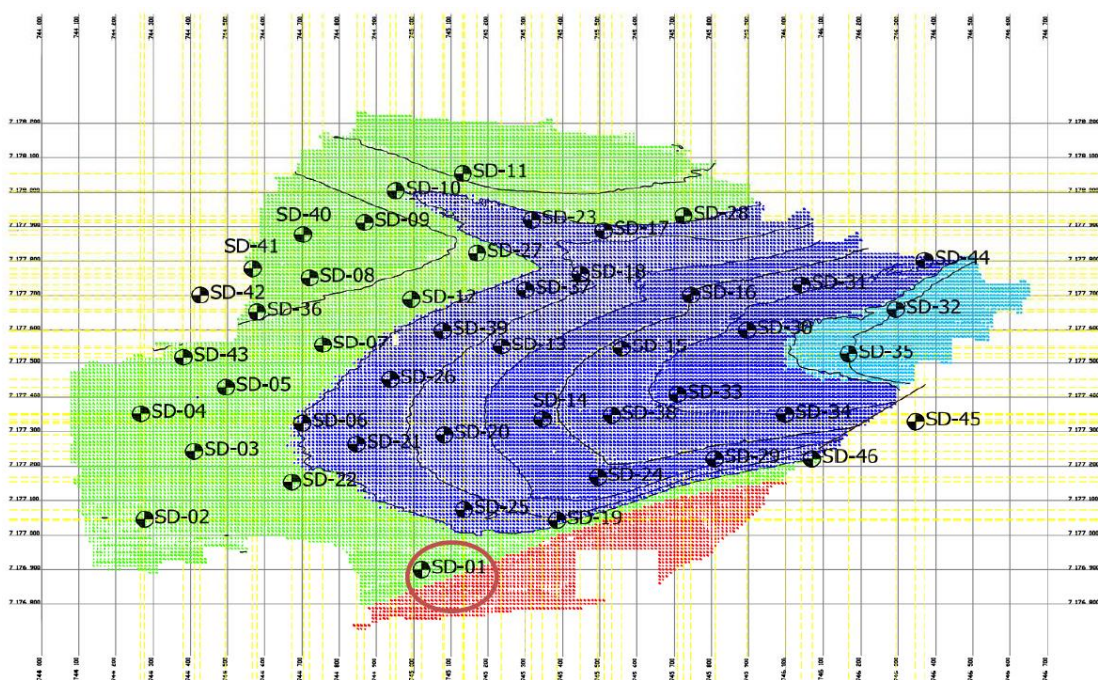


Figura 5.1 Pontos de coletas de amostras de sedimentos na área do Porto Guará. Obtido de [12].

De modo a obter a composição média das frações de areia, silte e argila que compem o volume total a ser descartado pelas dragas durante as operações de dragagem na área do Porto e de descarte na rea ACE-20, uma média aritmética dos percentuais das frações de cada amostra foi calculada. A composição média calculada para cada frao, em massa,  apresentada na Tabela 5.1 e indica a predominância de areia fina e silte.



**Tabela 5.1** Composição granulométrica das amostras de sedimentos em massa conforme apresentadas nos boletins da FUNDESTAC e a composição média calculada.

Tipo de sedimento	Diâmetro	SD01			SD02			SD03			SD04			SD05			SD06			SD07			SD08			SD09			SD10		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
Areia muito grossa	2 a 1 mm	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
Areia grossa	1 a 0,5 mm	0%	0%	0%	0%	1%	1%	3%	0%	2%	0%	0%	1%	5%	0%	0%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	9%	0%	0%	5%	3%	0%	0%		
Areia média	0,5 a 0,25 mm	2%	5%	5%	20%	12%	18%	2%	16%	12%	7%	14%	7%	0%	8%	3%	3%	13%	14%	0%	6%	7%	9%	8%	11%	6%	2%	18%	13%	3%	4%
Areia fina	0,25 a 0,125mm	29%	32%	24%	37%	30%	41%	44%	37%	44%	43%	45%	26%	13%	45%	47%	21%	49%	42%	1%	48%	52%	28%	29%	42%	23%	58%	43%	23%	32%	26%
Areia muito fina	0,125 a 0,062 mm	14%	11%	15%	11%	14%	13%	12%	11%	13%	11%	11%	13%	3%	12%	13%	8%	11%	11%	12%	15%	14%	15%	13%	15%	14%	11%	13%	8%	17%	16%
Silte	0,062 a 0,00394 mm	44%	41%	48%	30%	43%	26%	43%	35%	31%	39%	29%	45%	72%	35%	37%	58%	28%	23%	82%	31%	27%	48%	35%	32%	57%	29%	19%	48%	46%	53%
Argila	0,00394 a 0,0002 mm	12%	12%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%	0%	0%	11%	0%	1%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	5%	2%	0%	0%

Tipo de sedimento	Diâmetro	SD11			SD12			SD13			SD14			SD15			SD16			SD17			SD18			SD19			SD20		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Areia muito grossa	2 a 1 mm	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Areia grossa	1 a 0,5 mm	0%	0%	1%	1%	0%	0%	1%	1%	8%	1%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	0%
Areia média	0,5 a 0,25 mm	9%	7%	12%	17%	10%	7%	10%	17%	21%	12%	6%	2%	4%	5%	1%	5%	7%	2%	10%	9%	11%	2%	15%	7%	4%	9%	7%	17%	4%	0%
Areia fina	0,25 a 0,125mm	46%	33%	43%	44%	46%	56%	10%	40%	49%	36%	33%	42%	41%	43%	39%	6%	40%	45%	43%	45%	49%	31%	47%	47%	38%	40%	37%	39%	32%	37%
Areia muito fina	0,125 a 0,062 mm	15%	17%	16%	11%	11%	11%	4%	7%	8%	14%	15%	16%	15%	15%	17%	12%	17%	16%	15%	10%	14%	14%	14%	11%	16%	17%	14%	12%	13%	
Silte	0,062 a 0,00394 mm	30%	43%	29%	27%	33%	27%	60%	32%	14%	37%	38%	41%	40%	37%	39%	76%	38%	33%	40%	20%	28%	44%	37%	27%	39%	39%	40%	41%	33%	45%
Argila	0,00394 a 0,0002 mm	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%

Tipo de sedimento	Diâmetro	SD21			SD22			SD23			SD24			SD25			SD26			SD27			SD28			SD29			SD30		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Areia muito grossa	2 a 1 mm	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Areia grossa	1 a 0,5 mm	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	4%	1%	0%	0%	9%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Areia média	0,5 a 0,25 mm	0%	4%	0%	0%	13%	1%	4%	8%	13%	6%	8%	7%	14%	19%	14%	7%	7%	5%	8%	18%	15%	8%	4%	2%	6%	9%	6%	4%	9%	12%
Areia fina	0,25 a 0,125mm	0%	27%	2%	7%	50%	7%	39%	39%	58%	33%	37%	33%	28%	30%	39%	39%	40%	34%	44%	45%	54%	39%	48%	52%	39%	54%	32%	36%	39%	49%
Areia muito fina	0,125 a 0,062 mm	0%	10%	6%	9%	15%	7%	15%	15%	11%	16%	14%	16%	12%	12%	12%	15%	14%	14%	9%	10%	7%	14%	15%	16%	17%	9%	14%	15%	13%	11%
Silte	0,062 a 0,00394 mm	97%	52%	80%	74%	22%	74%	42%	38%	18%	45%	41%	44%	43%	35%	35%	39%	39%	31%	35%	26%	21%	39%	34%	30%	39%	28%	49%	45%	39%	29%
Argila	0,00394 a 0,0002 mm	3%	7%	12%	10%	0%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tipo de sedimento	Diâmetro	SD31			SD32			SD33			SD34			SD35			SD36			SD37			SD38			SD39			SD40		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Areia muito grossa	2 a 1 mm	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%
Areia grossa	1 a 0,5 mm	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	2%	0%
Areia média	0,5 a 0,25 mm	4%	8%	22%	9%	2%	8%	8%	2%	8%	7%	5%	17%	2%	3%	7%	8%	6%	6%	1%	16%	19%	7%	8%	8%	6%	10%	13%	6%	7%	18%
Areia fina	0,25 a 0,125mm	31%	41%	50%	35%	42%	43%	40%	43%	44%	45%	42%	57%	33%	47%	39%	38%	41%	66%	22%	53%	54%	45%	45%	39%	53%	47%	54%	28%	36%	60%
Areia muito fina	0,125 a 0,062 mm	14%	13%	9%	13%	13%	12%	13%	13%	13%	13%	12%	10%	13%	13%	14%	13%	14%	12%	10%	8%	11%	13%	14%	15%	11%	10%	11%	15%	16%	11%
Silte	0,062 a 0,00394 mm	51%	38%	16%	43%	44%	37%	38%	43%	35%	34%	41%	15%	53%	37%	40%	41%	25%	17%	57%	22%	14%	35%	34%	38%	30%	34%	22%	40%	42%	10%
Argila	0,00394 a 0,0002 mm	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	10%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tipo de sedimento	Diâmetro	SD41			SD42			SD43			SD44			SD45			SD46			Composição média
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Areia muito grossa	2 a 1 mm	1%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0.3%
Areia grossa	1 a 0,5 mm	10%	46%	0%	0%	10%	1%	0%	0%	1%	0%	0%	2%	0%	0%	9%	0%	0%	1%	1.4%
Areia média	0,5 a 0,25 mm	7%	13%	1%	5%	17%	11%	3%	3%	20%	4%	5%	19%	3%	5%	10%	9%	11%	18%	8.3%
Areia fina	0,25 a 0,125mm	10%	7%	3%	45%	45%	34%	42%	49%	48%	41%	41%	45%	37%	41%	36%	42%	45%	45%	38.1%
Areia muito fina	0,125 a 0,062 mm	11%	5%	4%	17%	11%	13%	15%	16%	12%	14%	15%	13%	16%	15%	13%	17%	15%	12%	12.5%
Silte	0,062 a 0,00394 mm	57%	19%	81%	34%	17%	41%	40%	33%	19%	41%	39%	22%	43%	39%	31%	32%	29%	24%	38.0%
Argila	0,00394 a 0,0002 mm	4%	2%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1.3%



### 5.3 Sobre as obras de dragagem de aprofundamento

O projeto do Porto Guará prevê o aprofundamento das bacias de manobra e atracação até a cota -14m DHN, em uma primeira fase, e até a cota -16m DHN, na segunda fase. Os volumes totais a serem dragados são estimados em 9.290.839m<sup>3</sup> na primeira fase e 12.937.878m<sup>3</sup> na segunda fase. A área da bacia portuária a ser dragada é indicada na Figura 5.2.

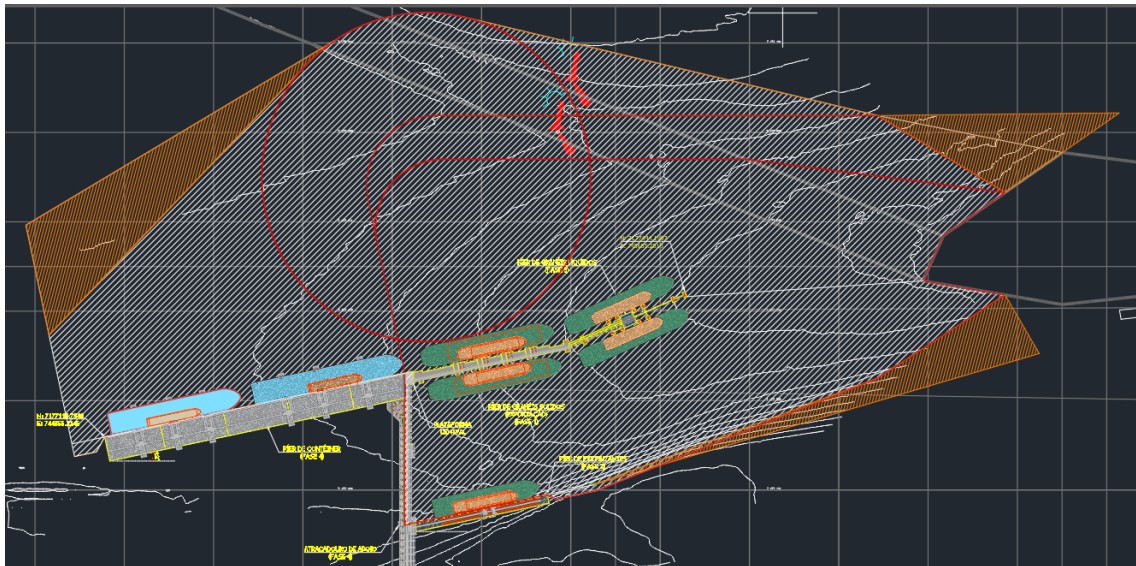


Figura 5.2 Bacias de manobra e atracação do Porto Guará. As áreas hachuradas em branco e laranja indicam os limites da área dragada. Informações obtidas do projeto conforme /1/.

Segundo previsto no projeto, a dragagem da bacia portuária será realizada por duas dragas autotransportadoras (*hopper*) com volumes de cisterna entre 10.000m<sup>3</sup> e 20.000m<sup>3</sup> e uma draga do tipo *backhoe* apoiada por batelões. Espera-se que as dragas autotransportadoras operem de forma contínua (24 horas por dia) durante todo o período de dragagem e que a draga *backhoe* opere de forma não contínua para a remoção de rochas ou em áreas onde o acesso da draga autotransportadora é restrito.

A forma como será realizado o *overflow* dos volumes dragados ainda é desconhecida e dependerá das dragas selecionadas para o serviço. Todavia, seguindo as orientações dos órgãos ambientais, espera-se que a duração do *overflow* seja limitada a 40 minutos por dia por draga.

Após o enchimento das cisternas e batelões, os sedimentos dragados serão transportados para posterior descarte na área ACE-20 distante 27,1 milhas náuticas do Porto, conforme indicado na Figura 5.3.

A produtividade esperada das dragas ainda é desconhecida, porém, segundo o empreendedor, a previsão é que as dragagens na área do Porto Guará durem cerca de 5 a 6 meses, com a possibilidade de se estender por 9 meses caso tenha que ser considerada uma janela ambiental a pedido do órgão ambiental.



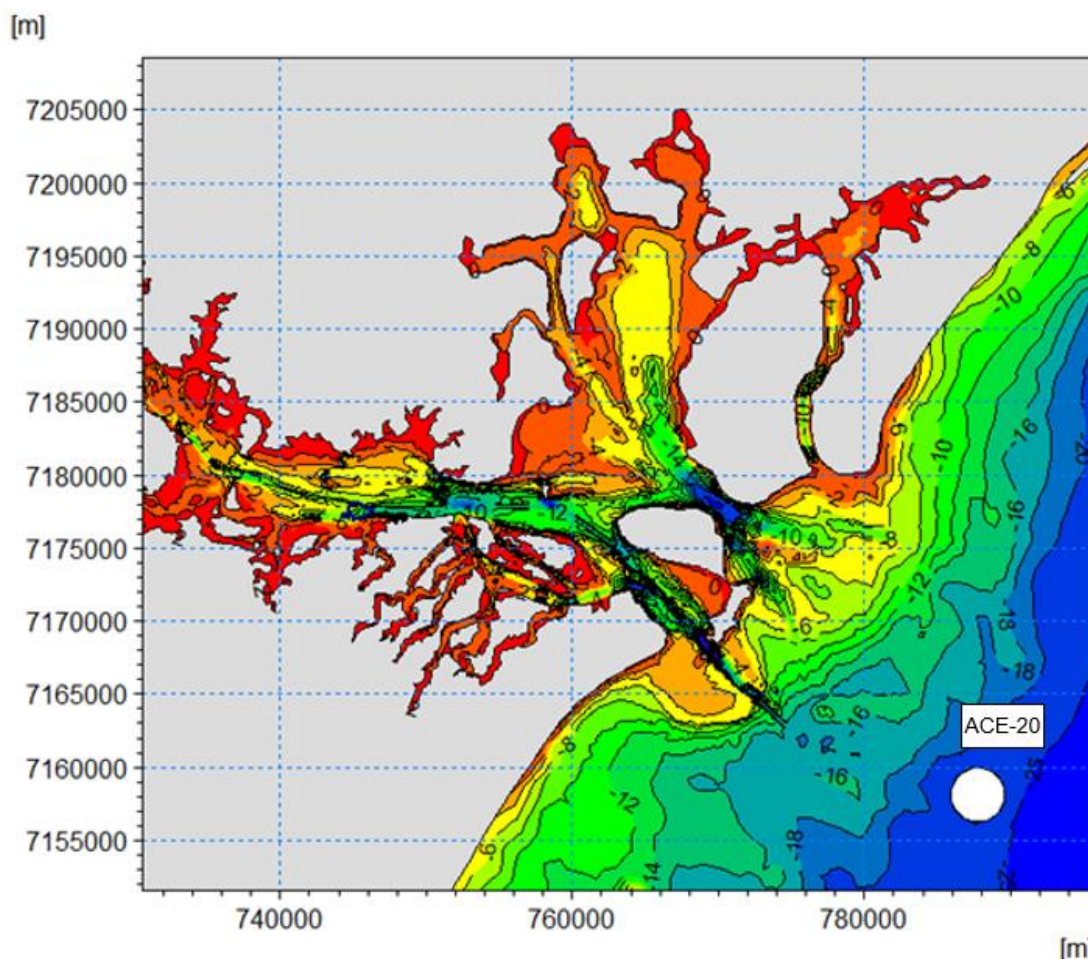


Figura 5.3 Localização da área de descarte ACE-20.

### 5.3.1 Estimativa do ciclo de dragagem

A análise da dispersão dos sedimentos durante as obras de dragagem de aprofundamento no Porto Guará requer conhecimento sobre o ciclo de operação de cada draga para que se possa inferir sobre a produtividade e os volumes efetivamente despejados pelas dragas durante a dragagem em si (*overflow*) e o descarte na área de despejo.

Conforme informado na seção anterior, espera-se que a draga *backhoe* opere eventualmente para a remoção de rochas ou em áreas onde o acesso da draga autotransportadora é restrito. Assim, os volumes dragados por esta draga devem ser significativamente inferiores aos volumes dragados pelas dragas autotransportadoras. Portanto, para fins de estimativa do ciclo de dragagem, assume-se que o volume total será dragado pelas dragas autotransportadoras.

Considerando a impossibilidade de prever as características das dragas que efetivamente realizarão o serviço de dragagem no Porto, muitas das informações necessárias para a estimativa do ciclo de dragagem foram assumidas com base em características médias / usuais dos equipamentos disponíveis. Da mesma forma, as características dos sedimentos dragados foram estimadas com base na composição média das amostras coletadas na área do Porto (ver Seção 5.2). As premissas assumidas para a estimativa do ciclo de dragagem das dragas são listadas na sequência:

- o volume da cisterna de cada draga autotransportadora será 20.000m<sup>3</sup>. Com esse volume obtém-se a produtividade necessária para a realização das obras no prazo estimado no projeto;



- a velocidade de navegação das dragas será de 12 nós para draga vazia e 8 nós para draga carregada. Esses valores respeitam os limites de velocidade de navegação estabelecidos pela Autoridade Portuária local, /13/, e estão na faixa de valores das velocidades de navegação de dragas desse porte, /14/;
- o tempo de enchimento da cisterna será de 1h e o de esvaziamento no bota-fora será de 0,25h. Esses tempos são aproximados com base na experiência e podem variar conforme as características das dragas selecionadas;
- assume-se que o fator de enchimento (ou carregamento) da cisterna será de 60%. O fator de enchimento varia de acordo com o tipo de material dragado, onde fatores mais baixos são usualmente observados para sedimentos mais finos (ex: lama fluida, argila, silte) e valores próximos de 100% podem ser alcançados para sedimentos grossos (ex: areia). O fator de 60% foi selecionado com base na composição granulométrica média das amostras de sedimentos coletadas na área do Porto, que indica predominância de areia fina e silte (ver Seção 5.2). Esse fator está conforme as orientações contidas no Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes do DNIT, /15/;
- o fator de empolamento foi assumido 1,20. O fator varia conforme as características do sedimento, distribuição granulométrica e tipo de dragagem e representa o aumento do volume dragado pela formação de vazios. Na prática, as características do solo devem se alterar durante o processo de dragagem, com a formação de vazios que são preenchidos por água, alterando a densidade do solo. Desta forma, o volume dragado deverá ocupar um volume maior na cisterna em comparação com o seu volume in situ. O fator de 1,20 é sugerido em /16/ para misturas compostas de argila, areia e cascalho;
- um fator de efetividade da viagem da draga foi considerado visando incluir eventuais paralisações devido a manutenção, tráfego de embarcações, etc. Uma efetividade de 70% foi assumida na presente análise.

A Tabela 5.2 resume as características assumidas como representativas do ciclo de operação de cada draga autotransportadora prevista para operar no Porto.





Tabela 5.2 Características assumidas para representar o ciclo de operação das dragas.

Informação	Valor
Volume da cisterna da draga [m³]	20.000
Fator de enchimento da draga [-]	0,6
Coeficiente de empolamento [-]	0,2
Volume real estimado transportado [m³]	9.600
Velocidade da draga vazia [nós]	12
Velocidade da draga carregada [nós]	8
Tempo de enchimento da draga [h]	1
Tempo de descarte no bota-fora [h]	0,25
Distância até o bota-fora [mn]	27,1
Tempo deslocamento até o descarte - carregado [h]	3,39
Tempo deslocamento até o porto - vazio [h]	2,26
Tempo deslocamento ida-e-volta [h]	5,65
Efetividade da viagem [-]	0,7
Tempo total do ciclo por draga [h]	7,43
Horas trabalhadas por dia [h]	24
Horas trabalhadas no mês [h]	720
Números de ciclos por dia por draga [-]	3,23
Números de ciclos por mês por draga [-]	96,9
Produtividade mensal estimada por draga [m³/mês]	930.083
Produtividade horária estimada por draga [m³/h]	1.292

Considerando a produtividade calculada de 1.292 m³/h por draga, o prazo estimado para conclusão da dragagem da primeira fase (cujo volume total é 9.290.839 m³) é de 5 meses, que é da mesma ordem do prazo previsto no projeto.

### 5.3.2 Estimativa da carga sólida de *overflow*

Por meio de sucção, o sedimento dragado será bombeado juntamente com água para a cisterna da draga até a ocupação total do volume da cisterna. Ao chegar na cisterna, a fração mais grosseira do material dragado será depositada no fundo da cisterna, enquanto o material mais fino terá deposição mais lenta e permanecerá por mais tempo em suspensão. Após o enchimento, a mistura de água e sedimento fino em suspensão extravasará (*overflow*) a uma determinada taxa, enquanto o material mais grosseiro continuará se depositando no fundo da cisterna.

Na seção anterior demonstrou-se que o volume total de sedimento que efetivamente preencherá a cisterna da draga durante um ciclo de operação será de 9.600 m³. Considerando o tempo de 1h previsto para o enchimento da cisterna, a vazão de sucção de material sólido estimada será de 2,7 m³/s.

Assumindo que:



- o *overflow* “Q<sub>o</sub>” da draga ocorrerá na mesma taxa de sucção do material dragado, ou seja, 2,7 m<sup>3</sup>/s;
- as frações arenosas depositar-se-ão no fundo da cisterna e somente as frações de silte e argila permanecerão em suspensão durante o período de enchimento;
- as frações “F” de silte e argila representam 39,3% da massa total de sedimentos dragados (ver Seção 5.2);
- o percentual estimado “T” de silte e argila que extravasará é de 20%; e
- a massa específica “ρ” dos grãos de sedimentos é 2.650 kg/m<sup>3</sup>;

A carga sólida do *overflow* da draga pode ser estimada como:

$$Carga_{overflow} = Q_o \times F \times T \times \rho$$
$$Carga_{overflow} = 2,7 \times 39,3\% \times 20\% \times 2.650 = 562 \text{ kg/s}$$

Considerando que os períodos de *overflow* das dragas deverão respeitar o limite diário de 40 minutos por draga e que o número de ciclos diários por draga é de 3,23 (ver Tabela 5.2), estima-se que o *overflow* de cada draga terá duração de 12,4 minutos por ciclo.

### 5.3.3 Estimativa da carga sólida no descarte

Considerando que o volume real estimado de sedimentos na cisterna “Vol” é 9.600 m<sup>3</sup> e que a duração “t” do descarte na área ACE-20 é estimada em 15 minutos, a carga sólida no descarte pode ser estimada como:

$$Carga_{descarte} = \frac{V \times \rho}{t \times 60}$$
$$Carga_{descarte} = \frac{9.600 \times 2.650}{15 \times 60} = 28.367 \text{ kg/s}$$

## 5.4 Abordagem

Os sedimentos dispersos resultantes das operações de dragagem na área do Porto serão transportados pela ação combinada de correntes e ondas. Enquanto suspensos na coluna de água, os sedimentos serão transportados pelas correntes no ambiente, que são governadas principalmente pela maré. Uma vez depositadas no leito, poderão sofrer ressuspensão caso as tensões de cisalhamento no fundo geradas pela ação combinada de correntes e ondas for superior as tensões críticas de erosão.

Para resolver os processos físicos descritos acima e analisar o comportamento do sedimento dragado disperso na área de estudo, optou-se pela aplicação de modelagem computacional. Os modelos hidrodinâmico e de transformação de ondas descritos nos Apêndices B e C deste relatório foram utilizados para representar os padrões de correntes e ondas no interior do Complexo Estuarino e na área costeira adjacente em resposta à ação das marés, ventos e aportes dos principais rios afluentes. Posteriormente, esses modelos foram utilizados como base para o modelo de transporte de sedimentos estabelecido para representar os principais processos relacionados ao transporte dos sedimentos dragados. O modelo de transporte teve como foco a representação do comportamento da pluma em resposta à ação das correntes e ondas no ambiente, na fase denominada de campo afastado. O estabelecimento do modelo de transporte de sedimentos é descrito no Apêndice D deste relatório.



Uma abordagem bidimensional (2D) foi adotada no presente estudo. A opção por modelos 2D integrados ao longo da profundidade é justificada pela possibilidade de se obter uma melhor resolução horizontal com baixo custo computacional em comparação com um modelo 3D. No presente caso, os processos físicos dominantes estão relacionados à advecção causada pelos fluxos de maré e ventos ao longo da costa, que são fenômenos bem resolvidos através da abordagem 2D aplicada. Como consequência da abordagem selecionada, os resultados em termos de concentrações de sedimentos em suspensão são apresentados na forma de valores médios na coluna de água, considerados suficientes para uma aproximação do comportamento esperado da pluma de sedimentos dragados.

As informações que caracterizam as operações de dragagem, tais como as características das dragas, ciclos de operação, taxas de descarte e as características dos sedimentos dragados descritos nas seções anteriores, foram inseridos no modelo para uma representação realista das operações e do comportamento das plumas de sedimentos geradas na área do Porto em função do *overflow* das dragas e na área ACE-20 decorrentes dos despejos.

Como os meses do ano em que serão realizadas as obras de dragagem ainda são desconhecidos, a análise foi realizada para condições meteo-oceanográficas representativas das condições de verão e inverno buscando compreender como as sazonalidades podem afetar o comportamento do sedimento disperso no ambiente. Cada condição foi simulada pelo período de 30 dias, considerados suficientes para cobrir a escala temporal dos processos meteo-oceanográficos que governam a hidrodinâmica e transporte na área de estudo. Os seguintes períodos foram selecionados:

- Inverno: 01/07/2019 a 01/08/2019;
- Verão: 31/01/2020 a 01/03/2020.

As operações de cada draga foram representadas no modelo como fontes de sedimentos. Para as fontes representativas das operações de dragagem na bacia portuária foram atribuídas a carga sólida de *overflow* estimada na Seção 5.3.2, enquanto para as fontes representativas das operações de descarte na ACE-20 foram atribuídas a carga sólida estimada na Seção 5.3.3. A ativação / desativação dessas fontes respeitou o ciclo de operação descrito na Seção 5.3.1, assumindo uma defasagem de 3h entre as operações de cada draga.

Visando representar os deslocamentos das dragas durante as operações de dragagem e descarte, as posições das fontes permaneceram fixas até a metade do período da simulação (15 dias), quando foram deslocadas para outra posição onde permaneceram até o fim da simulação (30 dias). A Figura 5.4 mostra as posições das fontes / dragas 1 e 2 na primeira metade da simulação (posição A) e na segunda metade da simulação (posição B) na área do Porto e na área de descarte.

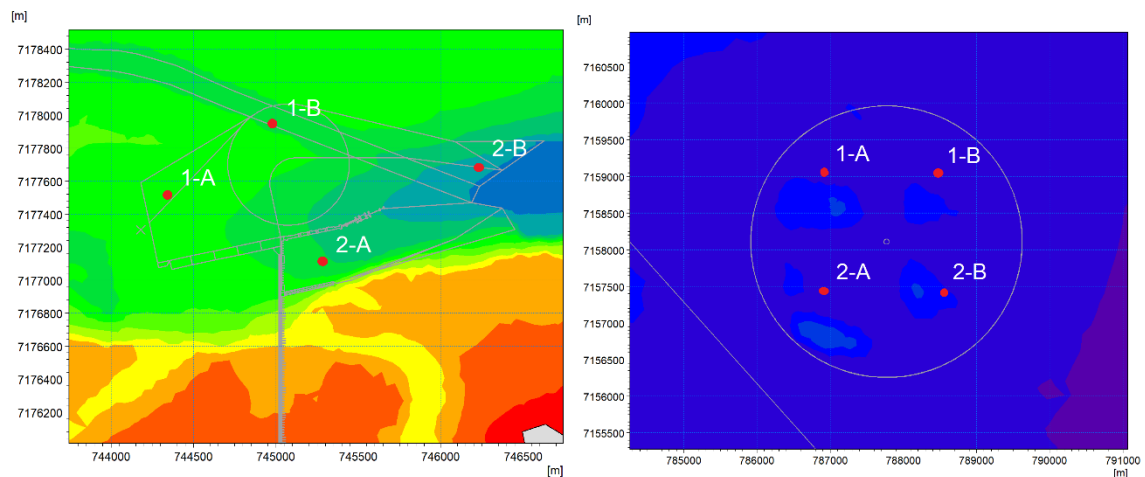


Figura 5.4 Posições das fontes /dragas durante os períodos simulados na área do Porto (esquerda) e na área de descarte (direita).

## 5.5 Análise da dispersão dos sedimentos

O modelo forneceu estimativas das concentrações de sedimentos em suspensão e das espessuras dos depósitos na área do Porto e na área de descarte. Seus resultados foram pós-processados para determinação das máximas concentrações e espessura dos depósitos e da envoltória das áreas com potencial de serem alcançadas pela pluma do sedimento dragado. Os resultados são analisados nesta seção e apresentados separadamente para as áreas do Porto e de descarte.

### 5.5.1 Área do Porto

#### 5.5.1.1 Concentração de sedimentos em suspensão

Os sedimentos colocados em suspensão na área do Porto Guará são gerados principalmente pelo *overflow* das duas dragas autotransportadoras que realizarão a dragagem da bacia portuária.

Durante o período de *overflow*, uma mistura de água e sedimento fino extravasará da cisterna e será lançada no entorno da draga. O extravasamento ocorrerá por cerca de 12,4 minutos e se repetirá pouco mais de 3 vezes por dia, respeitando o limite diário de 40 minutos de *overflow* por draga. O sedimento extravasado será então transportado pelas correntes enquanto sedimenta na coluna de água. Considerando a velocidade de queda dos grãos, esses sedimentos podem levar de horas (silte) a dias (argila) para se depositarem na área do Porto e cercanias. A deposição do sedimento no leito deverá ocorrer em condições de correntes fracas, devendo ser posteriormente erodido durante a intensificação das correntes.

Os resultados das simulações mostram que a trajetória da pluma de sedimentos na área do Porto é fortemente influenciada pelas correntes de maré. Durante os períodos de enchente a pluma tende a se deslocar para as áreas internas do Complexo Estuarino e o oposto ocorre durante os períodos de vazante. Sua trajetória é aproximadamente paralela à linha da costa acompanhando o sentido preferencial das correntes. Quanto mais intensas as correntes, maiores são os deslocamentos da pluma e mais rapidamente ocorrerá a diluição. Em períodos de inversão e calmaria as correntes são menos intensas no canal e a pluma de sedimentos tende a se concentrar no entorno do local de dragagem. O acúmulo de sedimentos nessa área resulta em menor espalhamento da pluma e maiores concentrações de sedimentos em suspensão.



Os mapas da Figura 5.5 e da Figura 5.6 ilustram instantâneos da pluma de sedimentos em condições típicas de maré enchente e vazante, respectivamente. Considerando o valor de  $0,1 \text{ kg/m}^3$  ( $100 \text{ mg/l}$ ) como limite de detecção da pluma (associado aos valores médios de concentração observados na região), percebe-se que nessas condições de correntes a pluma pode se deslocar cerca de 5km de distância em relação à draga e suas concentrações são reduzidas a valores inferiores ao limite em menos de 2 horas após o início do *overflow*.

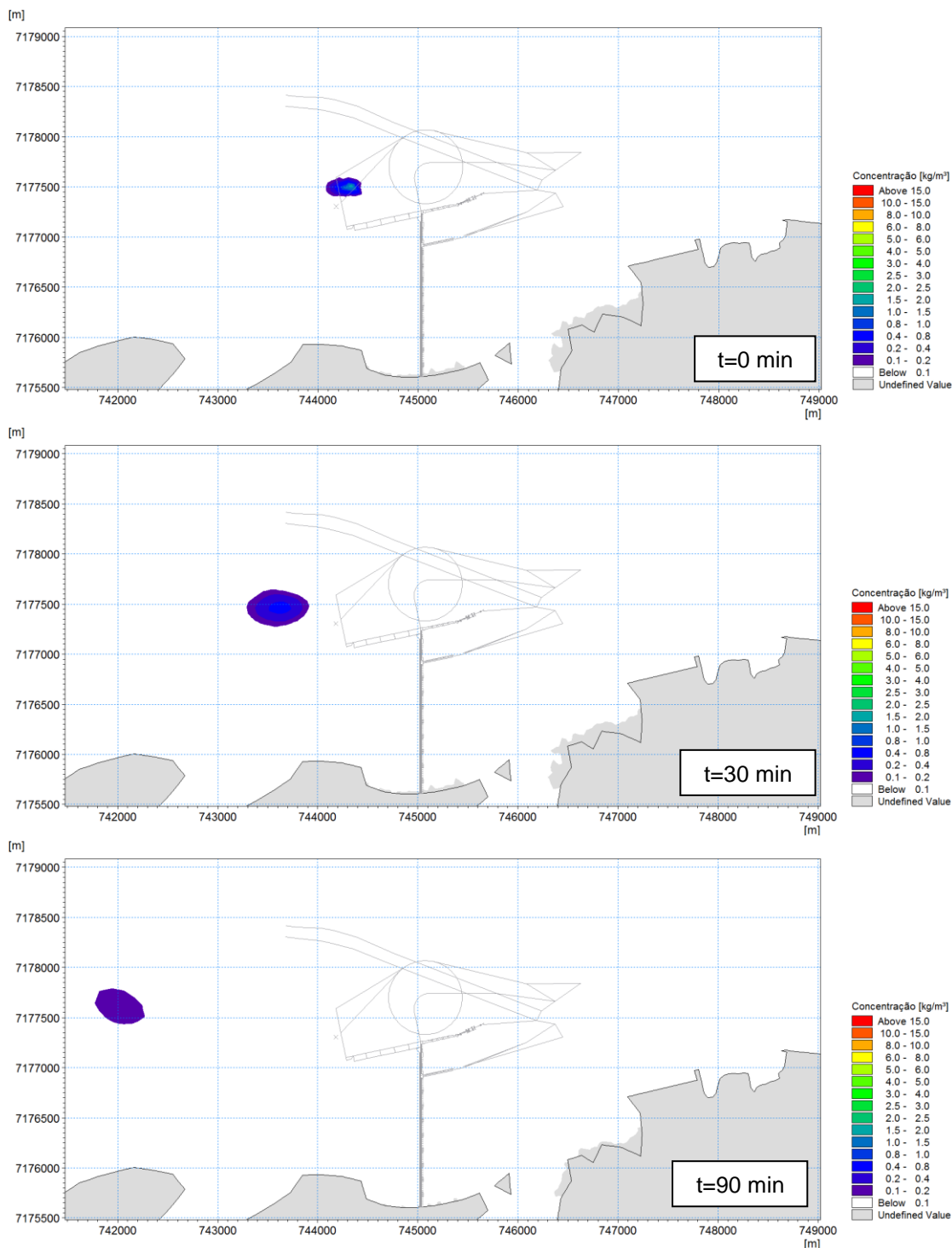


Figura 5.5 Trajetória da pluma de sedimentos durante o *overflow* da draga (acima) e 30 minutos (centro) e 90 minutos (abaixo) após o *overflow* em condição de maré enchente. A escala de cores indica as concentrações de sedimentos em suspensão médias na coluna de água.

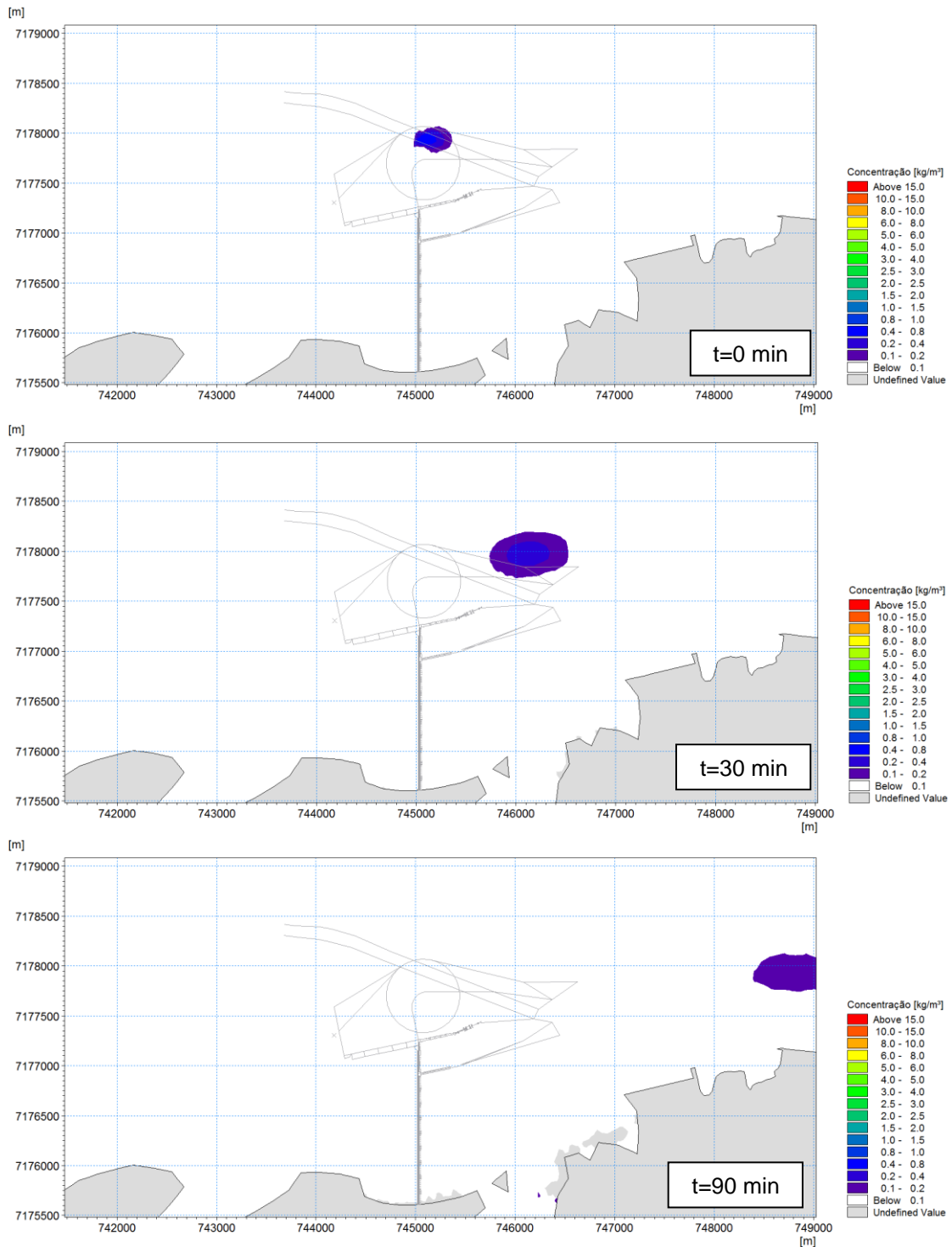


Figura 5.6 Trajetória da pluma de sedimentos durante o overflow da draga (acima) e 30 minutos (centro) e 90 minutos (abaixo) após o overflow em condição de maré vazante. A escala de cores indica as concentrações de sedimentos em suspensão médias na coluna de água.

Os instantâneos da Figura 5.5 e Figura 5.6 não permitem visualizar todas as áreas possivelmente alcançadas pela pluma de sedimentos. Para que isso fosse possível, os resultados das simulações de inverno e verão foram analisados estatisticamente para determinação das máximas concentrações de sedimentos em suspensão geradas pela passagem da pluma nas diferentes áreas do Complexo Estuarino ao longo do período de





simulação. Os mapas da Figura 5.7 mostram as máximas concentrações de sedimentos em suspensão na coluna de água para as duas condições meteo-oceanográficas.

Como se pode observar na Figura 5.7 as máximas concentrações e o padrão de espalhamento da pluma são semelhantes entre as condições de verão e inverno. Isso pode ser explicado pelo fato de as correntes na área do porto serem governadas principalmente pela maré astronômica, cujo comportamento não é alterado pelas sazonalidades. A influência das sazonalidades, presente através dos ventos, aportes fluviais e marés meteorológicas podem explicar a ligeira diferença observada na extensão das áreas potencialmente alcançadas pela pluma entre uma condição e outra. As máximas concentrações são observadas no entorno dos pontos de dragagem e alcançam  $20 \text{ kg/m}^3$  ( $20.000 \text{ mg/l}$ ). Tais concentrações, no entanto, limitam-se a algumas dezenas de metros do local da dragagem e rapidamente são reduzidas a níveis de concentração naturalmente encontrados na região (*background*). Considerando o valor de  $0,1 \text{ kg/m}^3$  ( $100 \text{ mg/l}$ ) como limite de detecção da pluma, os máximos deslocamentos das plumas de sedimentos são da ordem de 7km em períodos de enchente e 11km em períodos de vazante.

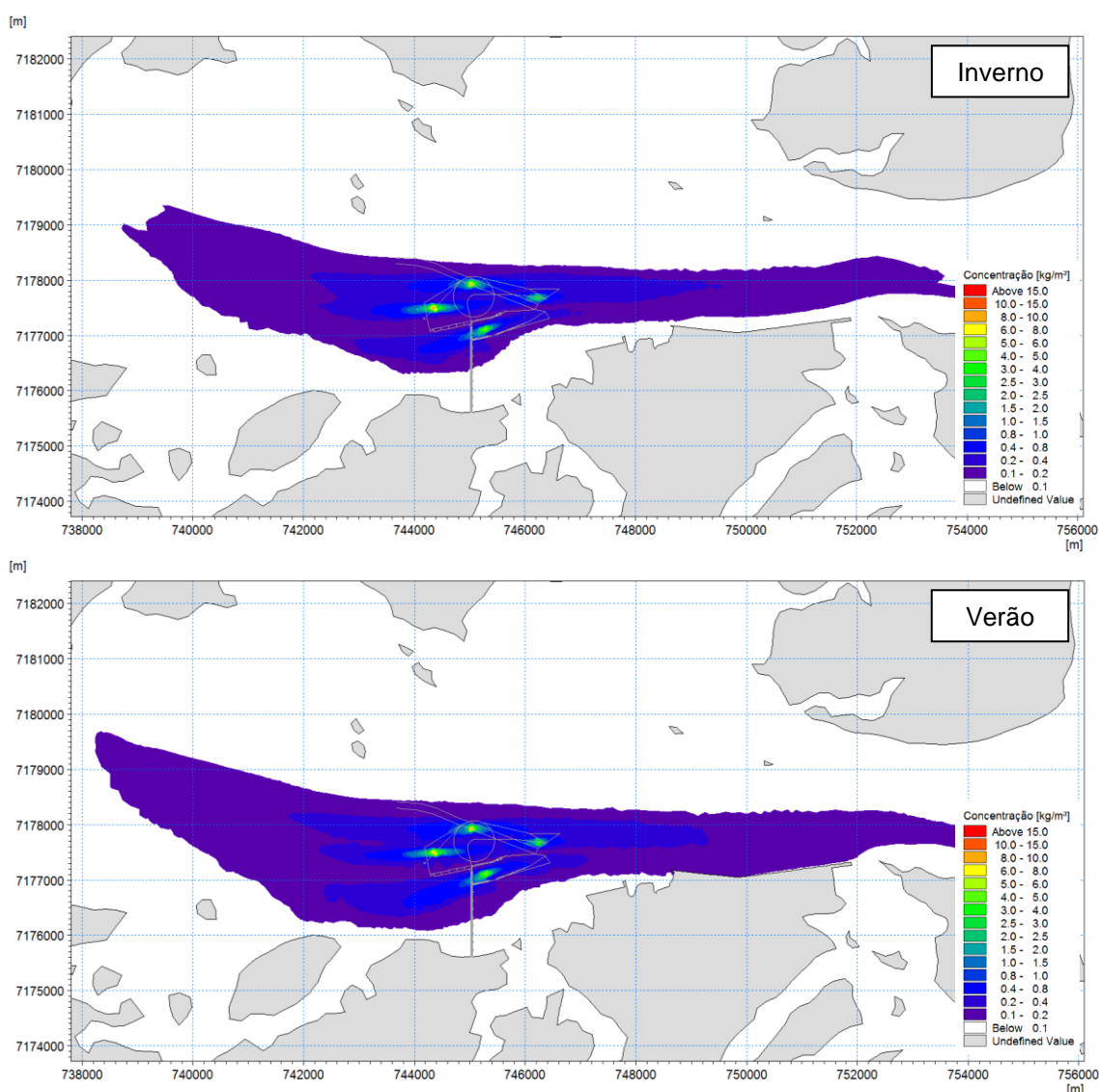


Figura 5.7 Máximas concentrações de sedimento em suspensão médias na coluna de água calculadas durante o período de simulação de inverno (acima) e verão (abaixo) na área do Porto.



#### 5.5.1.2 Espessura dos depósitos

Quando descartados no mar os sedimentos finos oriundos do *overflow* da draga sedimentarão na coluna de água respeitando a velocidade de queda dos grãos. A fração siltosa, que representa mais de 90% do volume de sedimento fino extravasado, deverá se depositar mais rapidamente (minutos a horas, a depender das profundidades), enquanto a fração argilosa deverá permanecer em suspensão por dias. Ao alcançarem o leito, os grãos poderão sofrer deposição caso as condições hidrodinâmicas sejam favoráveis. Esses grãos poderão ser ressuspensos posteriormente caso as correntes de fundo sejam suficientemente fortes para proporcionar erosão. As ondas, conforme mencionado anteriormente, não deverão exercer influência sobre o sedimento de fundo na área do Porto.

Os mapas da Figura 5.11 ilustram as espessuras dos depósitos de sedimentos no leito na área do Porto após 30 dias para as condições de inverno e verão. Como se observa, as máximas espessuras dos depósitos serão da ordem de 15 cm e serão restritas à região do Porto.

Na prática, a taxa de acúmulo de sedimentos sobre o leito na área da bacia portuária dependerá do estágio das obras de dragagem. No início, as condições atuais do leito deverão favorecer a ressuspensão do sedimento depositado, reduzindo as taxas de sedimentação. Com o aprofundamento da bacia portuária, a capacidade das correntes em evitar a deposição e/ou ressuspender o sedimento depositado será reduzida, com consequente aumento da taxa de sedimentação. Outro fator que poderá afetar a deposição dos sedimentos é a metodologia de *overflow* aplicada. Caso o sedimento seja despejado na superfície, maior será o tempo para a sua sedimentação. Caso o *overflow* ocorra em uma posição intermediária na coluna de água, o tempo de sedimentação será menor e o sedimento deverá alcançar o fundo mais rapidamente.

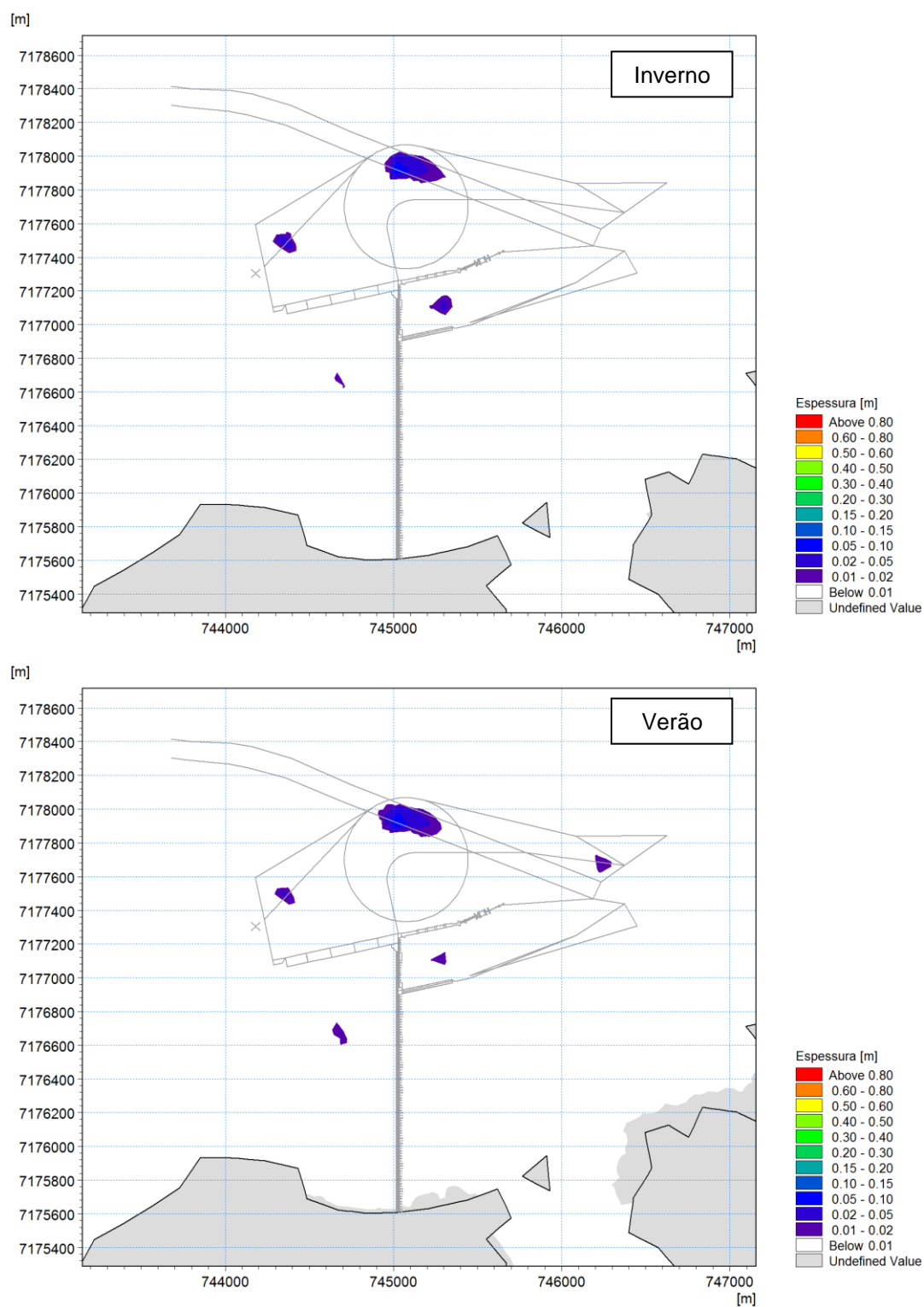


Figura 5.8 Espessura dos depósitos na área do Porto ao final de 30 dias de operação de dragagem nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo).



## 5.5.2 Área de descarte

### 5.5.2.1 Concentração de sedimentos em suspensão

Ao despejar o volume total da cisterna na área de descarte ACE-20, as frações mais grosseiras de sedimentos deverão se depositar rapidamente no leito e as frações finas serão transportadas em suspensão na coluna de água até encontrarem condições favoráveis para a sua deposição.

Dado o grande volume de sedimentos descartados, são esperadas elevadas concentrações de sedimentos em suspensão, que devem permanecer na coluna de água por tempo suficiente para que ocorra a interação com os sedimentos descartados nos ciclos subsequentes de dragagem. Isso pode ser observado nos instantâneos da pluma de sedimentos ilustrados na Figura 5.9. Na área em que está localizada a ACE-20 as correntes são menos intensas do que no interior do Complexo Estuarino, resultando em deslocamentos lentos da pluma em resposta à ação das marés e correntes costeiras.

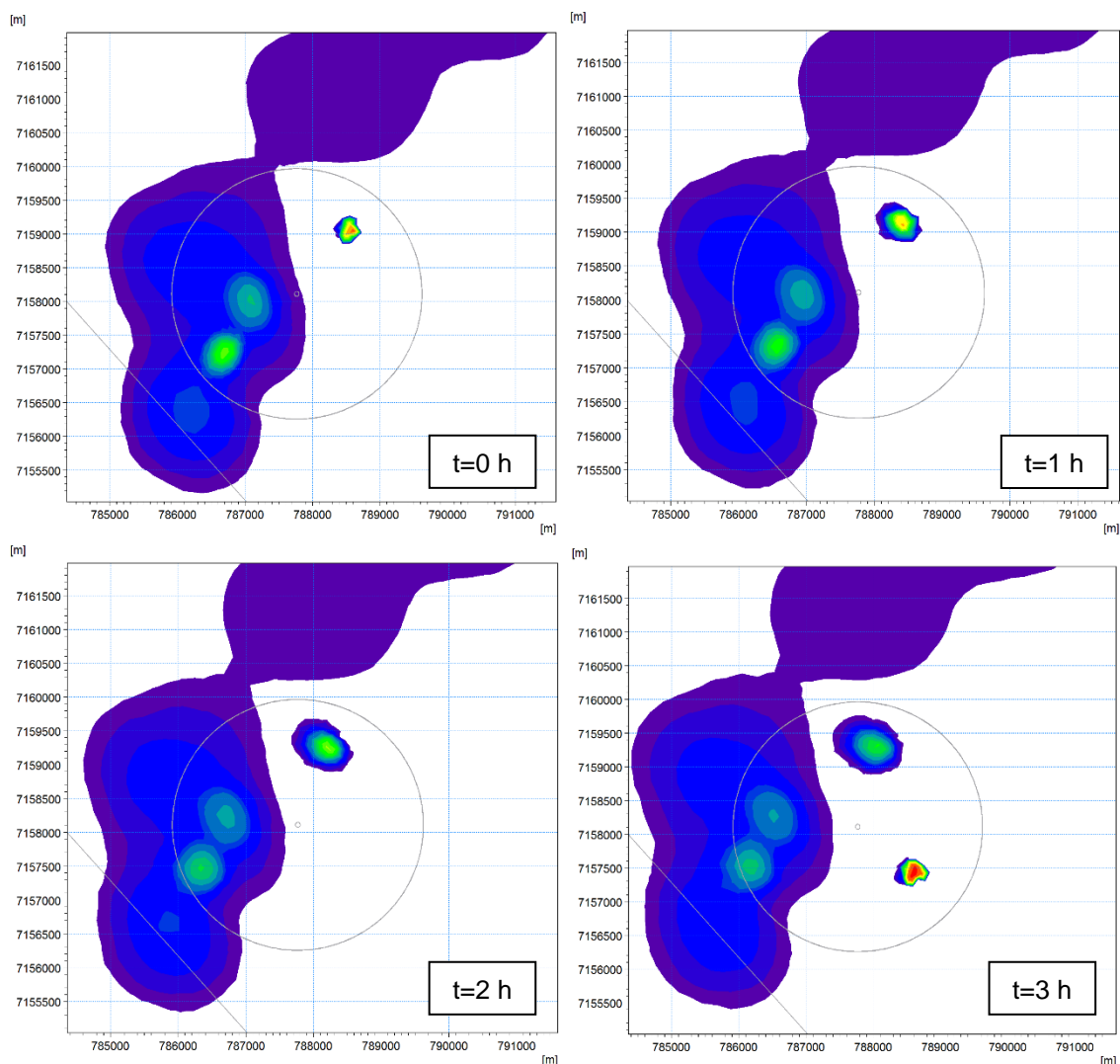


Figura 5.9 Exemplo de trajetória da pluma de sedimentos após descarte na porção NE da área ACE-20. Um novo descarte ocorre na porção SE cerca de 3 horas após o primeiro descarte. A escala de cores indica as concentrações de sedimentos em suspensão médias na coluna de água.



Como os instantâneos da Figura 5.9 não permitem visualizar todas as áreas possivelmente alcançadas pela pluma de sedimentos, os resultados das simulações de inverno e verão foram analisados estatisticamente para determinação das máximas concentrações de sedimentos em suspensão geradas pela passagem da pluma na área de estudo. Os mapas da Figura 5.10 mostram as máximas concentrações de sedimentos em suspensão na coluna de água para as duas condições meteo-oceanográficas.

Como se observa, o espalhamento das plumas ocorre de forma diferenciadas nas duas condições meteo-oceanográficas. No inverno, há a tendência de deslocamento das plumas para NE possivelmente influenciada pelos ventos de Sul associados às frentes frias mais frequentes nesse período do ano. Por outro lado, no verão há o deslocamento preferencial das plumas para SW, impulsionadas pelos ventos de NE mais frequentes nessa época do ano.

As máximas concentrações são observadas no entorno dos pontos de descarte e alcançam  $60 \text{ kg/m}^3$  ( $60.000 \text{ mg/l}$ ). Tais concentrações, no entanto, limitam-se a algumas centenas de metros do local de descarte. Considerando o valor de  $0,1 \text{ kg/m}^3$  ( $100 \text{ mg/l}$ ) como limite de detecção da pluma, os máximos deslocamentos das plumas de sedimentos são da ordem de 55km para NE na condição de inverno e 30km para SW na condição de verão.

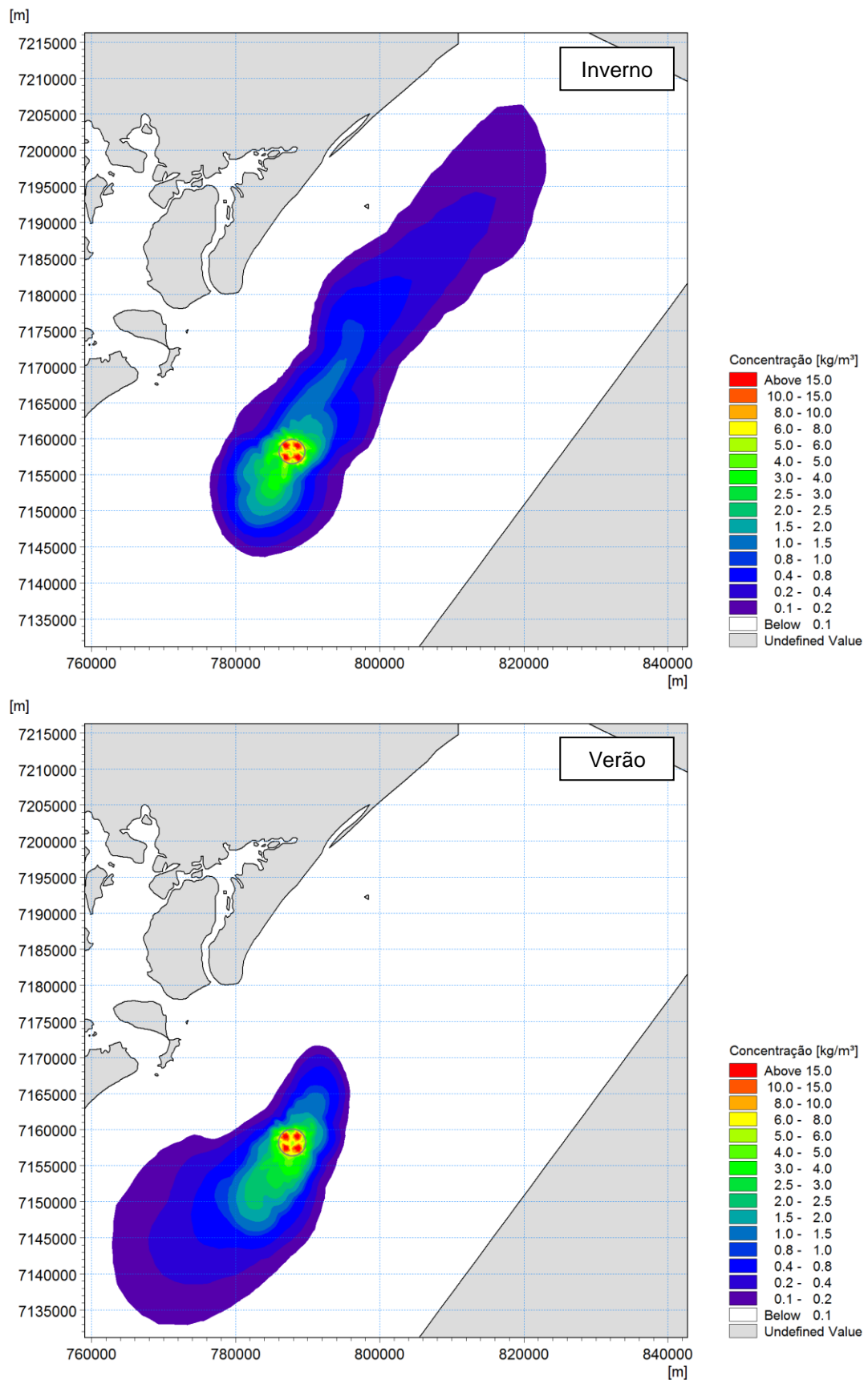


Figura 5.10 Máximas concentrações de sedimento em suspensão médias na coluna de água calculadas durante o período de simulação de inverno (acima) e verão (abaixo) na área de descarte.





### 5.5.2.2 Espessura dos depósitos

Os mapas da Figura 5.11 e Figura 5.12 ilustram as espessuras dos depósitos de sedimentos no leito da área ACE-20 ao final de 30 dias de dragagens para as condições de inverno e verão. Os resultados mostram que os maiores depósitos ocorrem principalmente dentro dos limites da ACE-20 nas duas condições, sendo as máximas espessuras, da ordem de 1m, observadas no inverno. As diferenças observadas na configuração dos depósitos podem ser explicadas pelas diferenças nas condições hidrodinâmicas entre os períodos analisados, que são influenciadas também pelos fenômenos meteorológicos (ventos).

As espessuras dos depósitos apresentadas nos mapas da Figura 5.11 podem ser interpretados como taxas de sedimentação mensal para cada condição meteo-oceanográfica simulada e podem ser utilizadas como referência para estimar a sedimentação total que deverá ocorrer ao longo de todo o período de dragagem (estimado em 5 meses para a fase 1). Para isso, deve-se levar em conta que à medida que se elevam os depósitos no fundo aumenta-se a capacidade das correntes em ondas em mobilizar o sedimento depositado e, conseqüentemente, reduz-se a taxa de sedimentação nessas áreas.

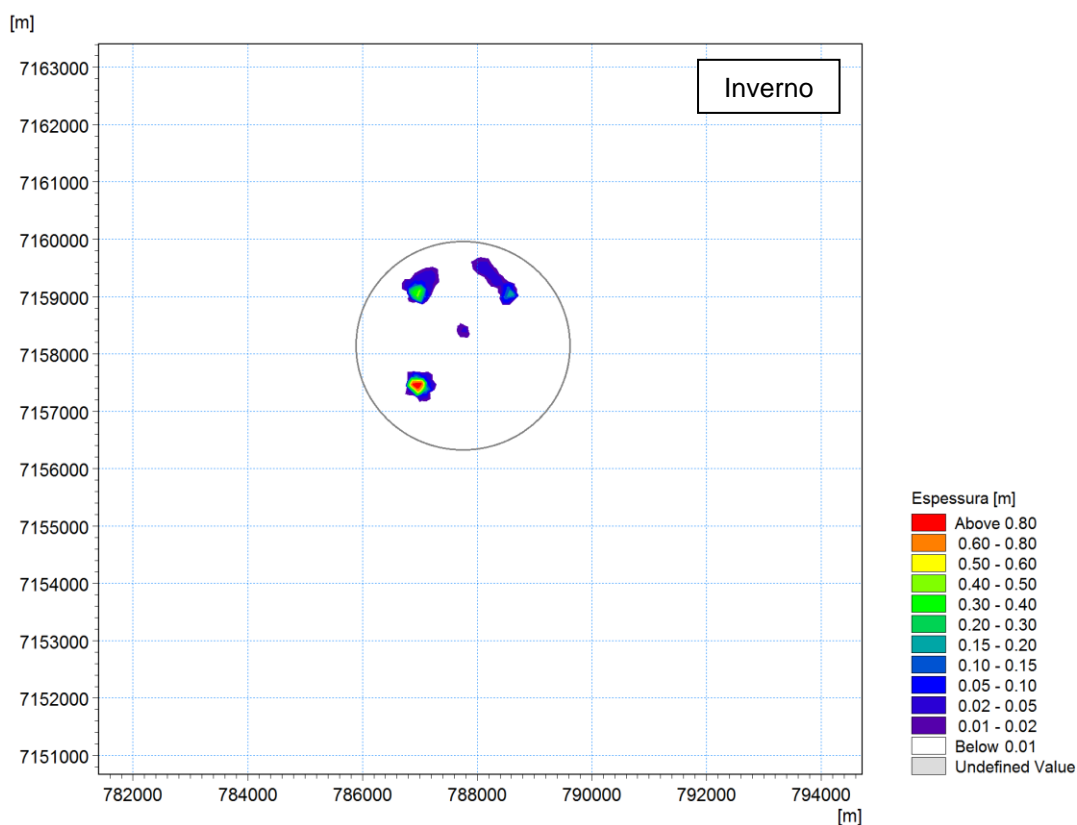


Figura 5.11 Espessura dos depósitos na área de descarte ao final de 30 dias de operação de dragagem na condição de inverno.

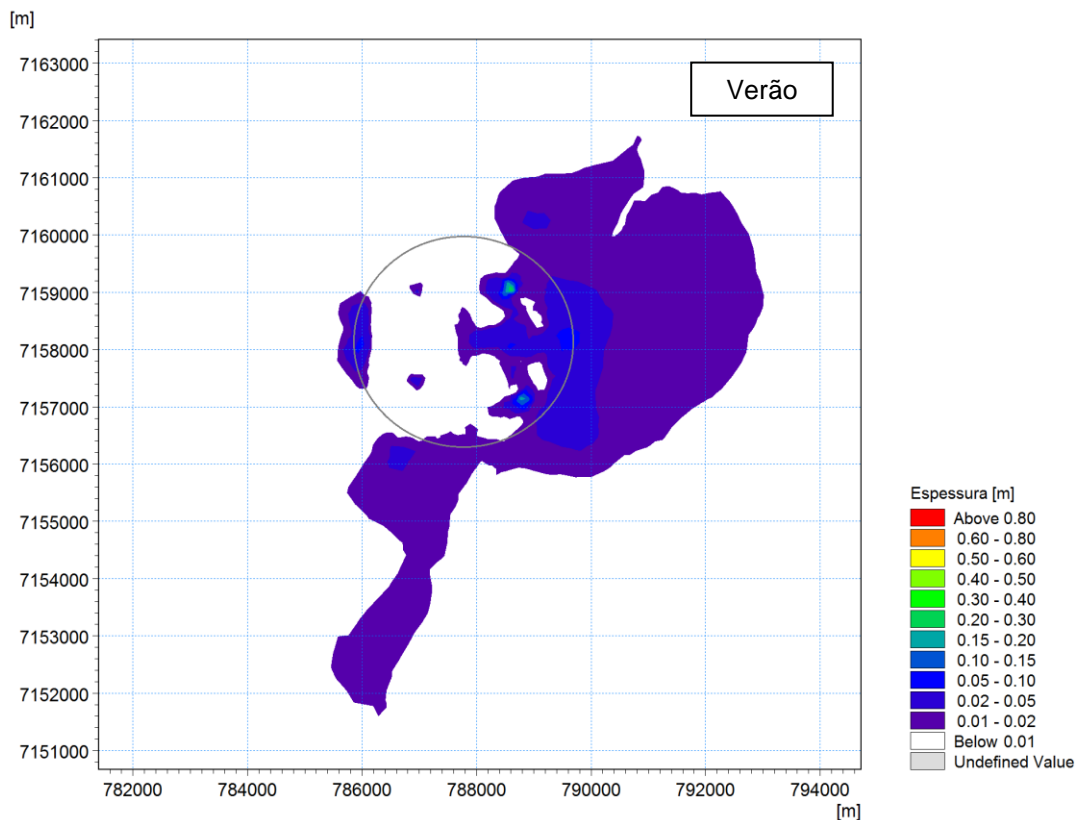


Figura 5.12 Espessura dos depósitos na área de descarte ao final de 30 dias de operação de dragagem na condição de verão.

### 5.5.3 Diferenças esperadas entre as fases do projeto

Considerando que para as operações de dragagem na fase 2 do projeto serão assumidas as mesmas premissas adotadas para a fase 1 (ver Seção 5.3), os resultados das simulações apresentadas nesta seção podem ser considerados uma boa aproximação do comportamento do sedimento dragado na segunda fase do projeto. No entanto, algumas pequenas diferenças poderão ser percebidas, em particular na área do Porto:

- o aprofundamento da bacia portuária de -14m DHN para -16m DHN deverá reduzir ligeiramente as velocidades das correntes na região (ver discussão na Seção 6.3). Com isto, a pluma de sedimentos gerada pelo overflow das dragas deverá se deslocar mais lentamente. É importante destacar que as reduções nas velocidades são muito pequenas e que, portanto, os impactos sobre a trajetória das plumas também deverão ser muito pequenos;
- com o aprofundamento da bacia a capacidade das correntes em ressuspender o sedimento depositado no fundo da bacia será reduzida. Com isto, poderá haver ligeiro aumento dos depósitos no interior das áreas dragadas em relação ao observado neste trabalho.



## 6 Análise dos impactos sobre a hidrodinâmica

### 6.1 Entendimento do problema

Ao término das obras de dragagem para a implantação do Porto as profundidades na área da bacia portuária serão maiores do que as profundidades atuais. Nas partes mais rasas da bacia as cotas de fundo passarão de cerca de -7m DHN para -14m DHN na fase 1 e -16m DHN na fase 2 de implantação do Porto, o que representa aprofundamentos máximos da ordem de 9 m na fase 2.

Deixando de lado outros processos complexos envolvidos, a influência do aprofundamento da bacia portuária sobre a hidrodinâmica pode ser explicada segundo uma abordagem conceitual simplificada da seguinte forma: se imaginarmos que o escoamento na área do porto é limitado verticalmente pela superfície da água e pelo leito, o aprofundamento da bacia portuária deverá aumentar localmente a área hidráulica da seção, promovendo desaceleração do fluxo e, consequentemente, reduzindo as velocidades das correntes nas áreas aprofundadas. Ao atravessar a bacia e encontrar a configuração natural do leito, o fluxo sofrerá contração e algum aumento de velocidade poderá ser observado. A Figura 6.1 ilustra de forma simplificada esse processo.

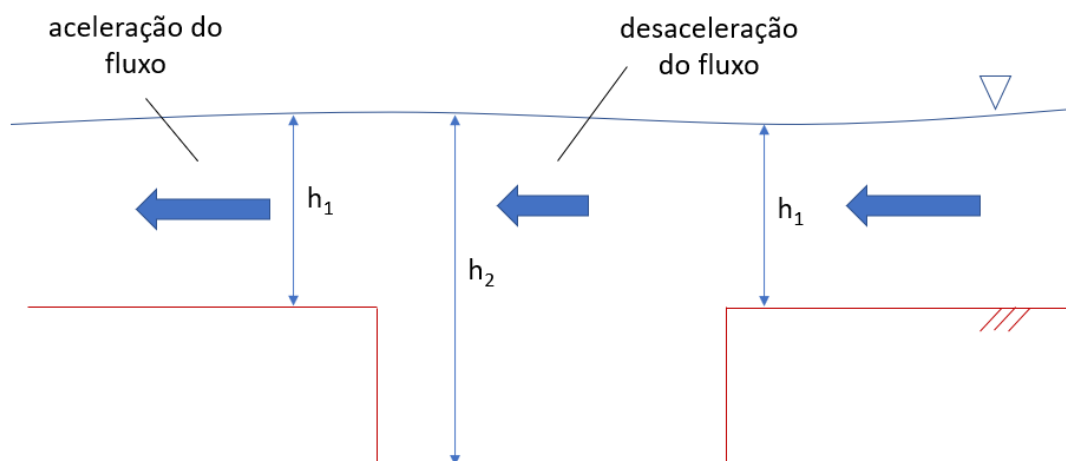


Figura 6.1 Desenho esquemático ilustrativo do perfil longitudinal da coluna de água na área aprofundada de um porto. O fluxo sofre desaceleração quando passa da profundidade  $h_1$  (menor) para a profundidade  $h_2$  (maior) e aceleração quando encontra novamente a profundidade  $h_1$ .

As ondas também deverão ser afetadas localmente pelas maiores profundidades na bacia portuária. As ondas incidentes poderão ser parcialmente refletidas e sofrer refração ao passarem pela bacia portuária, efeito este que será mais evidente quanto maior o período das ondulações na área do porto.

Os processos acima também deverão ser sentidos nas áreas do sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina após os aprofundamentos previstos nessas áreas na segunda fase de implantação do Porto.

As correntes e ondas também deverão ser afetadas localmente pelos pilares e demais estruturas molhadas do Porto. A presença dessas estruturas deverá promover a resistência ao escoamento e, consequentemente, reduzir localmente as velocidades das correntes e alturas de ondas.



## 6.2 Abordagem

Os potenciais impactos da implantação do Porto Guará sobre as condições hidrodinâmicas do Complexo Estuarino podem ser previstos através da aplicação de modelagem computacional. Através de modelos capazes de representar os processos físicos hidrodinâmicos na área de interesse é possível simular cenários futuros e compará-los à condição atual para estimar de forma quantitativa esses impactos.

No presente trabalho os impactos da implantação do Porto foram avaliados através da aplicação dos modelos hidrodinâmico e de transformação de ondas descritos nos Apêndices B e C deste relatório. Os modelos foram extensivamente validados para aplicação no Complexo Estuarino de Paranaguá e são considerados adequados para a presente aplicação, conforme se demonstra nos referidos Apêndices.

Os modelos foram ajustados para representar as condições hidrodinâmicas esperadas após a implantação do Porto e seus resultados foram comparados às condições hidrodinâmicas atuais para estimar os impactos sobre o padrão de correntes e ondas na área de estudo. Os ajustes aos modelos compreenderam a alteração da batimetria para representar a geometria e profundidades da futura bacia portuária e a inclusão das estruturas molhadas da ponte de acesso e píeres de atracação do Porto. Dois cenários futuros de implantação do Porto foram analisados e comparados à condição atual:

- Cenário 1: profundidade da bacia portuária na cota -14m DHN e profundidades atuais do sistema aquaviário; e
- Cenário 2: profundidade da bacia portuária na cota -16m DHN e aprofundamento das áreas do sistema aquaviário conforme Tabela 2.1.

A Figura 6.2 e Figura 6.3 ilustram as batimetrias nas áreas do Porto Guará e do sistema aquaviário para a condição atual e para os cenários futuros 1 e 2 analisados.

A análise foi realizada para condições meteo-oceanográficas representativas das condições de verão e inverno buscando compreender como as sazonalidades podem afetar o comportamento das correntes e ondas na região. Cada condição foi simulada pelo período de 30 dias, considerados suficientes para cobrir a escala temporal dos processos meteo-oceanográficos que governam a hidrodinâmica na área de estudo. Os seguintes períodos foram selecionados:

- Inverno: 01/07/2019 a 01/08/2019;
- Verão: 31/01/2020 a 01/03/2020.

A análise dos impactos apresentada na sequência dividida em duas partes, sendo a primeira restrita à área do Porto Guará (Seção 6.3) e a segunda compreendendo as demais áreas do sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina (Seção 6.4).

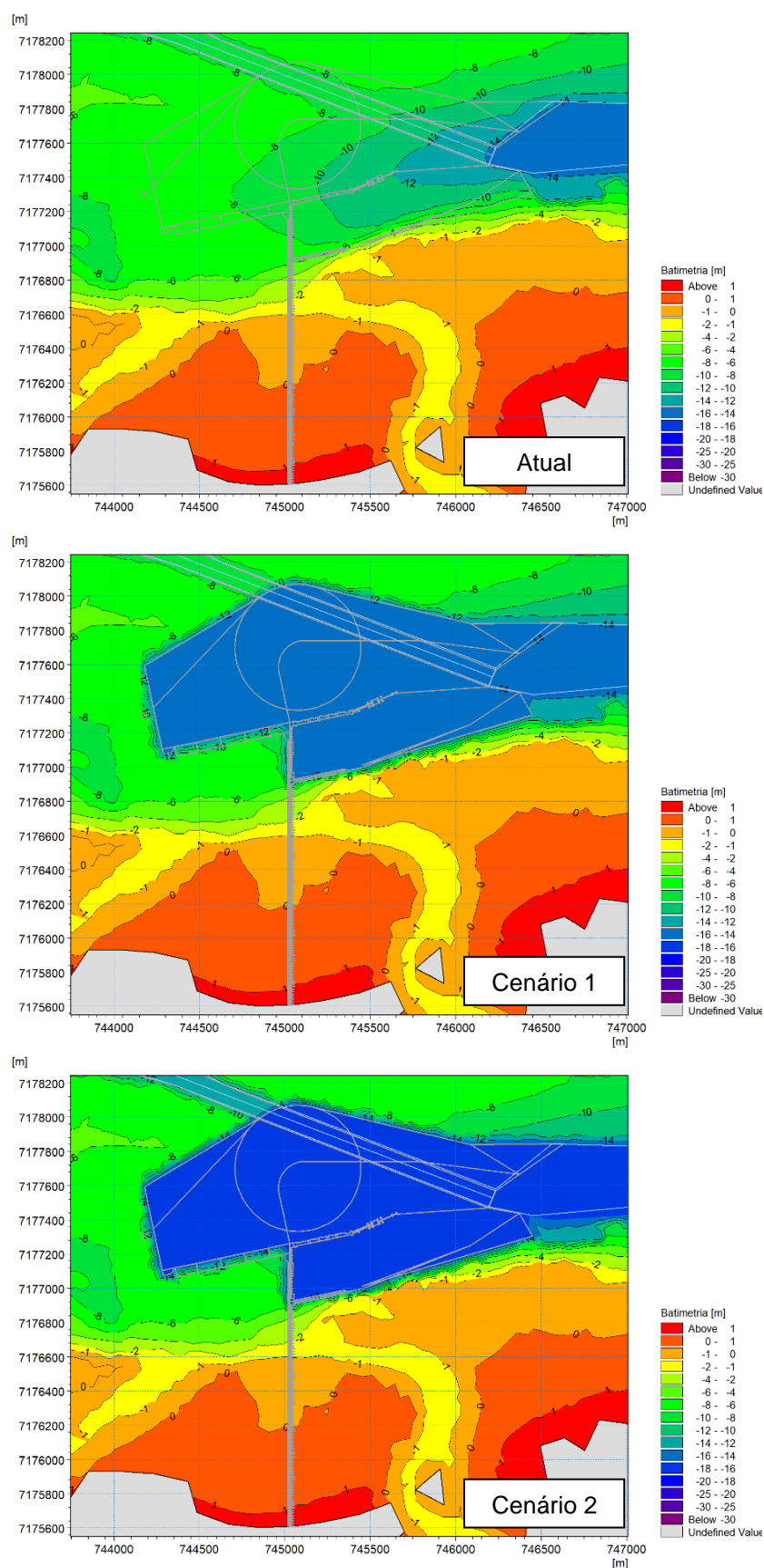


Figura 6.2 Batimetria na área do Porto Guará para a condição atual (acima) e cenários 1 (meio) e 2 (abaixo).



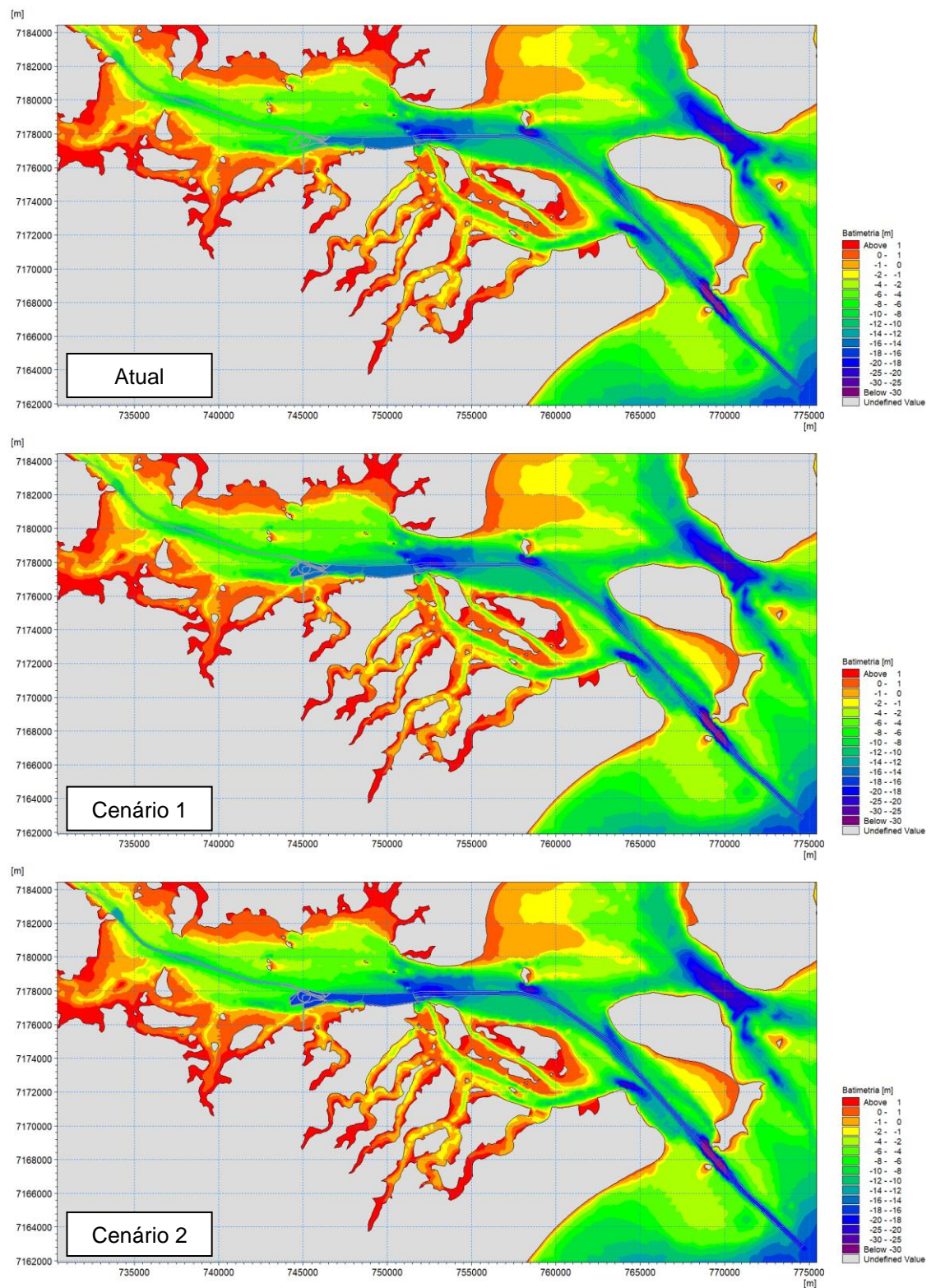


Figura 6.3 Batimetria nas áreas do sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina para a condição atual (acima) e cenários 1 (meio) e 2 (abaixo).





## 6.3 Impactos na área do Porto

### 6.3.1 Correntes e níveis de água

Os mapas da Figura 6.4 e da Figura 6.5 mostram instantâneos de campos de correntes calculados pelo modelo para a condição atual e cenários futuros em condições típicas de marés de enchente e vazante, respectivamente. As intensidades e direções representam valores médios na coluna de água.

A comparação dos campos de correntes permite observar que o aprofundamento da bacia portuária reduz localmente as velocidades das correntes na área da bacia. Conforme descrito anteriormente, tal efeito é esperado em função do aumento das profundidades e consequente expansão e desaceleração do fluxo na área do Porto. Esse efeito será mais acentuado no Cenário 2, onde são esperados os maiores aprofundamentos.

Os resultados também mostram que a presença do Porto deverá reduzir as velocidades das correntes sob as pontes de acesso e píeres. Isso se deve à resistência ao escoamento gerado pela força de arrasto entre o fluxo e as estacas que suportam a infraestrutura molhada do Porto. Essa resistência será maior quanto maiores forem as velocidades das correntes sobre as estacas.

Os mapas da Figura 6.4 e da Figura 6.5 também mostram que as alterações causadas pela presença do Porto sobre as direções das correntes são pouco percebidas nos instantes selecionados.

Os impactos do aprofundamento sobre as velocidades e direções das correntes no interior da bacia ao longo dos períodos de inverno e verão simulados podem ser melhor visualizados através dos gráficos da Figura 6.6 e da Figura 6.7, respectivamente. Neles são representadas as velocidades e direções das correntes calculadas pelo modelo na posição central da bacia portuária nas coordenadas geográficas [E= 745.108 m; N= 7.177.731 m]. É possível observar a ligeira redução das correntes nos cenários 1 e 2 em comparação com a condição atual ao longo dos períodos simulados, com pouca diferença entre as velocidades calculadas nos dois cenários futuros. As direções das correntes, por sua vez, apresentaram diferenças desprezíveis no período.

Na Figura 6.8 e Figura 6.9 são apresentadas as comparações entre os níveis de água calculados na bacia portuária nos períodos de verão e inverno. Como se pode observar, não há diferença entre os níveis de água nas três condições analisadas. O mesmo padrão é observado em outras áreas no interior do Complexo Estuarino, o que significa que a presença do Porto Guará não deve gerar qualquer impacto sobre os níveis de água na região.

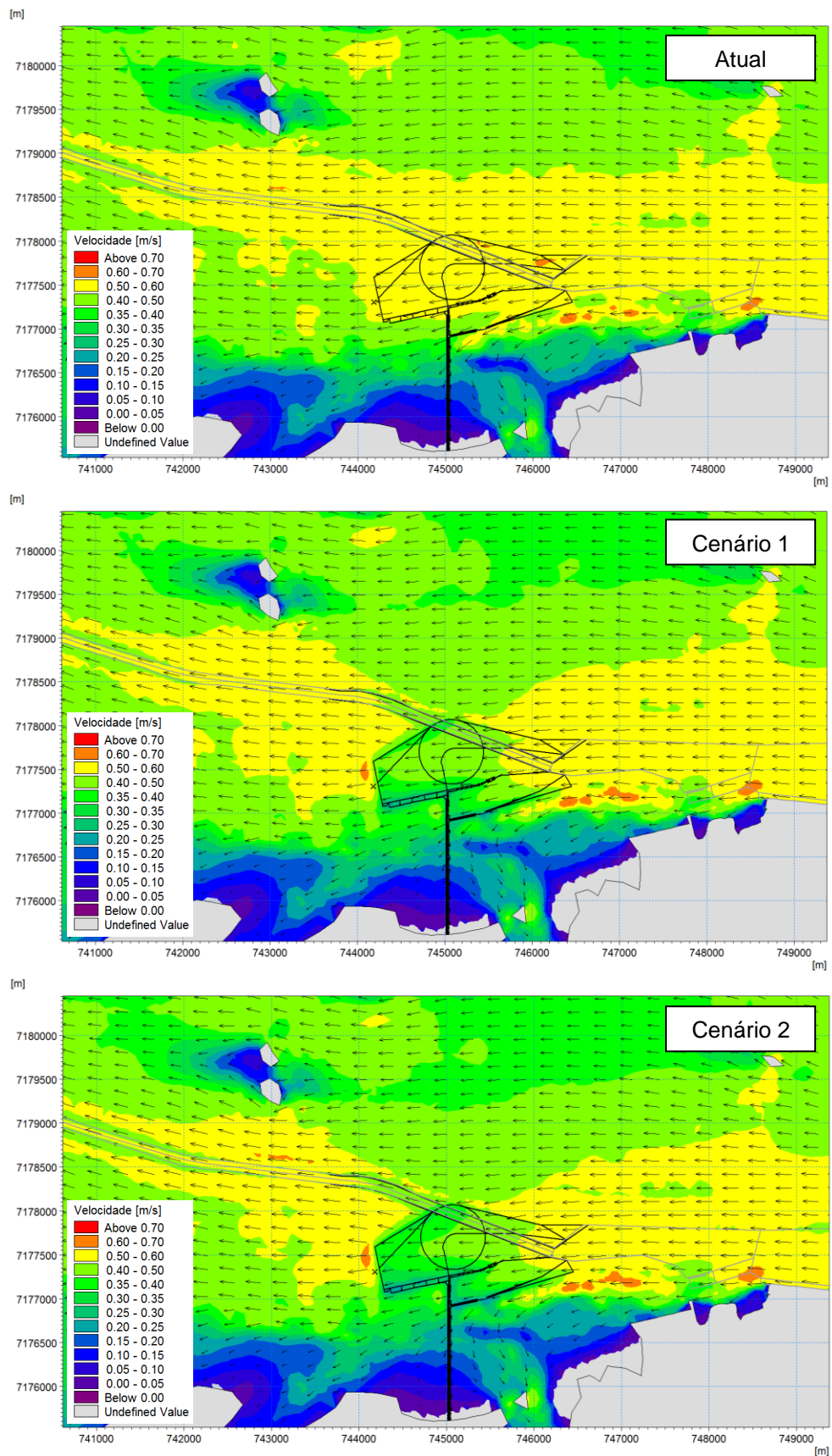


Figura 6.4 Instantâneo de um campo de correntes médias típico de condição de maré enchente para a condição atual (acima) e cenários 1 (centro) e 2 (abaixo). O vetor indica a direção da corrente e a escala de cor a sua velocidade.

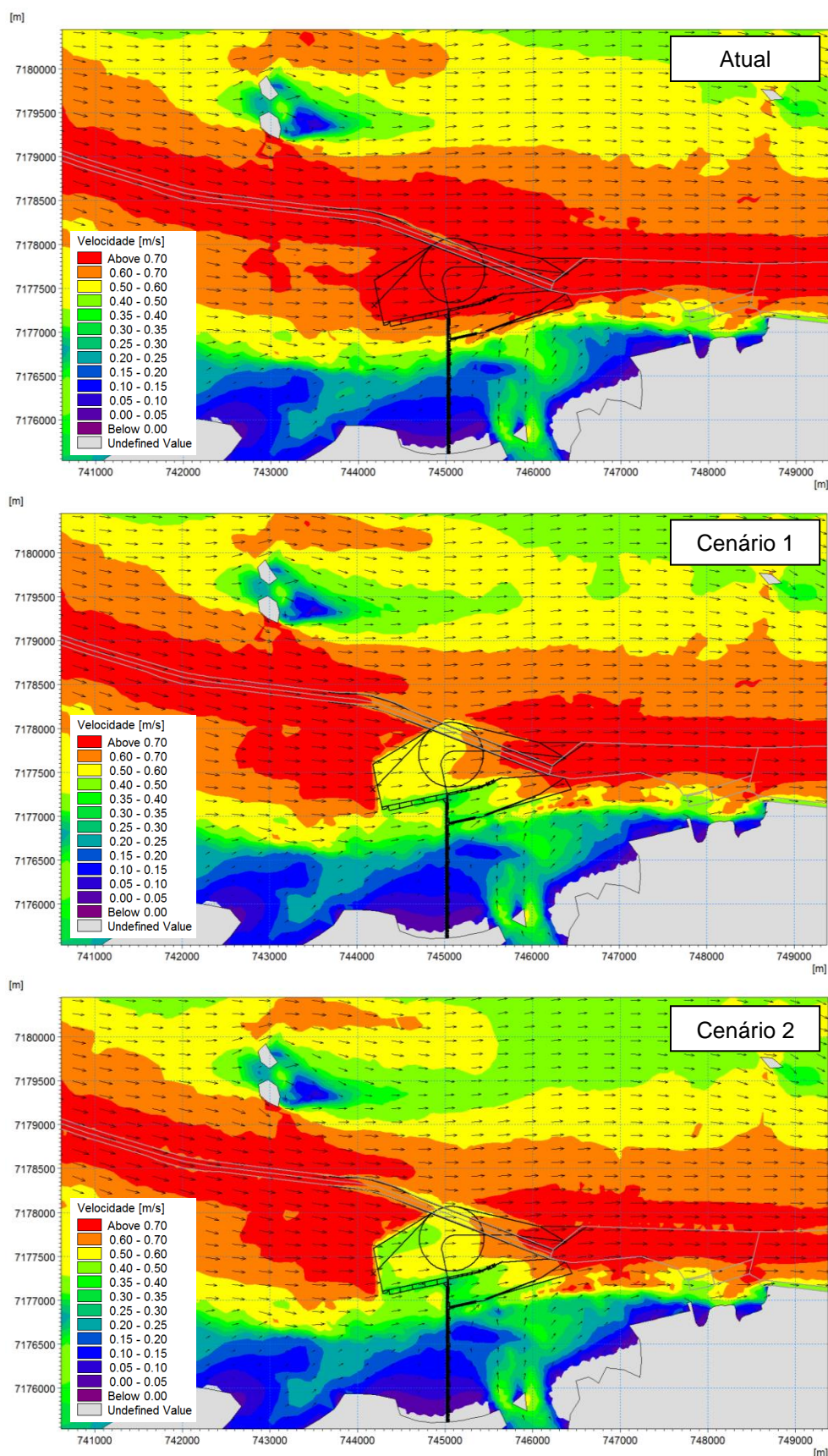


Figura 6.5 Instantâneo de um campo de correntes típico de condição de maré vazante para a condição atual (acima) e cenários 1 (centro) e 2 (abaixo). O vetor indica a direção da corrente e a escala de cor a sua velocidade.



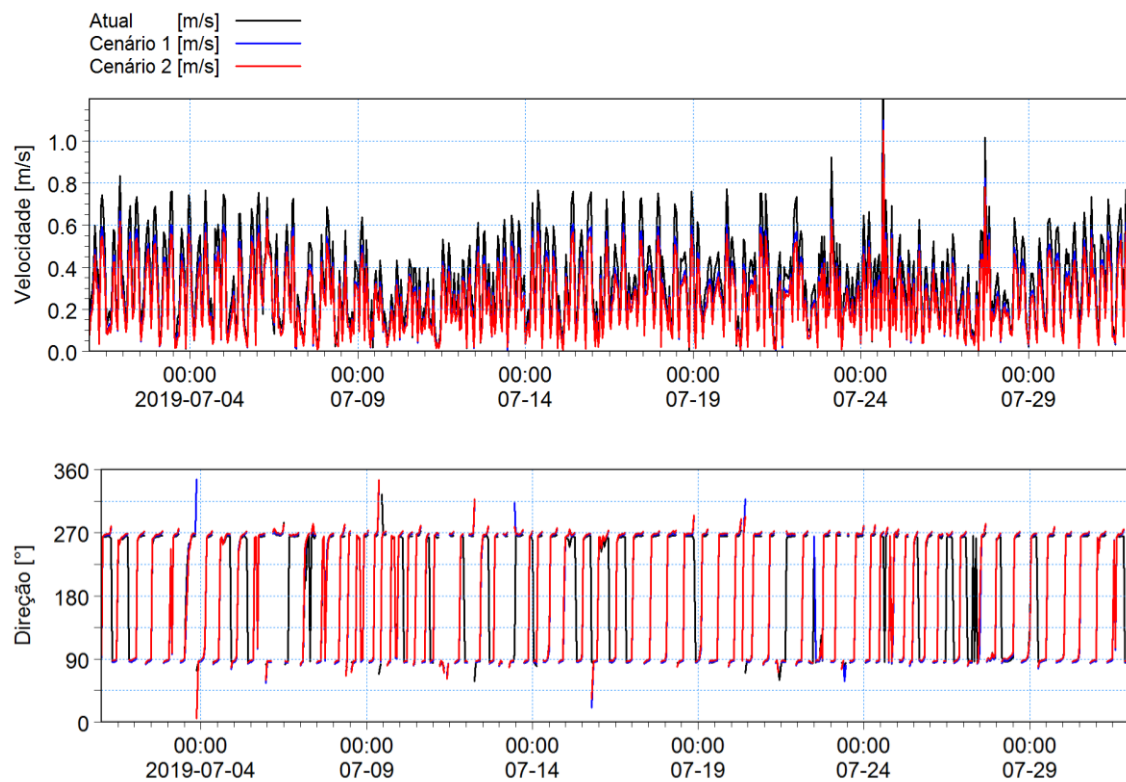


Figura 6.6 Inverno: velocidade (acima) e direção (abaixo) das correntes calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2.

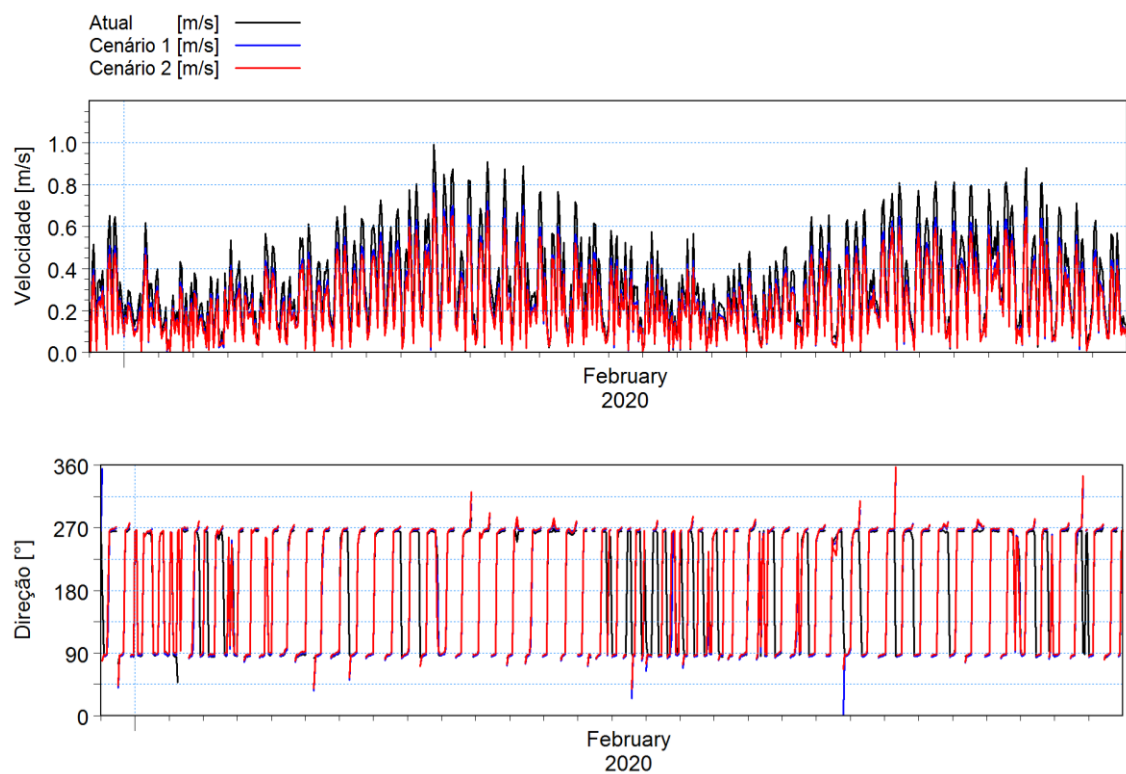


Figura 6.7 Verão: velocidade (acima) e direção (abaixo) das correntes calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2.

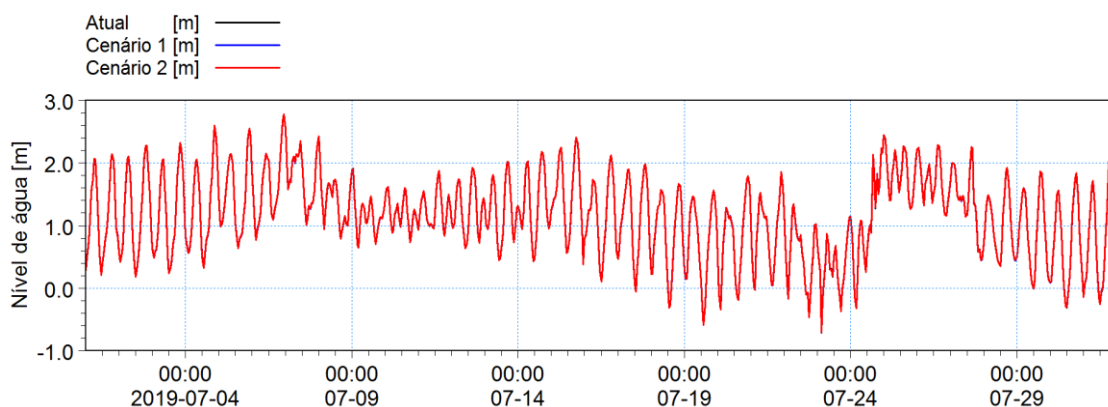


Figura 6.8 Inverno: níveis de água calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2.

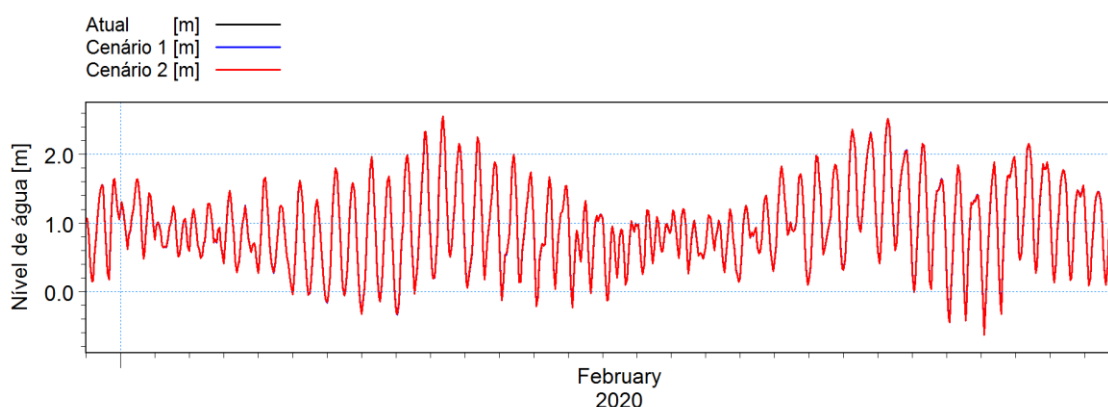


Figura 6.9 Verão: níveis de água calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2.

As velocidades das correntes calculadas pelo modelo durante os períodos simulados também foram analisadas estatisticamente para determinar a extensão dos impactos da presença do Porto sobre as correntes. Para cada cenário futuro, as velocidades das correntes com a presença do Porto (futuro) foram subtraídas das velocidades sem a presença do Porto (atual) para cada instante da simulação em cada nó da malha numérica do modelo e as diferenças obtidas foram promediadas ao longo dos períodos de simulação para a obtenção das variações médias das velocidades das correntes. O resultado desta análise para os períodos de inverno e verão são apresentados nos mapas da Figura 6.10 e Figura 6.11, respectivamente.

Conforme se observa, os impactos da presença do Porto sobre as correntes são restritos à área do porto e não variam significativamente entre as condições de inverno e verão. Os resultados confirmam a redução das velocidades das correntes no interior da bacia portuária, que não ultrapassam, em média, 0,10 m/s na comparação “Cenário 1 x Atual” e 0,12 m/s na comparação “Cenário 2 x Atual”. Sob as pontes e píeres do Porto as reduções nas velocidades das correntes são, em média, da ordem de 0,15 m/s nas duas comparações. Em termos percentuais, as reduções nas velocidades observadas na comparação “Cenário 1 x Atual” variam de 2% a 30% na bacia portuária, onde os maiores percentuais ocorrem nas áreas com maior aprofundamento, e alcançam 40% sob as pontes e píeres do Porto. Na comparação “Cenário 2 x Atual” as reduções na bacia portuária variam de 5% a 35%, sem diferença sob as pontes e píeres em comparação com “Cenário 1 x Atual”.

Os mapas também mostram áreas a leste e oeste do porto com ligeiro aumento das velocidades das correntes, que se devem possivelmente à contração do fluxo após a passagem



pela bacia portuária. Os aumentos de velocidade alcançam em algumas áreas 30% na comparação “Cenário 1 x Atual” e 35% na comparação “Cenário 2 x Atual”.

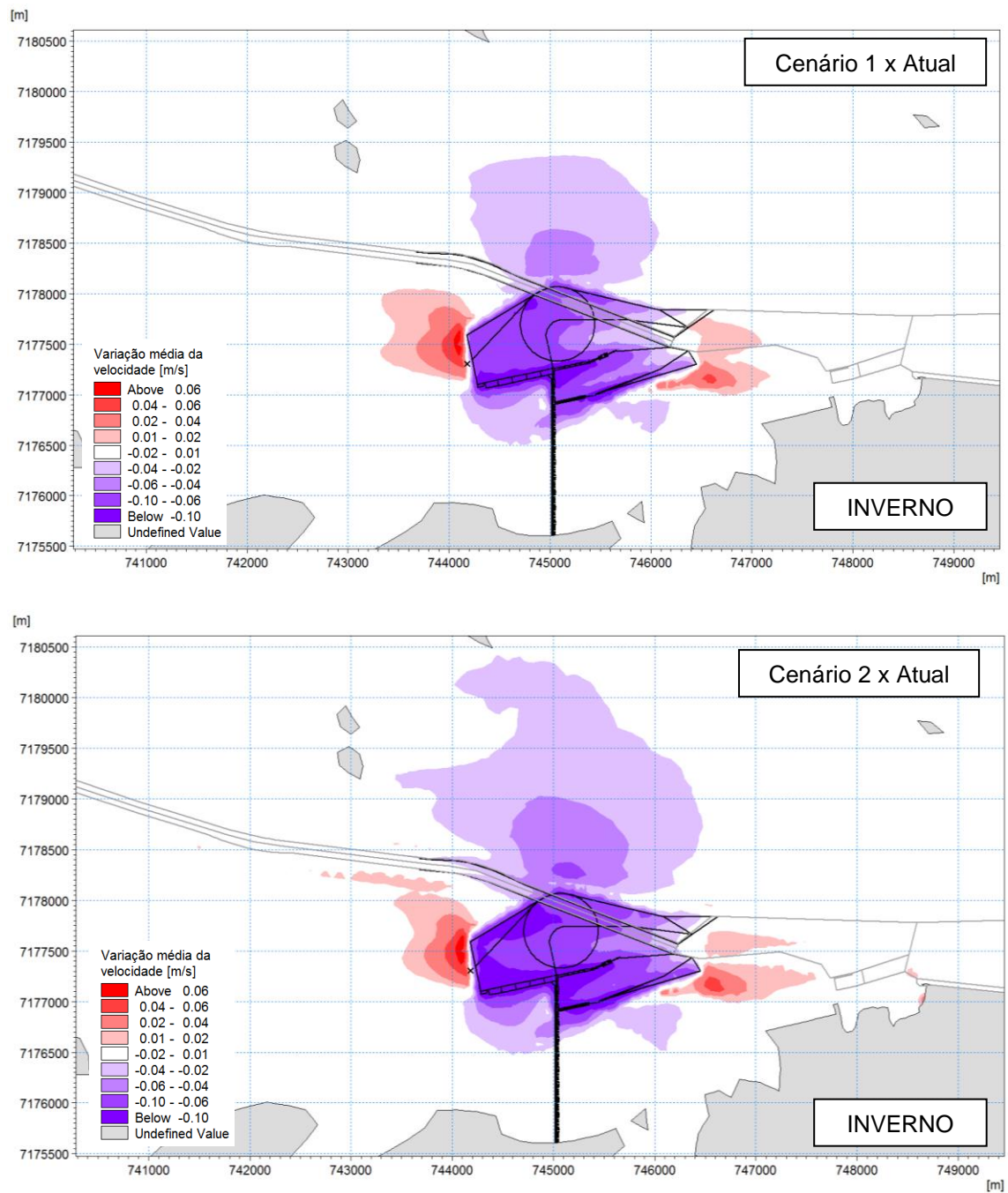


Figura 6.10 Inverno: variações médias das velocidades das correntes causadas pela presença do Porto Guará para os cenários 1 (acima) e 2 (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.



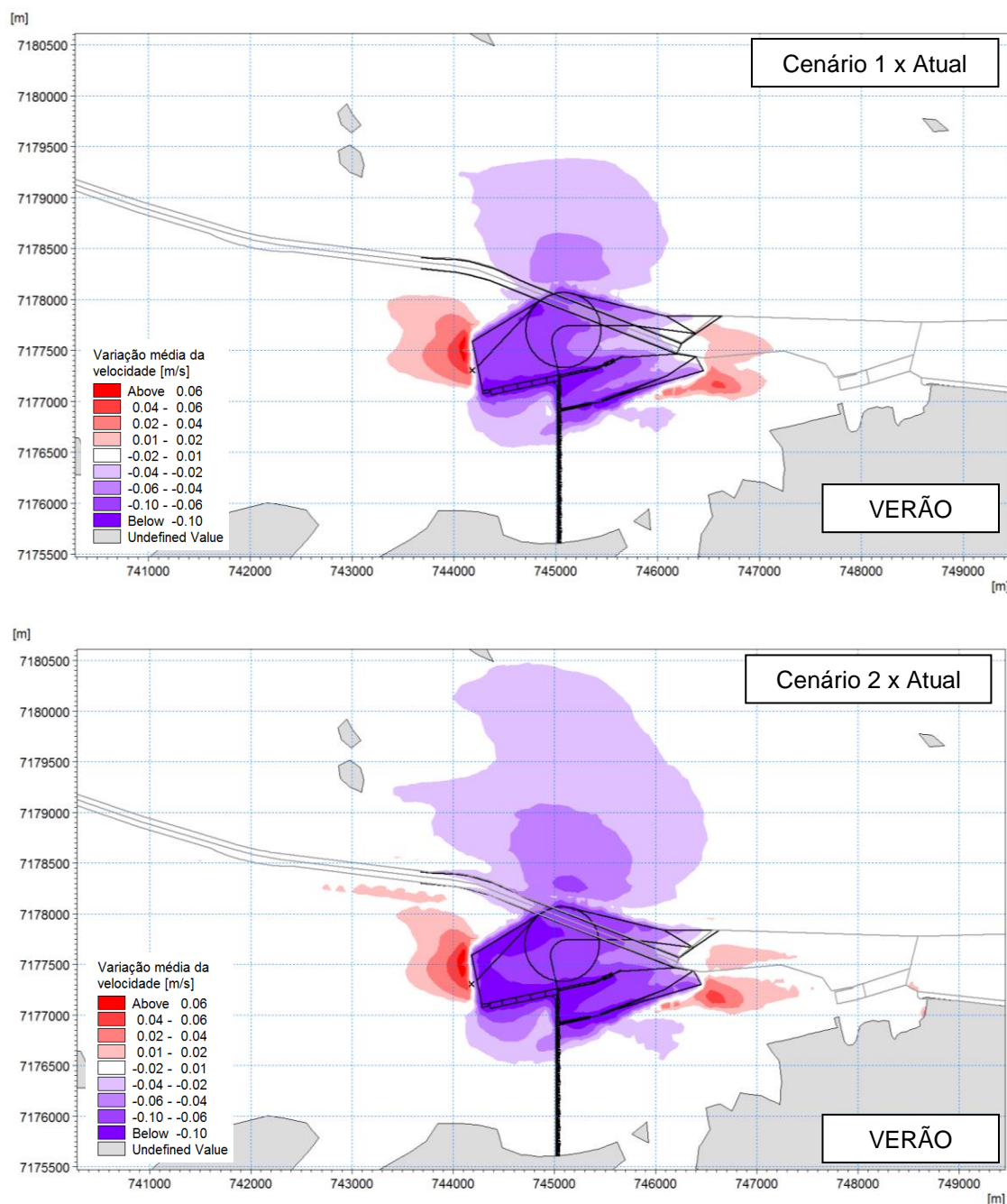


Figura 6.11 Verão: variações médias das velocidades das correntes causadas pela presença do Porto Guará para os cenários 1 (acima) e 2 (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.

### 6.3.2 Ondas

A região onde deverá estar localizado o Porto é abrigado das ondas longas (*swell*) que incidem na costa e, portanto, as condições de ondas são geradas basicamente pelos ventos locais. Em função do limitado espelho de água no interior do Complexo Estuarino, as pistas de vento são curtas e, conseqüentemente, as ondas geradas apresentam períodos curtos e baixas alturas.

O padrão acima pode ser observado nos mapas da Figura 6.12 e Figura 6.13, que mostram instantâneos de campos de ondas na área do porto para a condição atual e para os cenários futuros. A primeira mostra ondas de NE e a segunda ilustra ondas de SW, ambas



impulsionadas por ventos da mesma direção. Nelas é possível observar a condição de abrigo proporcionada pela estrutura do Porto, refletida pelas menores alturas de onda nas áreas a SW do Porto para ondas de NE e a NE do Porto para ondas de SW. Esse efeito se deve em parte à reflexão parcial e refração sofrida pelas ondas durante a passagem pela bacia portuária (que será mais evidente para as ondas de maiores períodos) e, principalmente, pela resistência ao escoamento causada pelas estruturas do Porto.

Os impactos sobre as condições de ondas no interior da bacia portuária ao longo dos períodos de inverno e verão simulados podem ser melhor visualizados através dos gráficos da Figura 6.14 e da Figura 6.15, respectivamente. Eles mostram as alturas significativas de onda ( $H_s$ ), períodos de pico ( $T_p$ ) e direção de pico ( $D_p$ ) calculadas pelo modelo na posição central da bacia portuária nas coordenadas geográficas [ $E= 745.108$  m;  $N= 7.177.731$  m]. Os resultados confirmam que as características das ondas são pouco afetadas nessa área em função da presença do Porto, independente do período analisado.

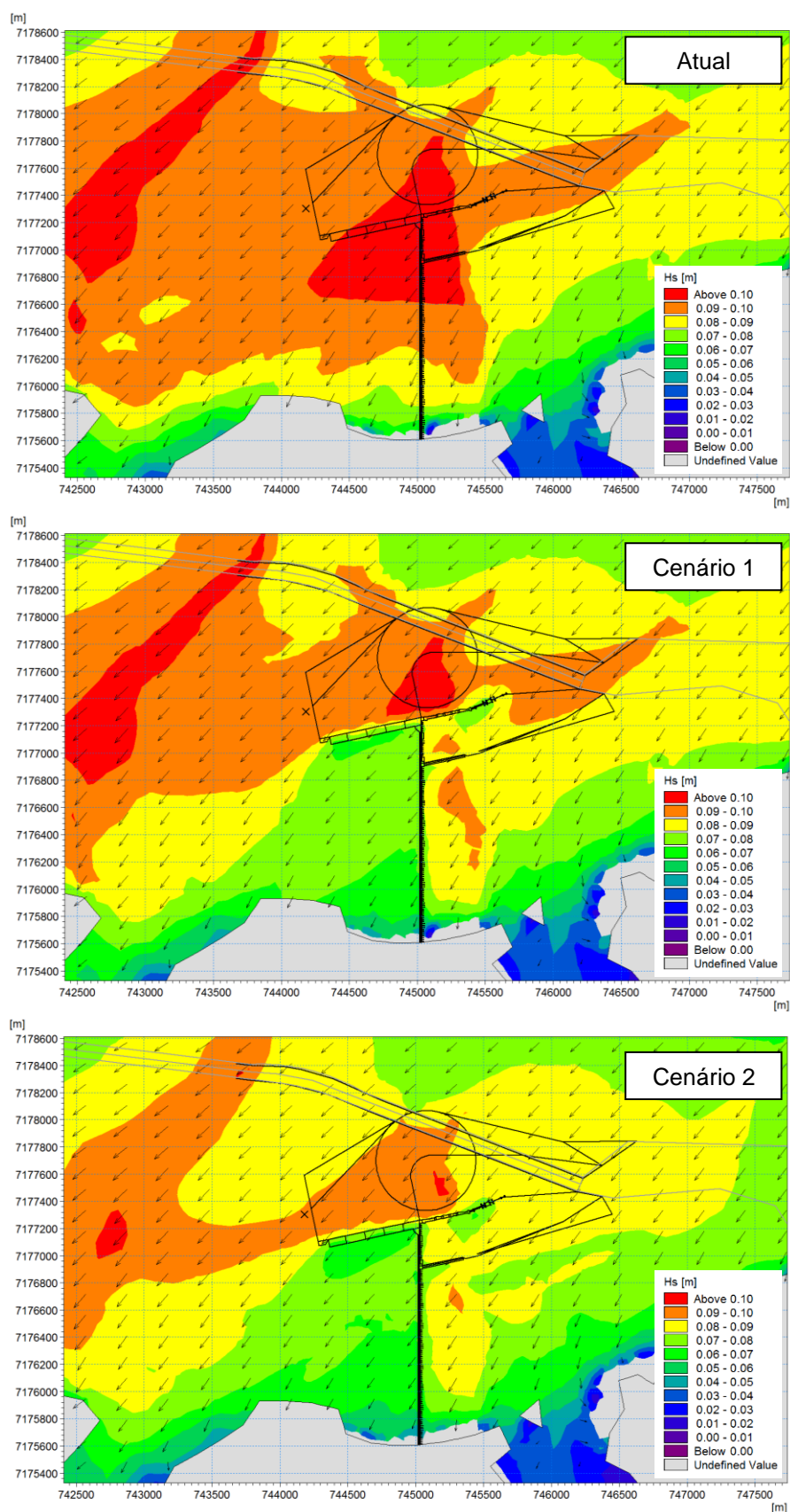


Figura 6.12 Instantâneo de um campo de ondas associado a ventos de NE para as condições atual (acima), cenário 1 (centro) e cenário 2 (abaixo). O vetor indica a direção da onda e a escala de cor a sua altura.

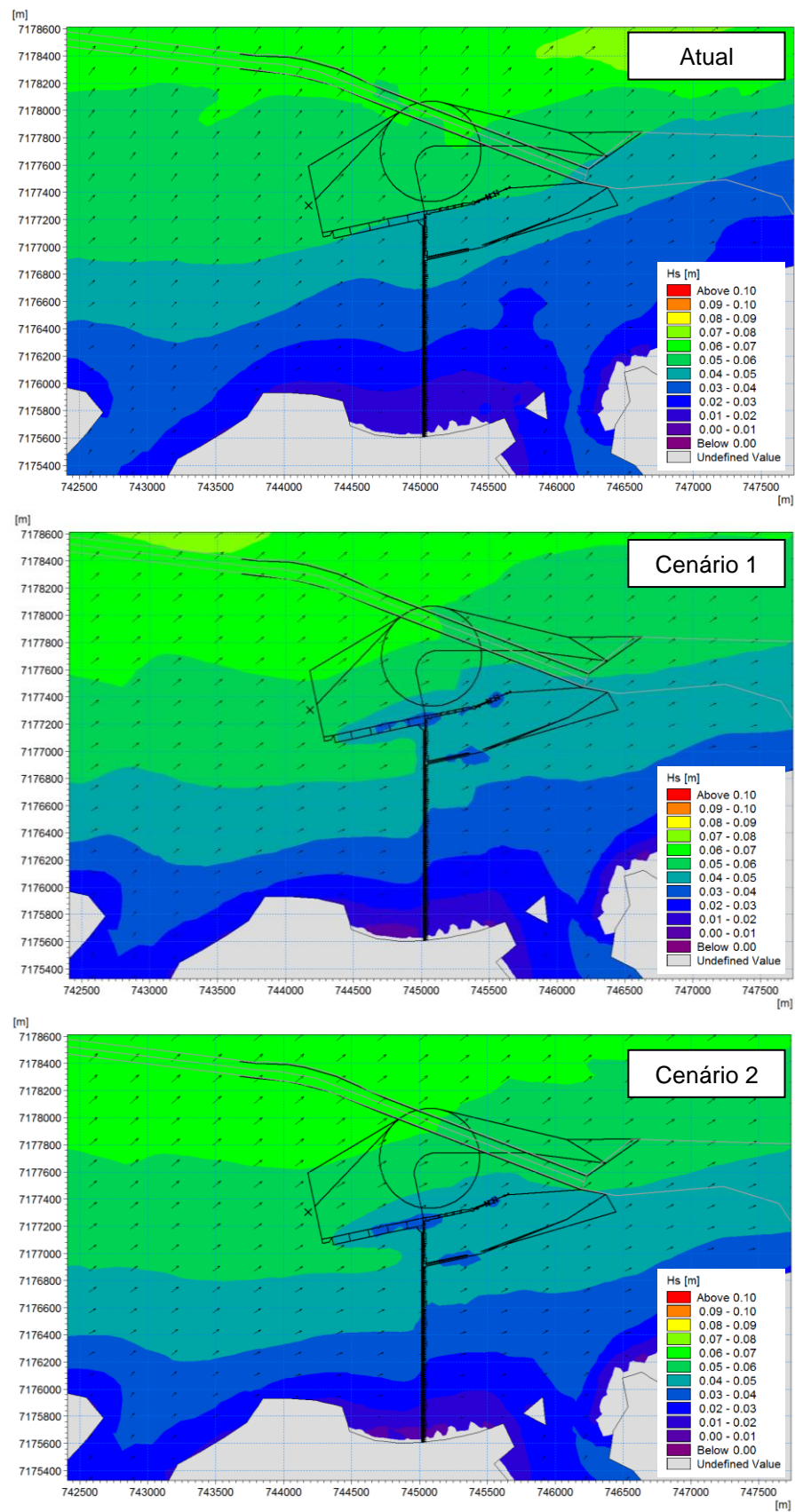


Figura 6.13 Instantâneo de um campo de ondas associado a ventos de SW para as condições atual (acima), cenário 1 (centro) e cenário 2 (abaixo). O vetor indica a direção da onda e a escala de cor a sua altura.

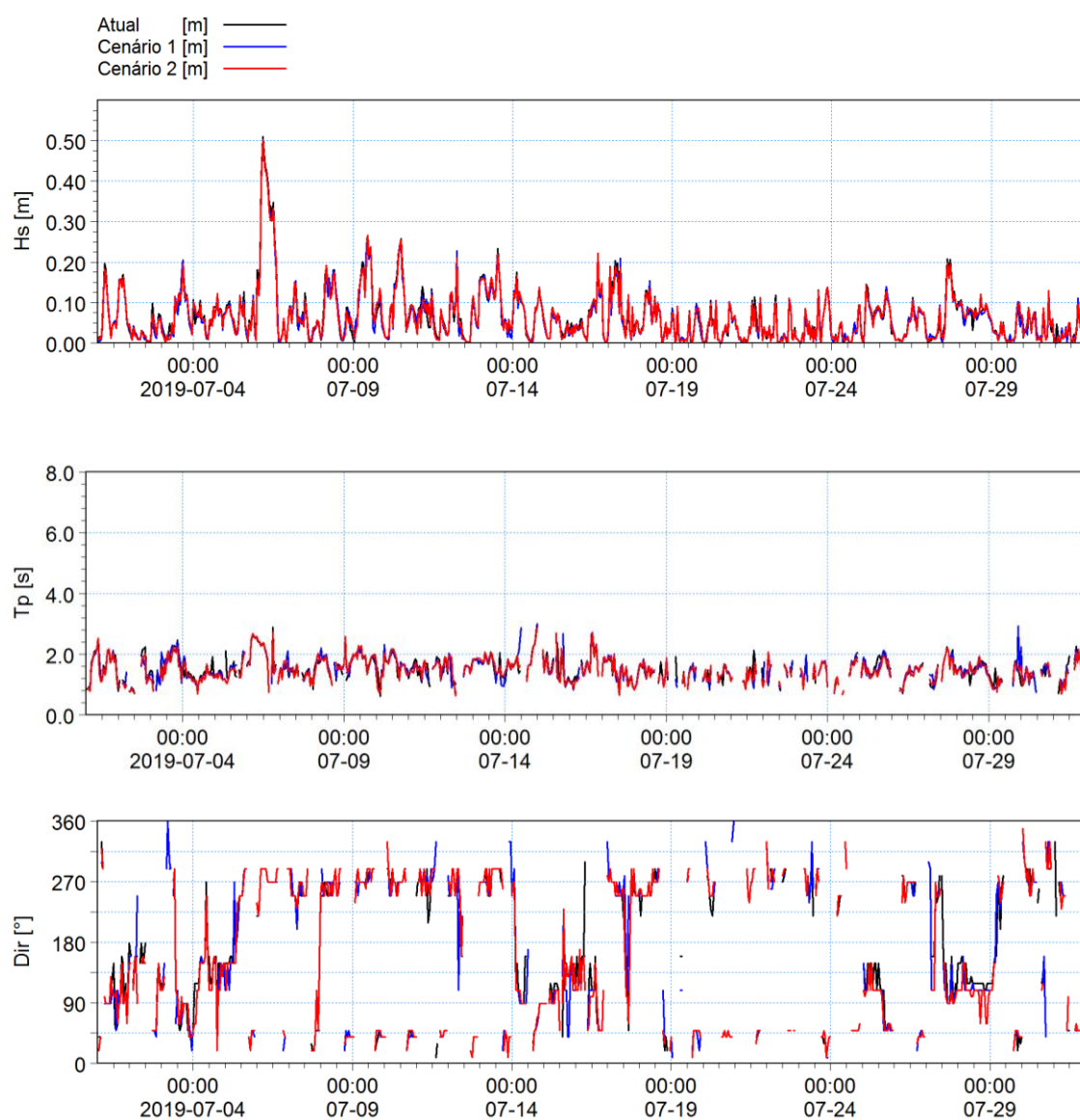


Figura 6.14 Inverno: altura (acima), período (centro) e direção (abaixo) de ondas calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2.



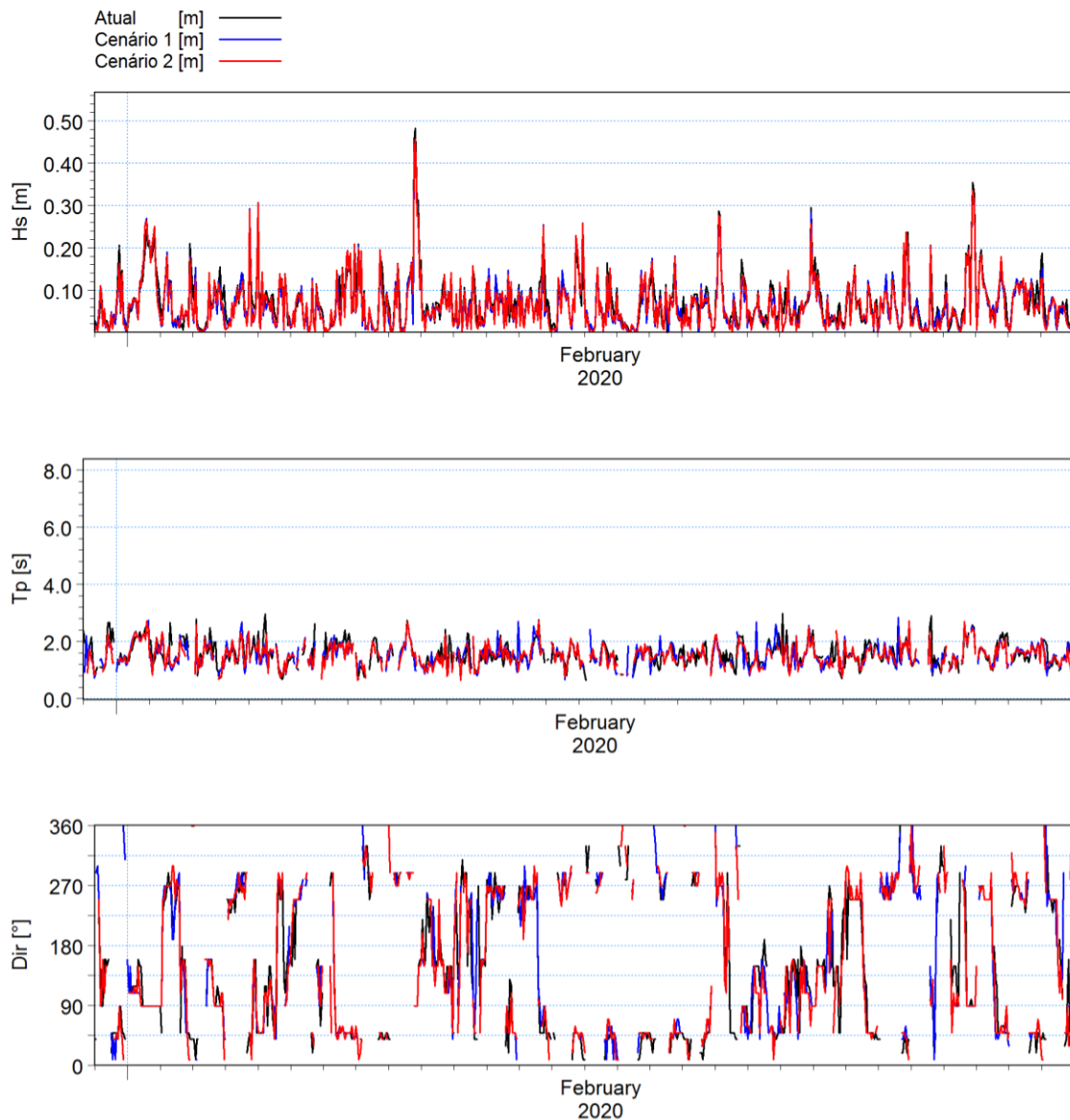


Figura 6.15 Verão: altura (acima), período (centro) e direção (abaixo) de ondas calculados pelo modelo no centro da bacia portuária para a condição atual e cenários futuros 1 e 2.

As alturas de ondas simuladas no período também foram analisadas estatisticamente para determinar a extensão dos impactos da presença do Porto sobre as condições de ondas nos períodos de inverno e verão. Para cada cenário futuro, as alturas de ondas calculadas considerando a presença do Porto (futuro) foram subtraídas das alturas calculadas sem a presença do Porto (atual) para cada instante da simulação em cada nó da malha numérica do modelo e as diferenças obtidas foram promediadas ao longo do período da simulação para obtenção das variações médias das alturas de ondas. O resultado desta análise para os períodos de inverno e verão é apresentado nos mapas da Figura 6.16 e da Figura 6.17.

Como se observa, os impactos da presença do Porto sobre as ondas são restritos à área do Porto e ocorrem principalmente nas áreas sob as pontes de acesso e píeres, sem variação significativa entre os períodos analisados. Nessas áreas as alturas das ondas chegam a ser reduzidas em até 20% em função da resistência ao escoamento geradas pelas estacas e demais estruturas molhadas do Porto. Mesmo assim, em termos absolutos as máximas reduções nas alturas das ondas sob as pontes e píeres são, em média, da ordem de 2 cm nos cenários analisados. No interior da bacia portuária as variações nas alturas das ondas não





ultrapassam  $\pm 1$  cm, o que corresponde, em termos percentuais, a variações da ordem de  $\pm 5\%$ .

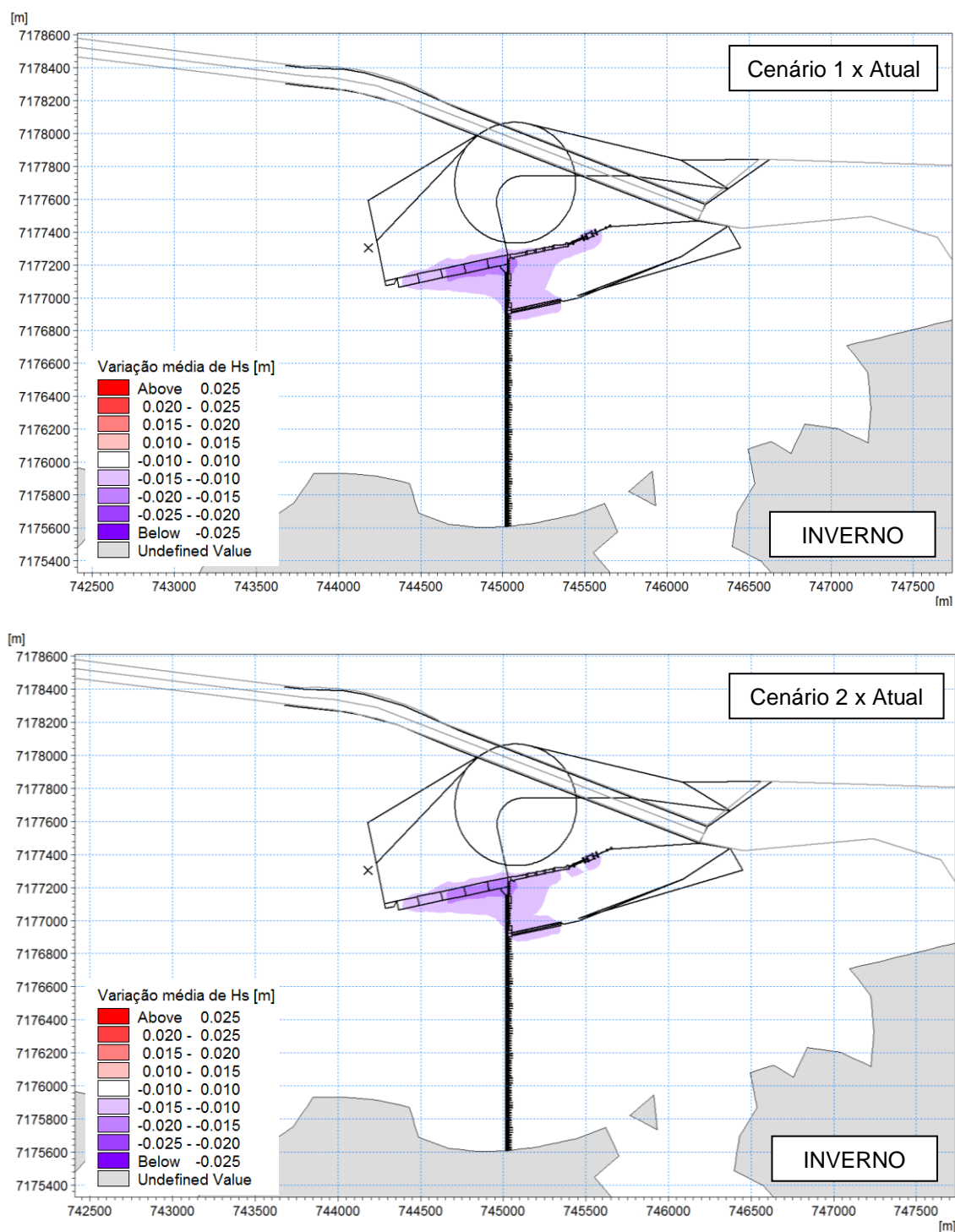


Figura 6.16 Inverno: variações médias das alturas significativas de ondas (Hs) causadas pela presença do Porto Guará para os cenários 1 (acima) e 2 (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda.

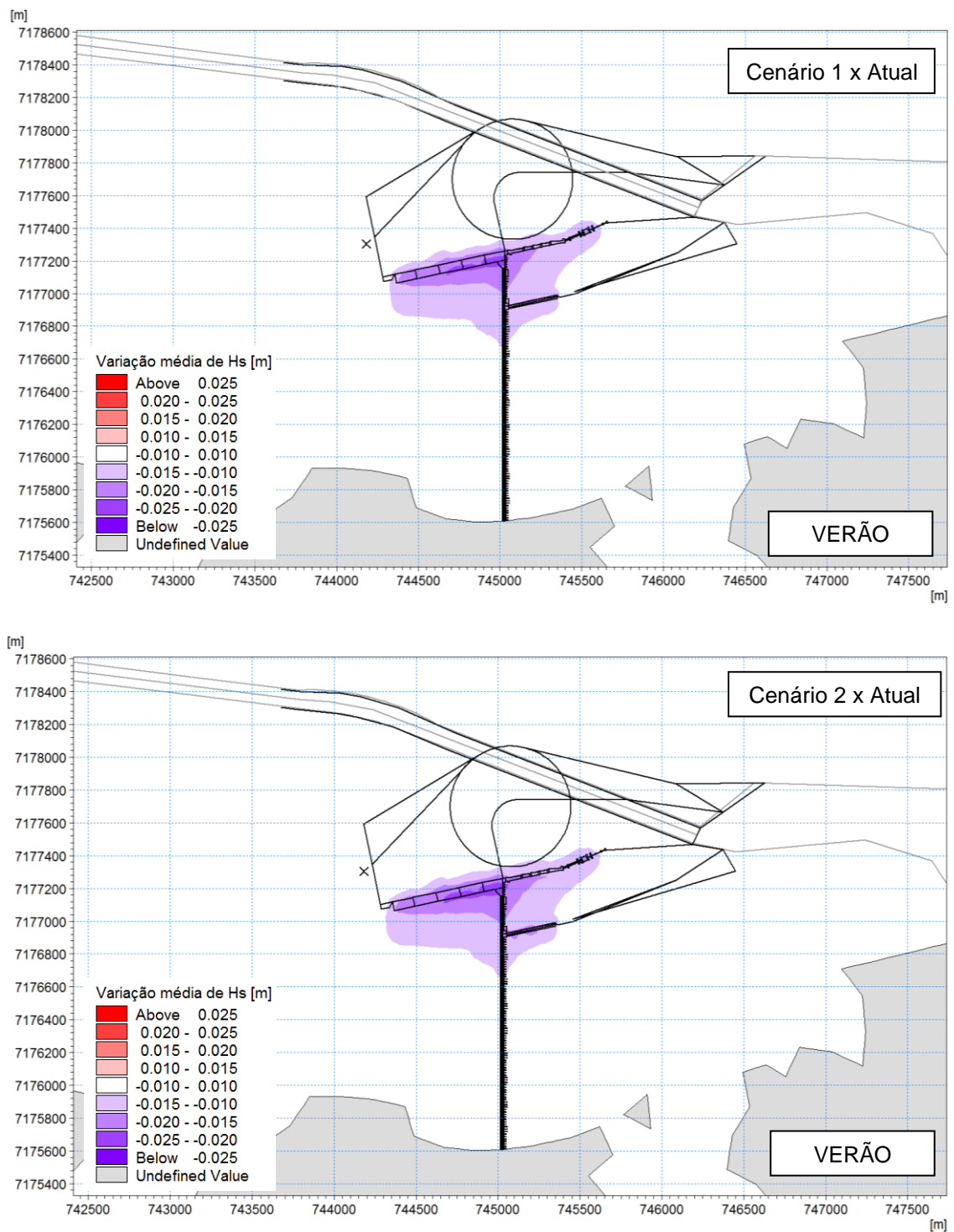


Figura 6.17 Verão: variações médias das alturas significativas de ondas ( $H_s$ ) causadas pela presença do Porto Guará para os cenários 1 (acima) e 2 (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda.



## 6.4 Impactos nas demais áreas do sistema aquaviário

Dos possíveis cenários futuros de implantação do Porto Guará, somente o cenário 2 implicará em alterações nas demais áreas do sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina. As alterações compreendem o aprofundamento das áreas conforme descrito na Tabela 2.1 e visam permitir o acesso das maiores embarcações ao Porto. Por isso, a análise dos impactos dessas alterações sobre as condições hidrodinâmicas nessas áreas será restrita à comparação entre a condição atual e o Cenário 2.

### 6.4.1 Correntes

Seguindo a abordagem aplicada anteriormente, as velocidades das correntes calculadas ao longo dos períodos de inverno e verão simulados foram analisadas estatisticamente para determinar os impactos dos aprofundamentos nas áreas do sistema aquaviário sobre as correntes. As velocidades das correntes calculadas no cenário 2 (com aprofundamento) foram subtraídas das velocidades da condição atual (sem aprofundamento) para cada instante da simulação em cada nó da malha numérica do modelo e as diferenças obtidas foram promediadas ao longo dos períodos de simulação para obtenção das variações médias das velocidades das correntes. O resultado desta análise para os períodos de inverno e verão é apresentado no mapa geral da Figura 6.18. A comparação entre os resultados de inverno e verão mostram que os impactos nas correntes nas demais áreas do sistema aquaviário são similares entre as duas condições. Por isso, os detalhes da Figura 6.19 à Figura 6.21 limitam-se a ilustrar os resultados para o período de inverno.

Conforme se observa, os impactos do aprofundamento das áreas do sistema aquaviário são pouco significativos e limitados ao sistema aquaviário em trechos isolados. Nas áreas ALFA, BRAVO e CHARLIE são observados trechos com ligeiro aumento da velocidade das correntes que, em média, não ultrapassam 4 cm/s. Em termos percentuais, este acréscimo corresponde a uma variação inferior a 5% nas velocidades nessas áreas. O aumento das velocidades pode ser explicado pelo alinhamento do canal de acesso com o sentido preferencial do escoamento nessas áreas. Com o aprofundamento, o fluxo ao longo dos canais é favorecido, resultando no aumento das velocidades.

Na área DELTA destaca-se a redução de velocidade do fluxo esperada na bacia da área DELTA 2 em função do aprofundamento da bacia portuária. Nessa área a redução alcança, em média, -6 cm/s, o que corresponde, em termos percentuais, a uma redução de 17%.

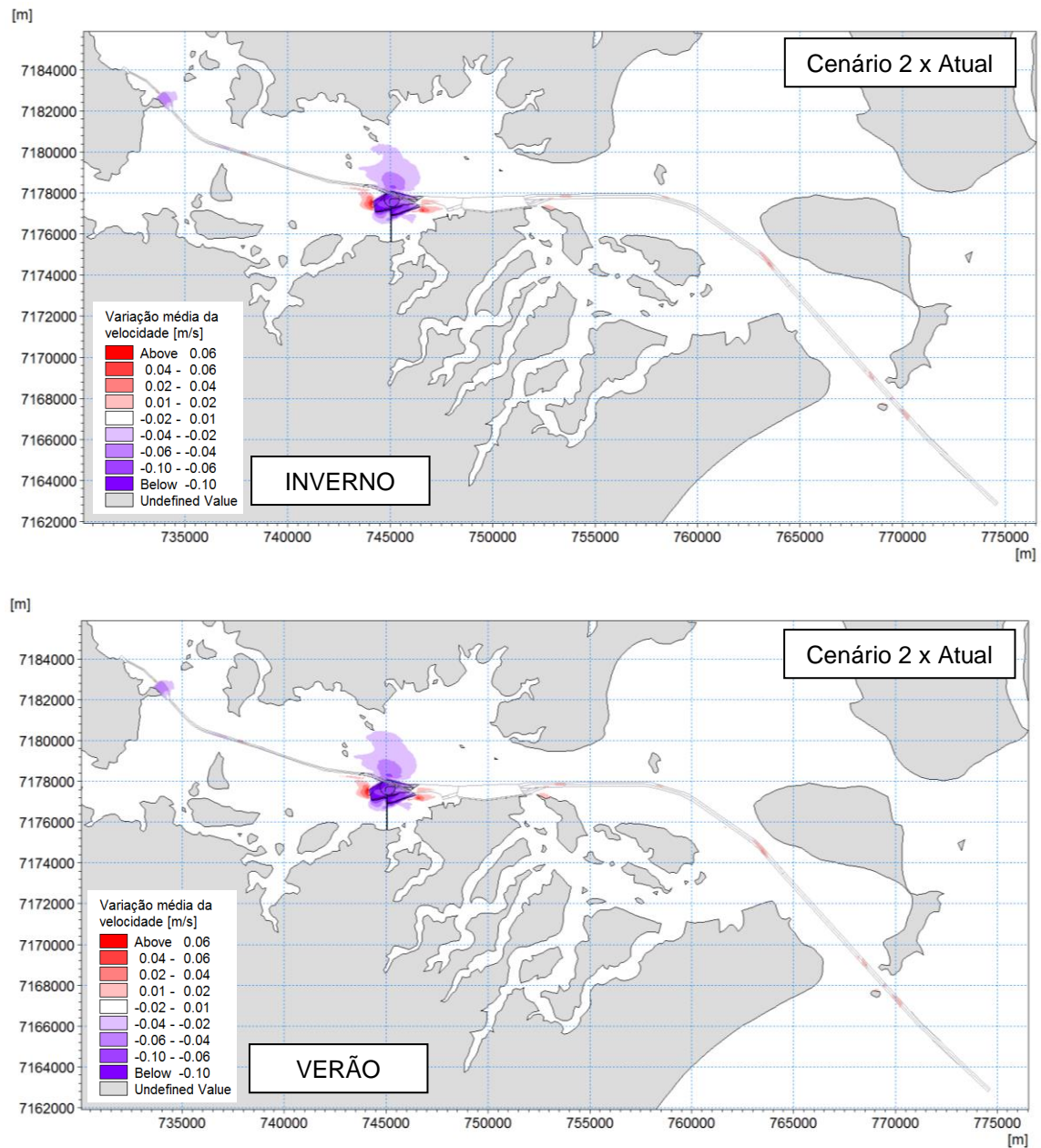
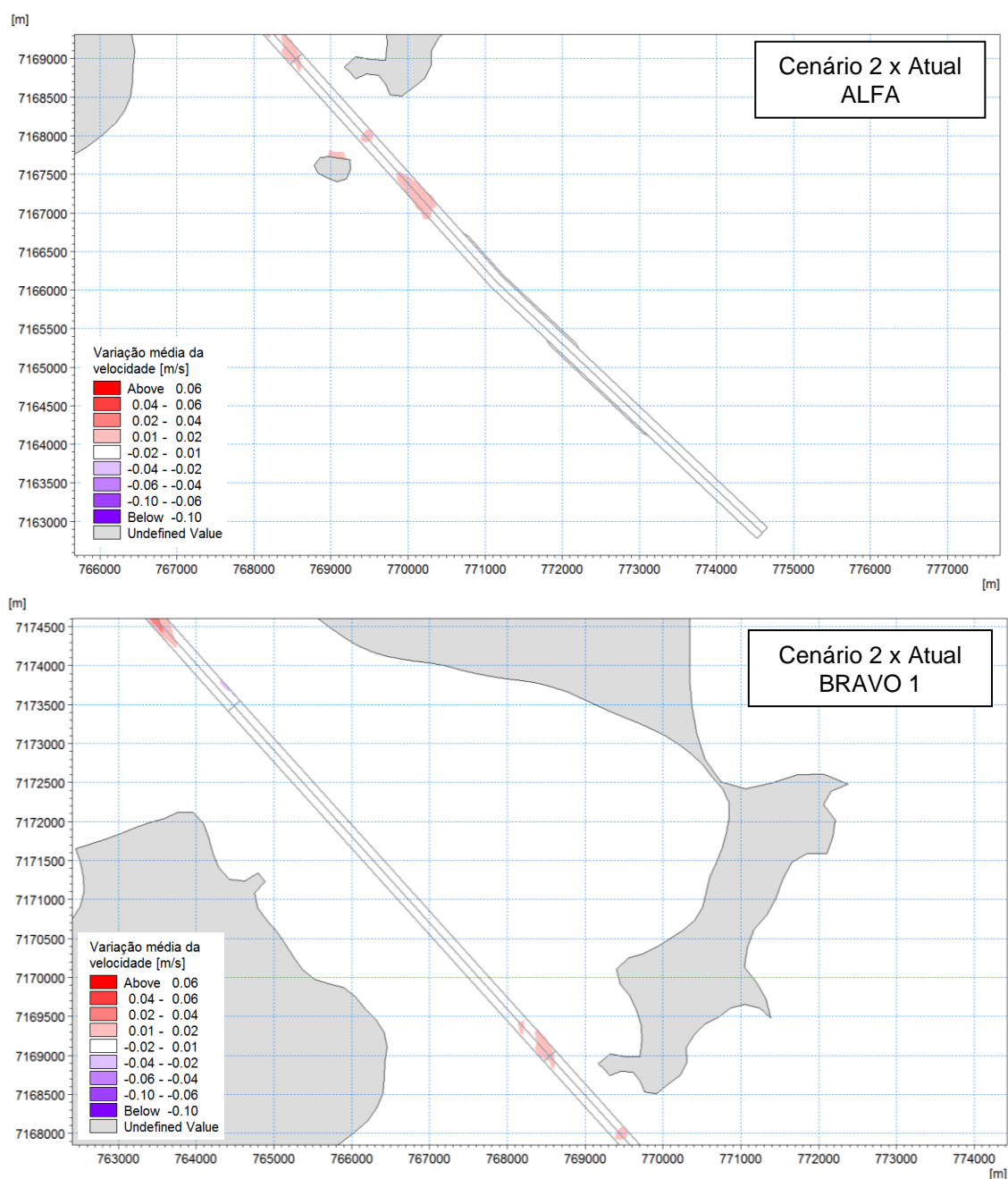


Figura 6.18 Visão geral das variações médias das velocidades das correntes no sistema aquaviário dos portos de Antonina e Paranaguá causadas pelo aprofundamento dos canais e bacias para implantação do Porto Guará para o cenário 2 nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.



**Figura 6.19** Detalhe das variações médias das velocidades das correntes causadas pelo aprofundamento das áreas ALFA (acima) e BRAVO 1 (abaixo) para implantação do Porto Guará para o cenário 2 no período de inverno. A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.



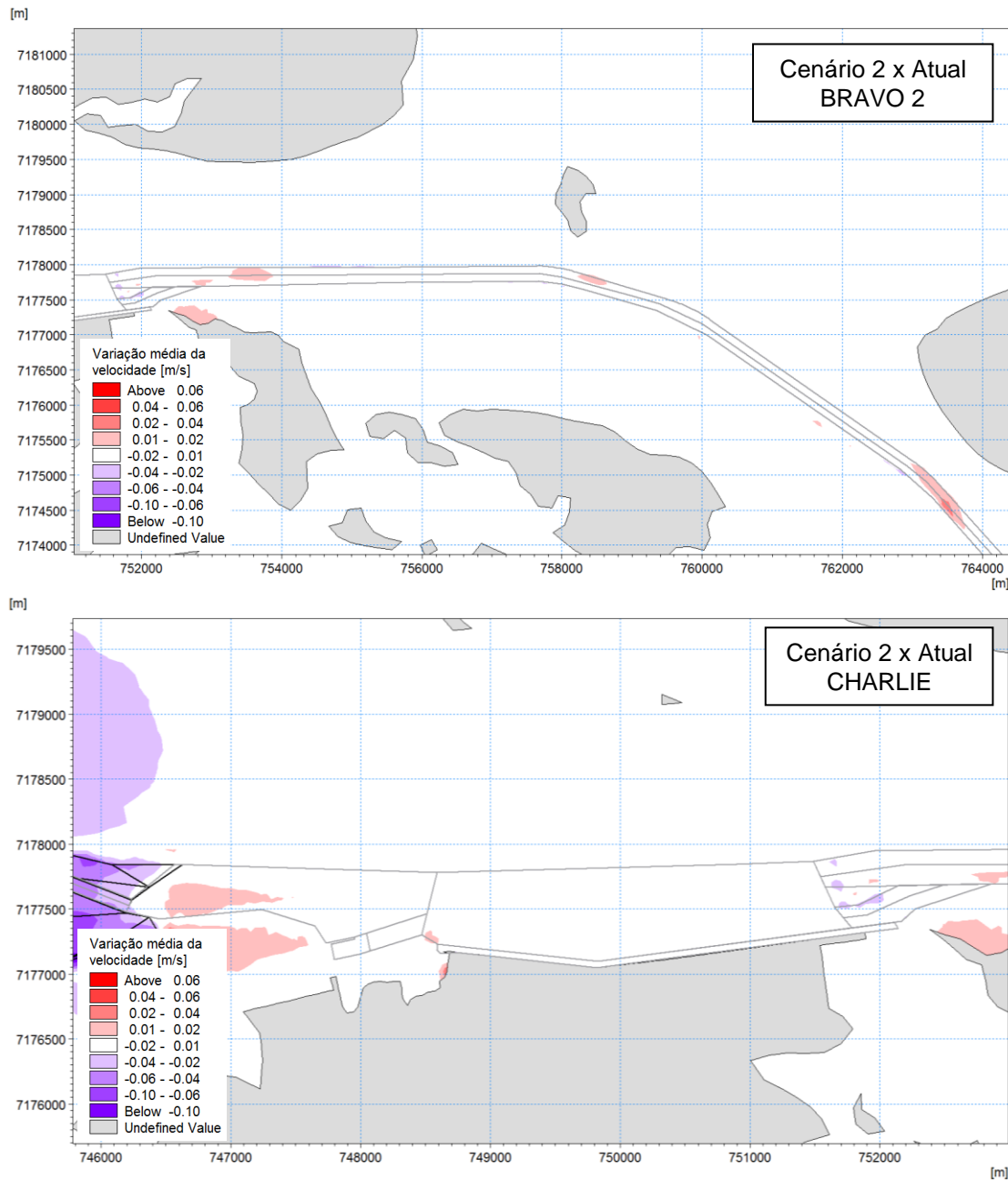
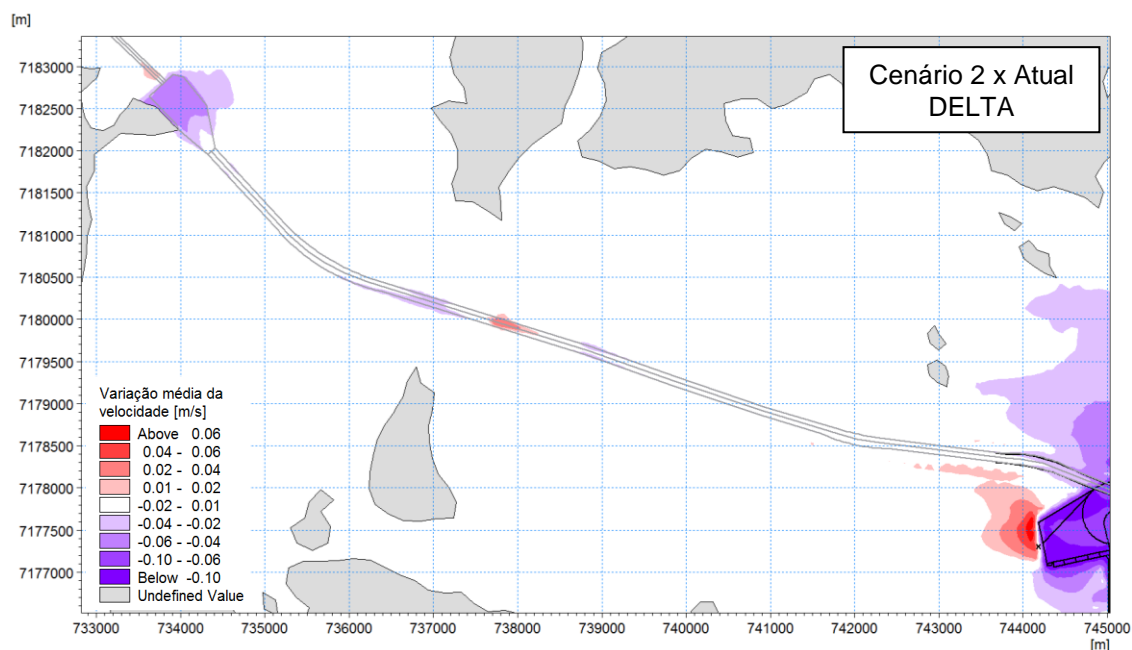


Figura 6.20 Detalhe das variações médias das velocidades das correntes causadas pelo aprofundamento das áreas BRAVO 2 (acima) e CHARLIE (abaixo) para implantação do Porto Guará para o cenário 2 no período de inverno. A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.





**Figura 6.21** Detalhe das variações médias das velocidades das correntes causadas pelo aprofundamento das áreas DELTA 1 e 2 para implantação do Porto Guará para o cenário 2 no período de inverno. A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da velocidade.

#### 6.4.2 Ondas

As alturas de ondas calculadas nos períodos de inverno e verão simulados também foram analisadas estatisticamente segundo a abordagem descrita anteriormente para determinar a extensão dos impactos dos aprofundamentos nas áreas do sistema aquaviário sobre as condições de ondas. O resultado desta análise é apresentado nos mapas da Figura 6.22, ilustrativo de todo o sistema aquaviário, e da Figura 6.23 e Figura 6.24, que mostram os detalhes nas áreas ALFA e BRAVO, respectivamente.

Como se observa, os impactos dos aprofundamentos nas áreas do sistema aquaviário sobre as alturas das ondas são mais evidentes nas áreas ALFA e BRAVO. Isso se deve às características das ondas incidentes nessas áreas. Por serem mais longas (com maior período), as ondas de *swell* que alcançam a entrada do Complexo Estuarino são mais suscetíveis às variações de profundidade decorrentes do aprofundamento dessas áreas. As ondas incidentes tendem a ser parcialmente refletidas quando alcançam o canal de acesso, resultando no aumento das ondas ao Sul do canal para ondas provenientes de Sul e ao Norte do canal para ondas provenientes do mesmo setor. Como consequência da perda de energia pela reflexão parcial, essas ondas tendem a apresentar alturas menores após cruzarem o canal.

Os impactos dos aprofundamentos nas áreas ALFA e BRAVO são mais evidentes no inverno, possivelmente em decorrência das ondas de maior comprimento que incidem no período em comparação com o verão. Na área ALFA as alturas das ondas são reduzidas em até 5% na parte interna do canal e aumentadas em menos de 1% fora dele. Na área BRAVO os máximos aumentos e reduções nas alturas das ondas são da ordem de 30% e 15%, respectivamente. Mesmo assim, é importante salientar que em termos absolutos as variações nas alturas das ondas decorrentes dos aprofundamentos dessas áreas não ultrapassam, em média,  $\pm 5$  cm.

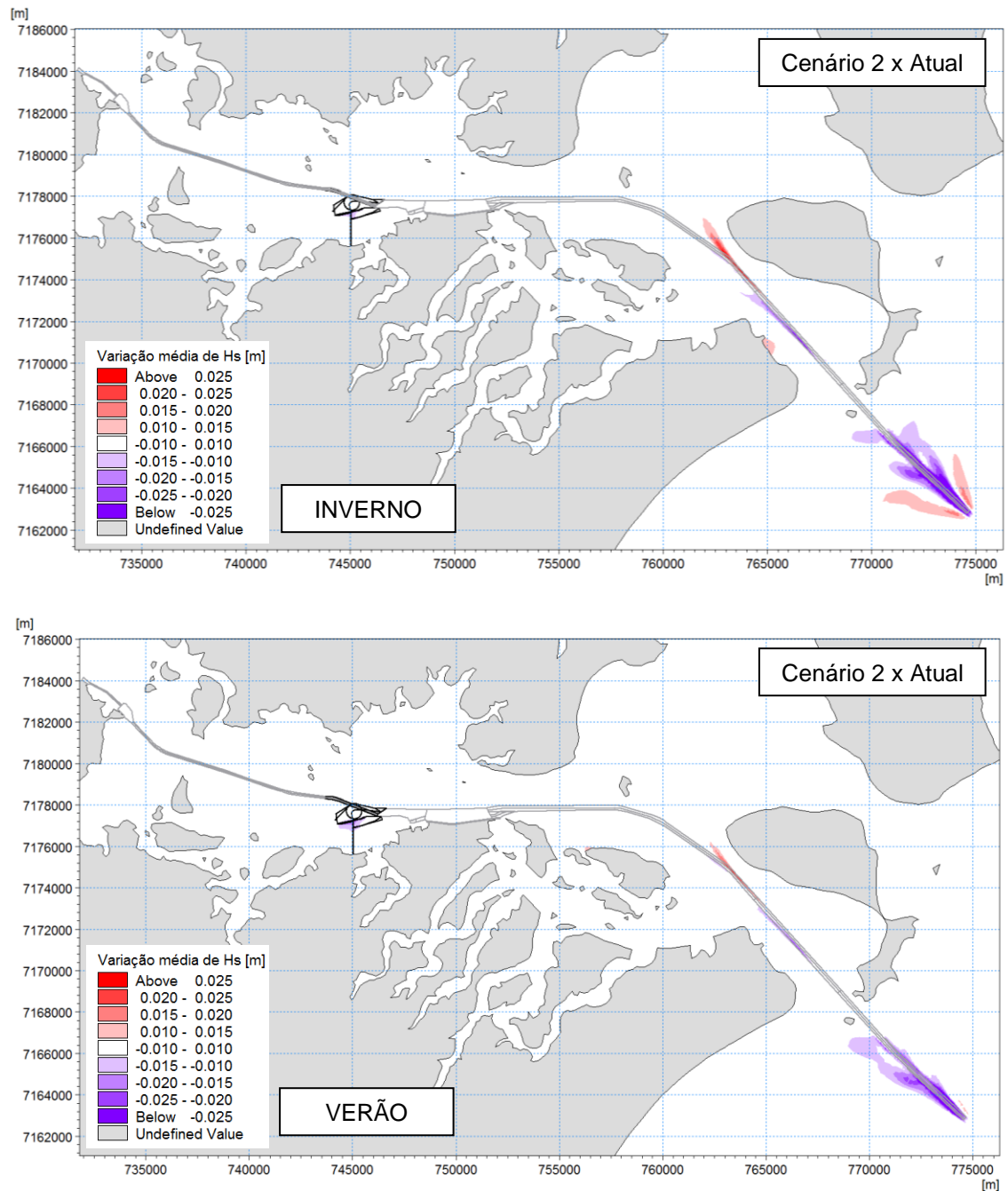


Figura 6.22 Visão geral das variações médias das alturas significativas de ondas no sistema aquaviário dos portos de Antonina e Paranaguá causadas pelo aprofundamento dos canais e bacias para implantação do Porto Guará para o cenário 02 nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda.

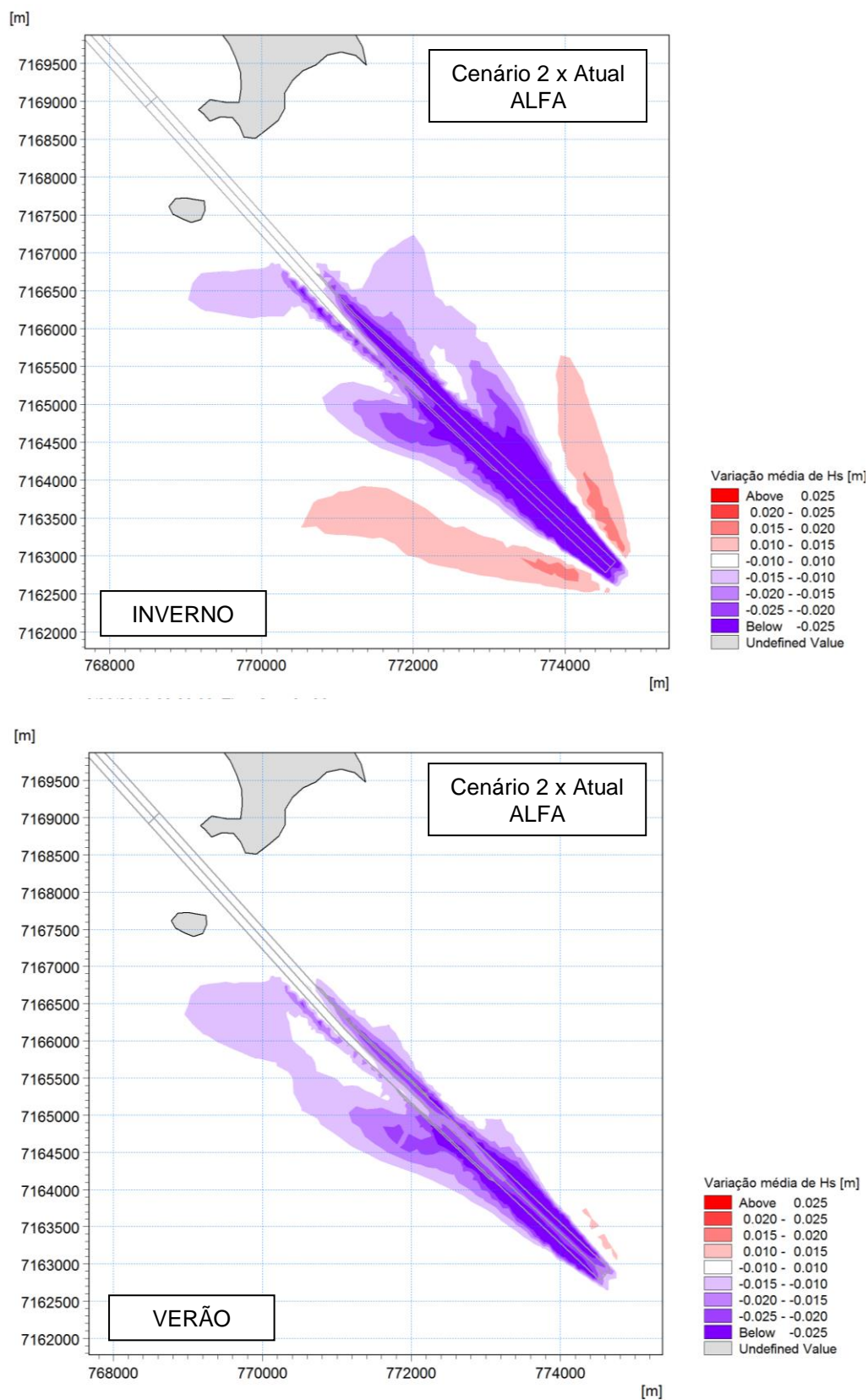


Figura 6.23 Detalhe das variações médias das alturas significativas de ondas causadas pelo aprofundamento da área ALFA para implantação do Porto Guará para o cenário 2 nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda.

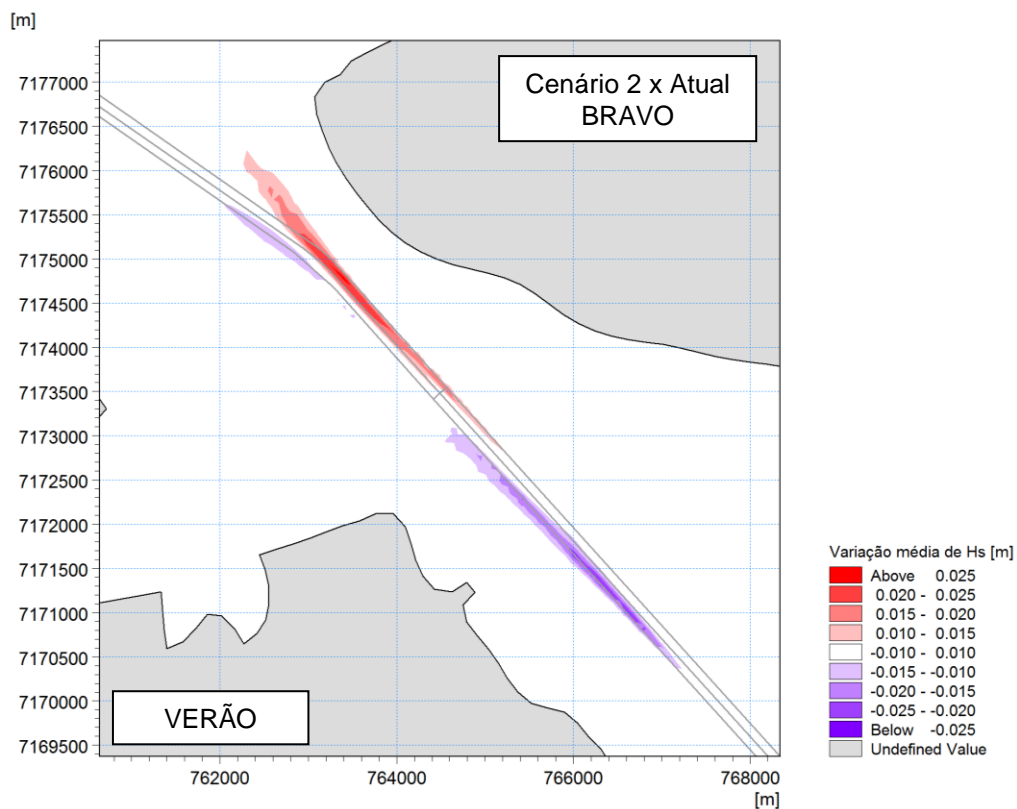
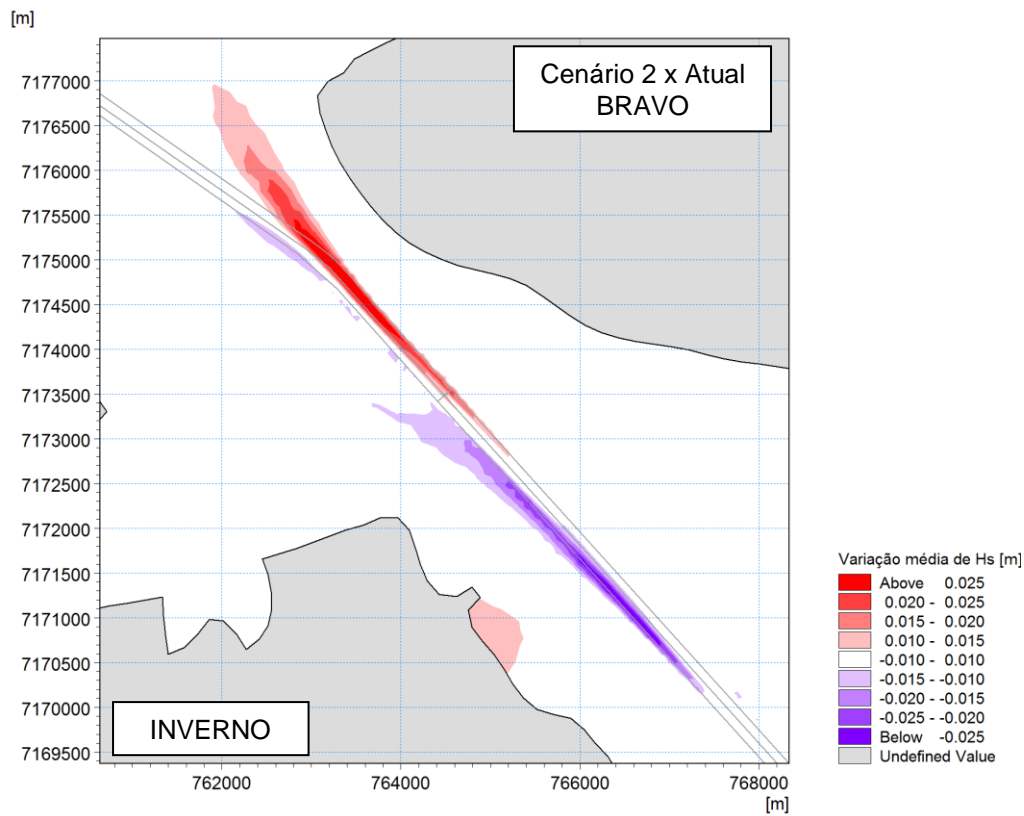


Figura 6.24 Detalhe das variações médias das alturas significativas de ondas causadas pelo aprofundamento da área BRAVO para implantação do Porto Guará para o cenário 2 nas condições de inverno (acima) e verão (abaixo). A cor vermelha indica aumento e a cor azul indica redução da altura da onda.



## 7 Considerações finais

### 7.1 Premissas e limitações técnicas do estudo

As principais premissas assumidas e limitações técnicas do presente trabalho são listadas abaixo:

- uma abordagem 2D foi adotada no presente estudo. Essa abordagem é justificada pela possibilidade de se obter uma melhor resolução horizontal com baixo custo computacional em comparação com uma abordagem 3D e pelo fato de que os processos físicos que governam a hidrodinâmica local, relacionados à advecção causada pelos fluxos de maré e ventos ao longo da costa, são fenômenos bem resolvidos através de uma abordagem 2D;
- como consequência da abordagem 2D aplicada, a análise da dispersão dos sedimentos dragados apresentada na Seção 5 é baseada em valores médios de concentração de sedimentos em suspensão na coluna de água. Considerando as baixas profundidades, em especial na área do Porto, as concentrações médias calculadas podem ser consideradas suficientes para uma aproximação do comportamento esperado das plumas de sedimentos dragados;
- os processos que regem a fase de campo próximo das plumas de sedimentos, tanto durante o *overflow* quanto no descarte na área destinada, ocorrem em escalas de segundos e de dezenas de metros do ponto de lançamento e não são resolvidos em detalhe no modelo aplicado. Por isso, o comportamento das plumas nas proximidades dos pontos de dragagem / despejo não deve ser interpretado como uma representação fiel da realidade. Já o comportamento dos sedimentos dispersos na fase de campo afastado, quando o seu transporte é governado pelas correntes e ondas no ambiente, pode ser considerado bem representado pelo modelo, considerando as premissas e aproximações já descritas neste relatório;
- considerando a impossibilidade de prever as características das dragas que efetivamente realizarão o serviço de dragagem no Porto e do material que será efetivamente dragado, muitas das informações utilizadas neste estudo foram assumidas com base em características médias / usuais, informações disponíveis na área de estudo e cercanias e na experiência do consultor. Assim, os resultados apresentados na Seção 5 não devem ser interpretados como definitivos, mas como um indicativo do comportamento dos sedimentos dispersos;
- na indisponibilidade de campos de ventos variáveis espacialmente, os ventos foram assumidos nos modelos como espacialmente homogêneos em todo o domínio de modelagem. Esta simplificação pode ter reflexo especialmente na determinação das condições de ondas nas áreas internas do Complexo Estuarino, que são influenciadas diretamente pelas condições de vento locais;
- as vazões dos rios que deságuam no Complexo Estuarino representam condições médias mensais. Portanto, eventos extremos associadas a chuvas intensas que podem resultar em maiores aportes de água doce no complexo não são considerados no estudo. Mesmo assim, os acréscimos de água doce gerados durante esses eventos são pouco significativos para a hidrodinâmica local em comparação com os fluxos gerados pela maré.





## 7.2 Conclusões

Os modelos computacionais aplicados mostraram-se essenciais para alcançar os objetivos deste trabalho.

Na ausência de séries históricas de dados medidos na área em que será implantado o Porto Guará, os modelos hidrodinâmico e de transformação de ondas forneceram informações valiosas que permitiram caracterizar as condições hidrodinâmicas atuais na área do Porto para diferentes condições meteo-oceanográficas. Combinadas às fotografias aéreas e imagens de satélite da região, as informações fornecidas pelos modelos e demais dados coletados na região também permitiram compreender a dinâmica da linha da costa adjacente ao empreendimento e forneceram a base para a avaliação dos impactos do Porto.

No que diz respeito à análise da dispersão dos sedimentos dragados, os modelos aplicados forneceram estimativas das concentrações de sedimentos em suspensão e das espessuras dos depósitos na área do Porto e na área de descarte para as condições de verão e inverno simuladas. Algumas conclusões relevantes obtidas da análise:

- na área do Porto a trajetória das plumas de sedimentos geradas pelo *overflow* das dragas é fortemente influenciada pelas correntes de maré, sem interferência significativa das sazonalidades. As máximas concentrações, da ordem de  $20 \text{ kg/m}^3$ , são observadas no entorno dos pontos de dragagem e os máximos deslocamentos das plumas são da ordem de 7km em períodos de enchente e 11km em períodos de vazante. As máximas espessuras dos sedimentos depositados ao final de 30 dias de simulação são da ordem de 15 cm e são restritas à região do Porto;
- na área de descarte ACE-20 são esperadas concentrações elevadas de sedimentos em suspensão, dado o grande volume de sedimentos descartados. Esses sedimentos devem permanecer na coluna de água por tempo suficiente para que ocorra a interação com os sedimentos descartados nos ciclos subsequentes de dragagem. No inverno, há a tendência de deslocamento das plumas para NE influenciada pelos ventos de Sul frequentes no período, enquanto no verão o deslocamento é preferencial para SW em resposta aos ventos de NE mais frequentes nessa época do ano. As máximas concentrações são observadas no entorno dos pontos de descarte e alcançam  $60 \text{ kg/m}^3$ . Os máximos deslocamentos das plumas são da ordem de 55km para NE (no inverno) e 30km para SW (no verão). Os maiores depósitos ocorrem principalmente dentro dos limites da ACE-20 nas duas condições, sendo as máximas espessuras, da ordem de 1m, observadas no inverno.

Os modelos também possibilitaram prever como o aprofundamento das bacias de manobras e atracação e a infraestrutura do Porto devem afetar as condições hidrodinâmicas na região.

Os seguintes impactos foram observados na área do Porto para as duas fases do projeto, sem diferença significativa entre as condições de verão e inverno:

- o aprofundamento da bacia portuária deverá reduzir localmente as velocidades das correntes. Em média, as reduções na bacia portuária não devem ultrapassar 0,10 m/s na fase 1 do projeto e 0,12 m/s na fase 2. As estacas e demais estruturas molhadas do Porto também deverão reduzir as velocidades das correntes sob as pontes de acesso e píeres em função da resistência ao escoamento gerada por essas estruturas. As reduções observadas nessas áreas são, em média, da ordem de 0,15 m/s nas duas fases. Em termos percentuais, as reduções nas velocidades observadas na fase 1 variam de 2% a 30% na bacia portuária, onde os maiores percentuais ocorrem nas áreas com maior aprofundamento, e alcançam 40% sob as pontes e píeres do Porto. Para a fase 2 as reduções na bacia portuária variam de 5% a 35%, sem diferença sob as pontes e píeres em comparação com a fase 1;



- os impactos da presença do Porto sobre as ondas são restritos à área do Porto e ocorrem principalmente nas áreas sob as pontes de acesso e píeres. Nessas áreas as alturas das ondas chegam a ser reduzidas em até 20% em função da resistência ao escoamento geradas pelas estacas e demais estruturas molhadas do Porto. Mesmo assim, em termos absolutos as máximas reduções nas alturas das ondas sob as pontes e píeres são, em média, da ordem de 2 cm nos cenários analisados. No interior da bacia portuária as variações nas alturas das ondas não ultrapassam  $\pm 1$  cm, o que corresponde, em termos percentuais, a variações da ordem de  $\pm 5\%$ .

Os aprofundamentos previstos nas áreas do sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina para atender a fase 2 do projeto do Porto Guará também devem gerar ligeiras alterações no padrão hidrodinâmico:

- nas áreas ALFA, BRAVO e CHARLIE deverá ocorrer ligeiro aumento da velocidade das correntes em alguns trechos isolados que, em média, não ultrapassam 4 cm/s. Em termos percentuais, este acréscimo corresponde a uma variação inferior a 5% nas velocidades nessas áreas. O aumento das velocidades pode ser explicado pelo alinhamento do canal de acesso com o sentido preferencial do escoamento nessas áreas. Na área DELTA, destaca-se a redução de velocidade do fluxo na bacia da área DELTA 2 que alcança, em média, -6 cm/s (que corresponde a uma redução de 17%);
- os impactos sobre as condições de ondas serão mais evidentes nas áreas ALFA e BRAVO, em função da maior sensibilidade das ondas de *swell* incidentes nessas áreas aos aprofundamentos projetados. Os impactos são mais evidentes no inverno, possivelmente em decorrência das ondas de maior comprimento que incidem no período em comparação com o verão. Na área ALFA as alturas das ondas são reduzidas em até 5% na parte interna do canal e aumentadas em menos de 1% fora dele. Na área BRAVO os máximos aumentos e reduções nas alturas das ondas são da ordem de 30% e 15%, respectivamente. Entretanto, em termos absolutos as variações nas alturas das ondas decorrentes dos aprofundamentos dessas áreas não ultrapassam, em média,  $\pm 5$  cm.



*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*



## 8 Referências

- /1/ BELOV Engenharia, 2019. Porto Guará Infraestrutura SPE S/A. Levantamento Batimétrico Multifeixe. Mapeamento da Zona de Interesse de Expansão Portuária – ZIEP. 01.HID.018/19-DW.HID.001. Rev. 00. 26/07/2019.
- /2/ Marone, E., Machado, E.C., Lopes, R.M., da Silva, E.T., 2005. Land-ocean fluxes in the Paranaguá Bay Estuarine System, southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, São Paulo, v. 53, n. ¾, p. 169-181.
- /3/ Knoppers, B.A., Brandini, F.P., Thamm, C.A., 1987. Ecological studies in the Paranaguá Bay II. Some physical and chemical characteristics. *Nerítica* 2:1-36.
- /4/ Monteiro, C.A. F., 1968. Clima. In: *Geografia do Brasil: Grande Região Sul*. 2ª Ed., v. 4, Tomo I, Rio de Janeiro, IBGE, p. 114-166.
- /5/ Mendonça, F. A., 1994. O Clima e o Planejamento Urbano de Cidades de Porte Médio e Pequeno. *Proposição Metodológica para Estudo e sua Aplicação à Cidade de Londrina/PR*. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- /6/ Grimm, A. M., 2009. Clima da Região Sul do Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Justi da Silva, M. G. A.; Silva Dias, M. A. F.(org). *Tempo e Clima no Brasil*, p. 135-147, São Paulo: Oficina de Textos.
- /7/ Wagner, C. S., 1989. Velocidade e direção predominante dos ventos no estado do Paraná. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 56p. (Boletim técnico, 26).
- /8/ Falkenberg, A. V., 2009. Estudo da dispersão, mistura e qualidade da água do Complexo Estuarino de Paranaguá com uso de modelagem numérica. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Paraná. 139p.
- /9/ Marone, E., Camargo, R. 1994. Marés Meteorológicas no Litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de Agosto de 1993. *Nerítica*, 8(1-2): p.73-85.
- /10/ Paula, E. V.; Cunico, C. 2007. O assoreamento das baías de Antonina e Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas. *Publicação do Governo do Estado do Paraná*.
- /11/ Carneiro, J. C.; Paula, E. V.; Lamour, M. R. 2011. Evolução sedimentar das baías de Antonina e Paranaguá entre os anos de 1966, 1995 e 2009. *XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Pontal do Paraná.
- /12/ FUNDESTAC Engenharia de Fundações Ltda., 2020. Porto Guará – Paranaguá – PR. *Locação dos Pontos de Coleta*. Porto Guará Infraestrutura SPE S/A.
- /13/ MTPA; UFSC/LABTRANS, 2018. Plano Mestre do Complexo Portuário de Paranaguá e Antonina. *Ministérios dos Transportes, Portos e Aviação Civil / Laboratório de Transportes e Logística (LABTRANS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)*. Setembro.
- /14/ Consórcio EXE Engenharia / BELOV, 2020. Projeto de Aprofundamento de Canais e Fundeadouros – APPA. *Avaliação da Interação das Obras de Dragagem com o Tráfego Aquaviário*. Relatório Técnico RT-015.6293-201-05-002. Rev. 0.
- /15/ DNIT, 2017. *Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes*.
- /16/ Bray, R. N., 1979. *Dredging: A Handbook for Engineers*. Edward Arnold. 1<sup>st</sup> Edition



*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*





## APÊNDICES





## APÊNDICE A

### Base de dados para o estabelecimento dos modelos





## APÊNDICE B

### Modelo hidrodinâmico







## APÊNDICE C

### Modelo de transformação de ondas





## APÊNDICE D

### Modelo de transporte de sedimentos



# 1 Base de dados

Este Apêndice descreve o conjunto de informações utilizadas para o estabelecimento dos modelos aplicados neste trabalho. As informações consistem em dados medidos através de sensores instalados em diferentes localizações no interior do Complexo Estuarino, dados obtidos de modelos globais, além de informações contidas em fontes públicas, nos projetos do sistema aquaviário e no projeto do Porto.

Um conjunto de dados medidos, entre informações batimétricas e meteo-oceanográficas, foi disponibilizado pela APPA, Praticagem, Cattalini Terminais Marítimos e Terminal de Contêineres de Paranaguá (TCP). O conjunto de dados foi analisado levando em consideração a qualidade dos dados e a disponibilidade de registros medidos simultaneamente que permitissem seu uso como forçantes, condições de contorno e/ou para a comparação com os resultados dos modelos durante os procedimentos e calibração e validação. Esses dados são apresentados na sequência.

## 1.1 Informações batimétricas

As informações batimétricas utilizadas para representação do fundo marinho no interior do Complexo Estuarino e área costeira adjacente foram extraídas de cartas náuticas e de levantamentos batimétricos atualizados na área do acesso aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina.

As seguintes cartas náuticas sob responsabilidade da DHN foram utilizadas:

- nº 1820 – Proximidades da Barra de Paranaguá, /1/;
- nº 1821 – Barra de Paranaguá, /2/;
- nº 1822 – Portos de Paranaguá e Antonina, /3/; e
- nº 23200 – De Santos a Paranaguá, /4/.

Detalhes da batimetria nas proximidades dos portos de Paranaguá e Antonina, conforme disponibilizadas em /3/, são apresentados na Figura 1 e Figura 2, respectivamente.

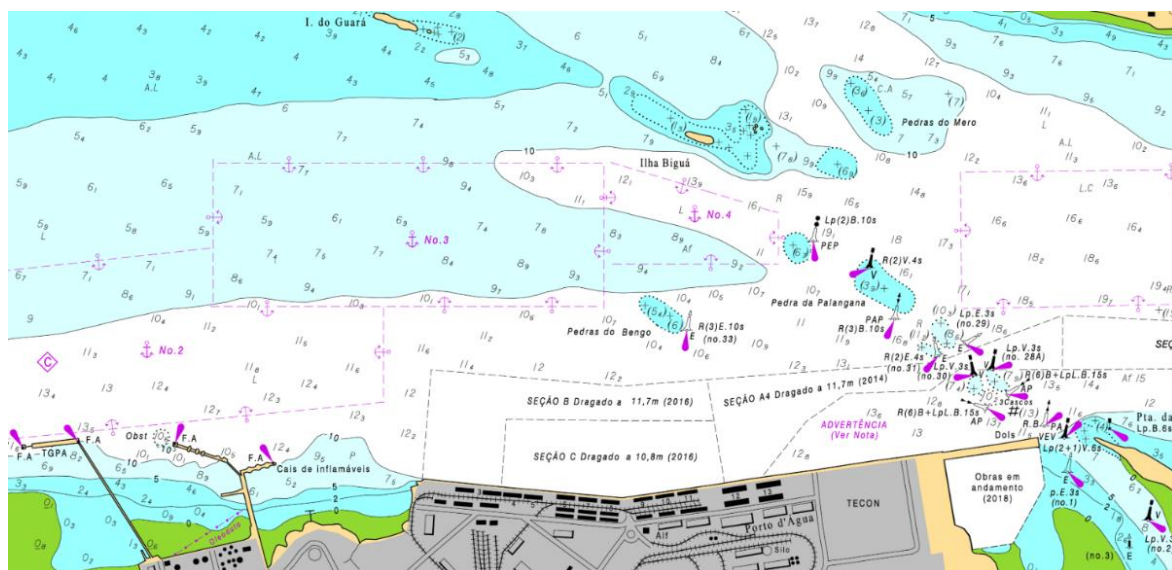


Figura 1 – Informações batimétricas no Porto de Paranaguá conforme disponíveis na carta náutica nº 1822, /3/.



Figura 2 – Informações batimétricas no Porto de Antonina conforme disponíveis na carta náutica nº 1822 /3/.

Um vasto conjunto de dados batimétricos levantados nos diferentes trechos do sistema aquaviário foram disponibilizados pela APPA e Praticagem. Os dados disponibilizados pela APPA cobrem todos os trechos do canal de acesso e áreas de fundeio e foram executados entre 12/06/2017 e 03/05/2000, /5/. Os dados disponibilizados pela Praticagem cobrem as seguintes áreas:

- trechos ALFA, BRAVO 1, BRAVO 2, CHARLIE 1, CHARLIE 2 e CHARLIE 3 executados entre 25/11/2019 e 11/12/2019, /6/;
- áreas de fundeio levantadas em agosto de 2017, /7/;
- área da Ponta do Félix levantada entre 09/04/2015 e 04/12/2018, /8/.

Para a área prevista para a implantação do Porto Guará foram disponibilizados dados batimétricos de levantamento realizado pela empresa BELOV Engenharia em julho de 2019. A Figura 3 ilustra a área coberta pelo levantamento.

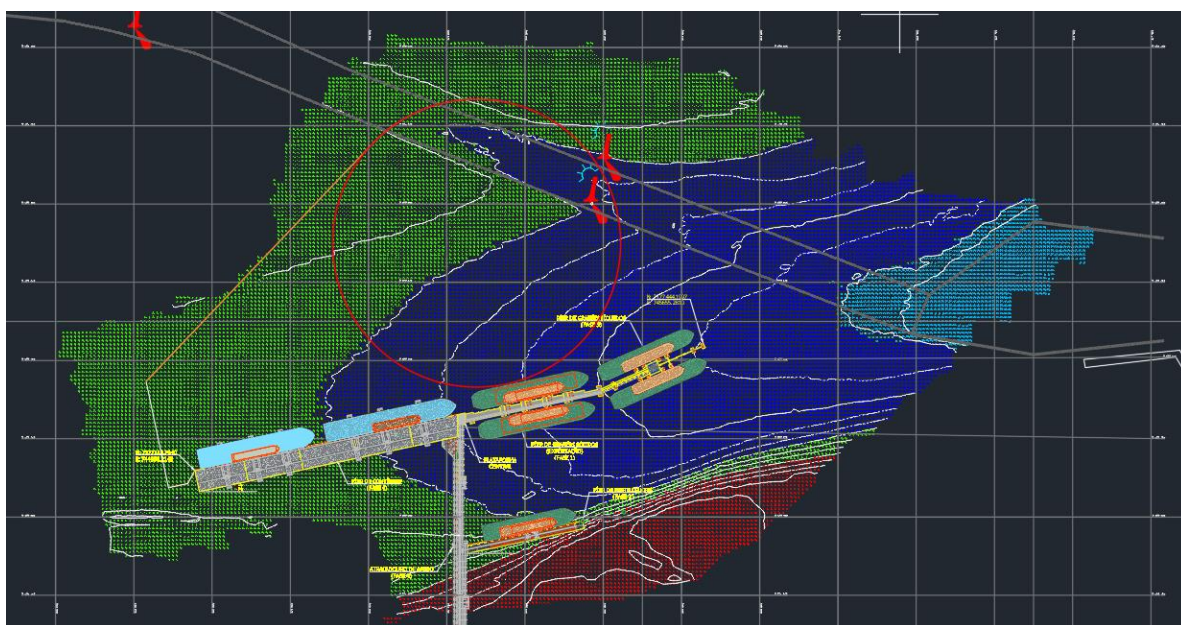


Figura 3 – Área do levantamento batimétrico realizado na área do Porto Guará, conforme /9/.





O critério para inclusão das informações batimétricas nos modelos foi o de utilizar os levantamentos batimétricos mais recentes. Em alguns casos, levantamentos mais antigos com maior cobertura espacial foram utilizados para complementar levantamentos mais recentes com menor cobertura. A Figura 4 ilustra o conjunto completo de pontos batimétricos gerado a partir da combinação dos levantamentos disponibilizados utilizando esse critério.

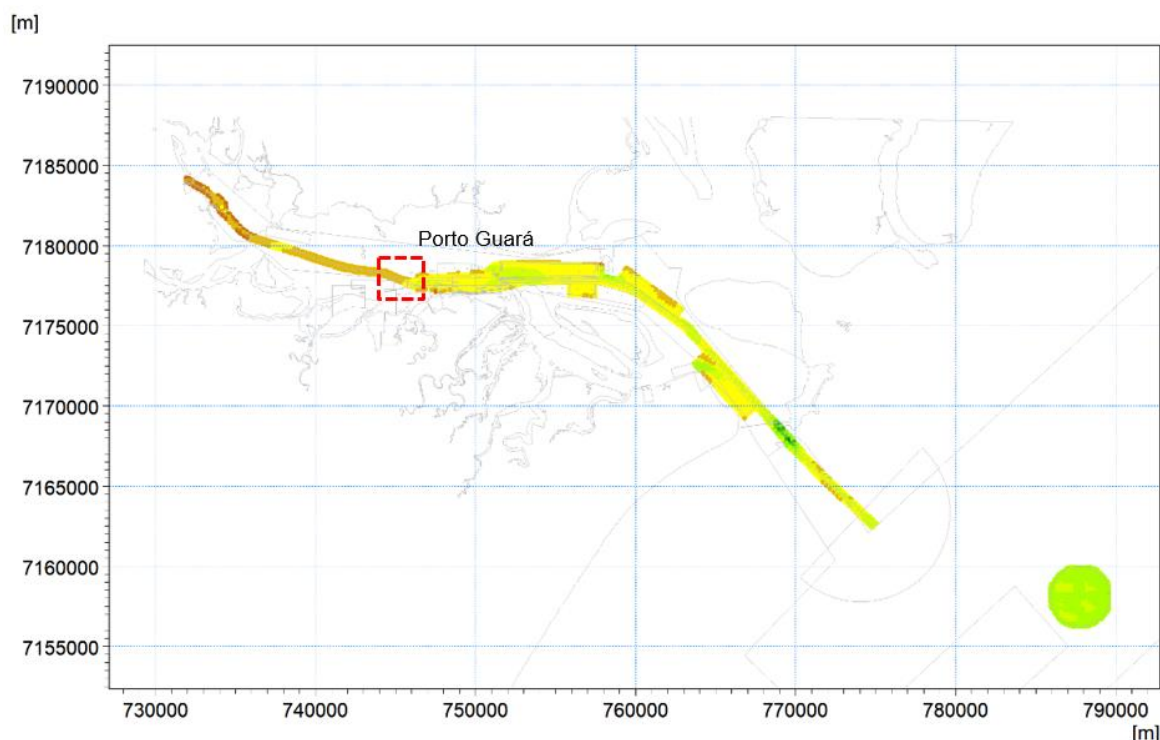


Figura 4 – Conjunto de dados batimétricos levantados disponibilizados ao estudo.

## 1.2 Informações sobre o sistema aquaviário

As características geométricas do sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina foram disponibilizadas pela APPA para inclusão nos modelos.

O acesso aos Portos de Paranaguá e Antonina é realizado atualmente através de um sistema aquaviário com comprimento total aproximado de 51,2km dividido em sete áreas cujas larguras variam entre 50 e 700 metros e profundidades operacionais (em relação ao Zero da DHN) entre 5,8 e 16 metros. As dimensões de cada área são apresentadas na Tabela 1 e a Figura 2 ilustra a disposição de cada trecho que compõe o sistema aquaviário.

Tabela 1 – Características das áreas que compõem o sistema aquaviário dos Portos de Paranaguá e Antonina, conforme /10/.

ÁREAS	COMPRIMENTO APROXIMADO (m)	LARGURA APROXIMADA (m)	PROFUNDIDADE PROJETO SEP/18 (m)	DESCRIÇÃO
ALFA	8.630	200	16,0	Entrada do Canal de Acesso, delta da maré de vazante.
BRAVO 1	6.050	150	15,0	Localizado entre Pontal do Sul e Ilha do Mel.
BRAVO 2	14.420	200	14,0	Localizado na Ilha Rasa da Cotinga até Terminal de Contêineres.
CHARLIE 1	3.100	500/700	14,0	Bacia de Evolução em frente aos berços públicos.
CHARLIE 2	2.582	50	VAR. (10,5 - 14,0)	Berços de Atracação do Cais Público.
CHARLIE 3	2.100	150/340	14,0	Bacia de Evolução do Terminal da FOSPAR e de inflamáveis (público e CATTALINI).
DELTA 1	12.900	110/130	10,0	Canal de Acesso à Antonina.
DELTA 2	980	110/450	10,0	Bacia de Evolução do Terminal Portuário Ponta do Félix (TPPF).
ECHO	400	130	5,8	Bacia de Evolução do Terminal Portuário Barão de Teffé.

COMPRIMENTO TOTAL (km)	51,2
------------------------	------

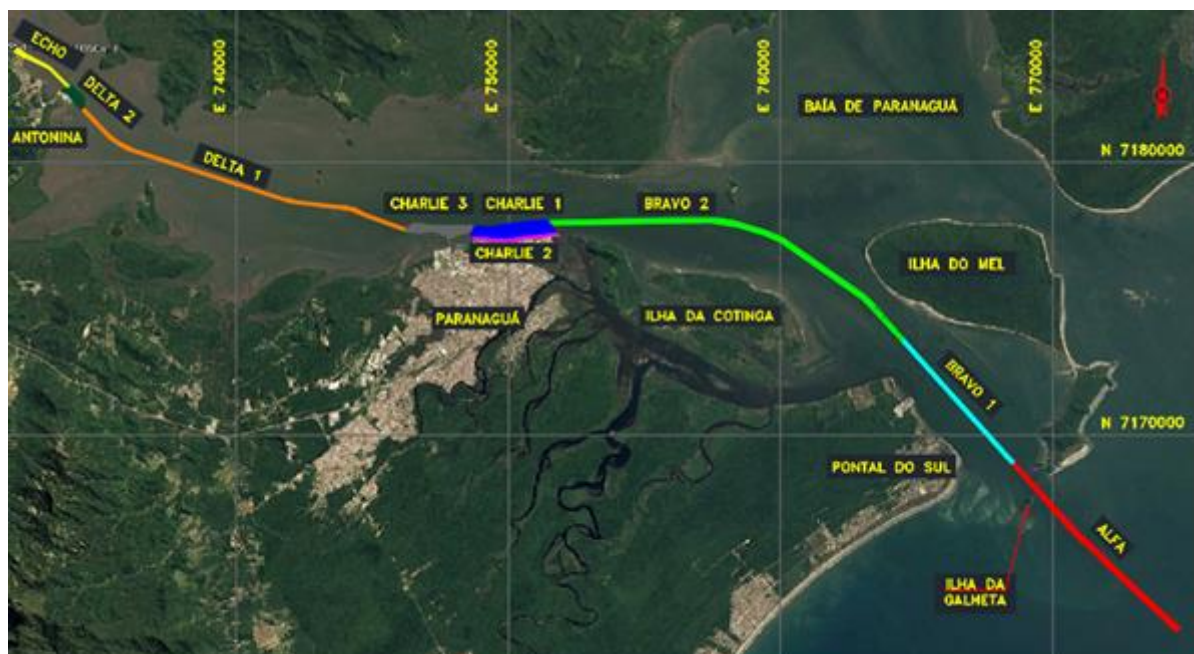


Figura 5 – Localização das áreas que compõem o sistema aquaviário, conforme /10/.

### 1.3 Informações sobre o projeto do Porto Guará

Os detalhes sobre o projeto do Porto Guará são apresentados na Seção 2 deste relatório.



## 1.4 Níveis de água (marés)

Informações sobre as variações dos níveis de água (marés) em diferentes localizações do Complexo Estuarino e área costeira adjacente foram disponibilizadas para o estabelecimento e calibração / validação do modelo hidrodinâmico.

Medições realizadas através de estações maregráficas localizadas em diferentes posições na área de estudo foram disponibilizadas. As coordenadas geográficas, períodos de medição e demais informações relevantes sobre cada estação são apresentadas na Tabela 2. A Figura 6 mostra a localização das estações e a Figura 7 e a Figura 8 ilustram os níveis de água medidos em cada uma delas.

Tabela 2 – Coordenadas geográficas e períodos das medições de níveis de água.

Estação	Coordenadas geográficas		Z <sub>0</sub> [cm]	Período de medição
	E [m]	N [m]		
N1: Marégrafo Galheta	769637,00	7169530,00	86,9	15/09/2017 – 08/06/2020
N2: Marégrafo Ilha das Cobras	758046,00	7179150,00	98,8	23/12/2019 – 16/06/2020
N3: Marégrafo Porto – Cais Oeste	748776,00	7177187,00	98,3	10/10/2013 – 08/11/2013 23/08/2018 – 08/06/2020
N4: Marégrafo Ponta do Felix	733681,00	7182520,00	112,1	28/06/2018 – 08/06/2020
N5: Marégrafo TCP	752023,00	7177287,00	Não informado	18/12/2019 – 31/05/2020
N6: Marégrafo SISMO-HMCAPIER	747440,00	7177397,00	107,8	28/08/2019 – 05/06/2020

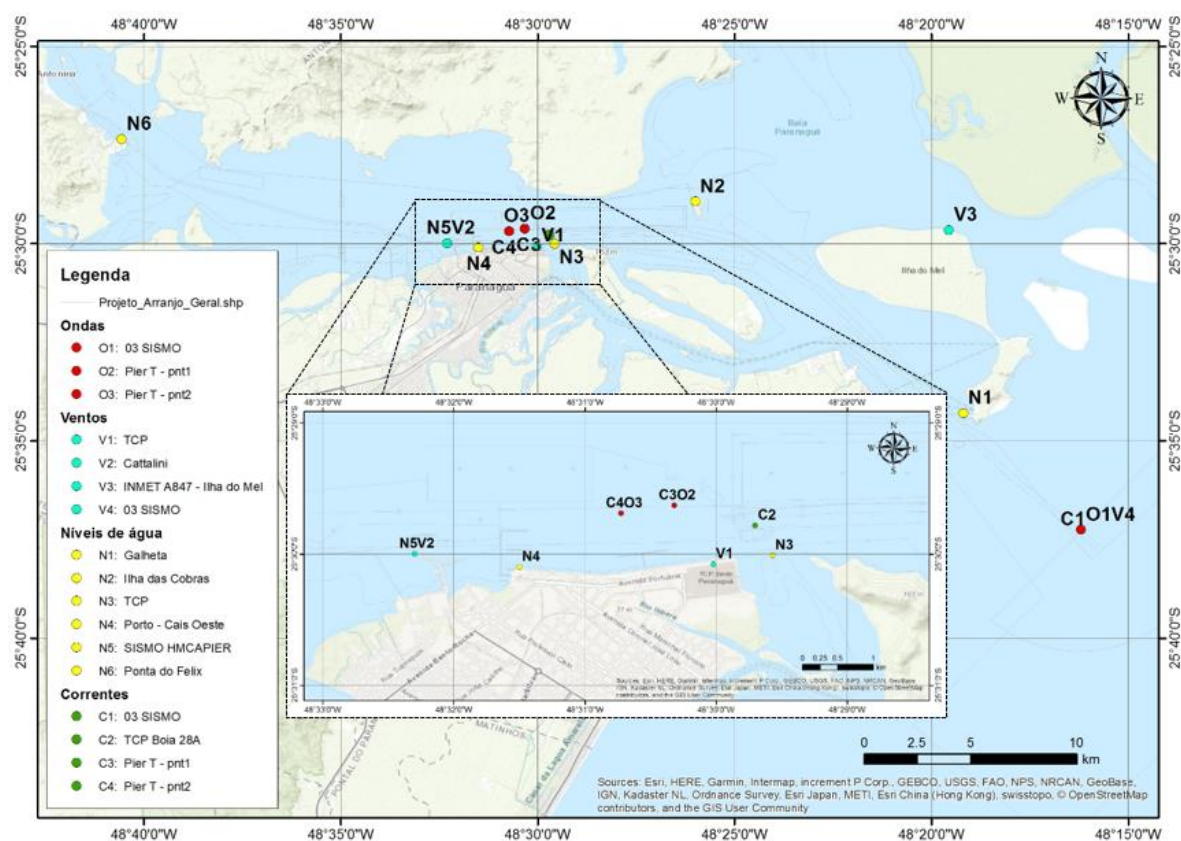


Figura 6 - Localização dos pontos de monitoramento cujos dados foram utilizados no estudo.

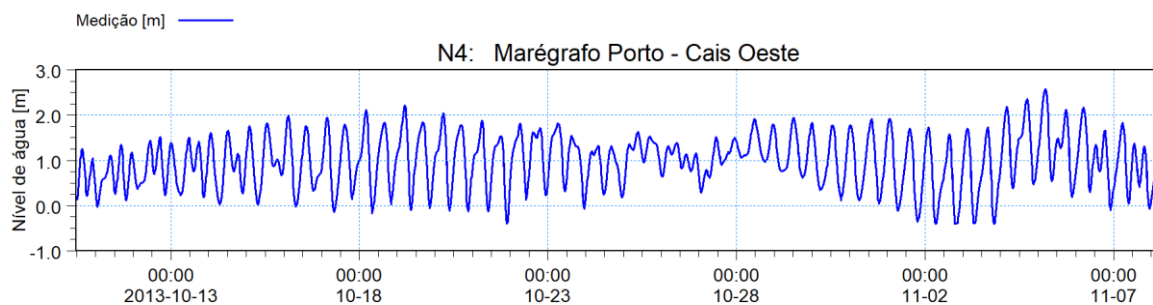


Figura 7 – Série temporal de níveis de água medidos no Porto de Paranaguá entre 10/10/2013 e 08/11/2013.

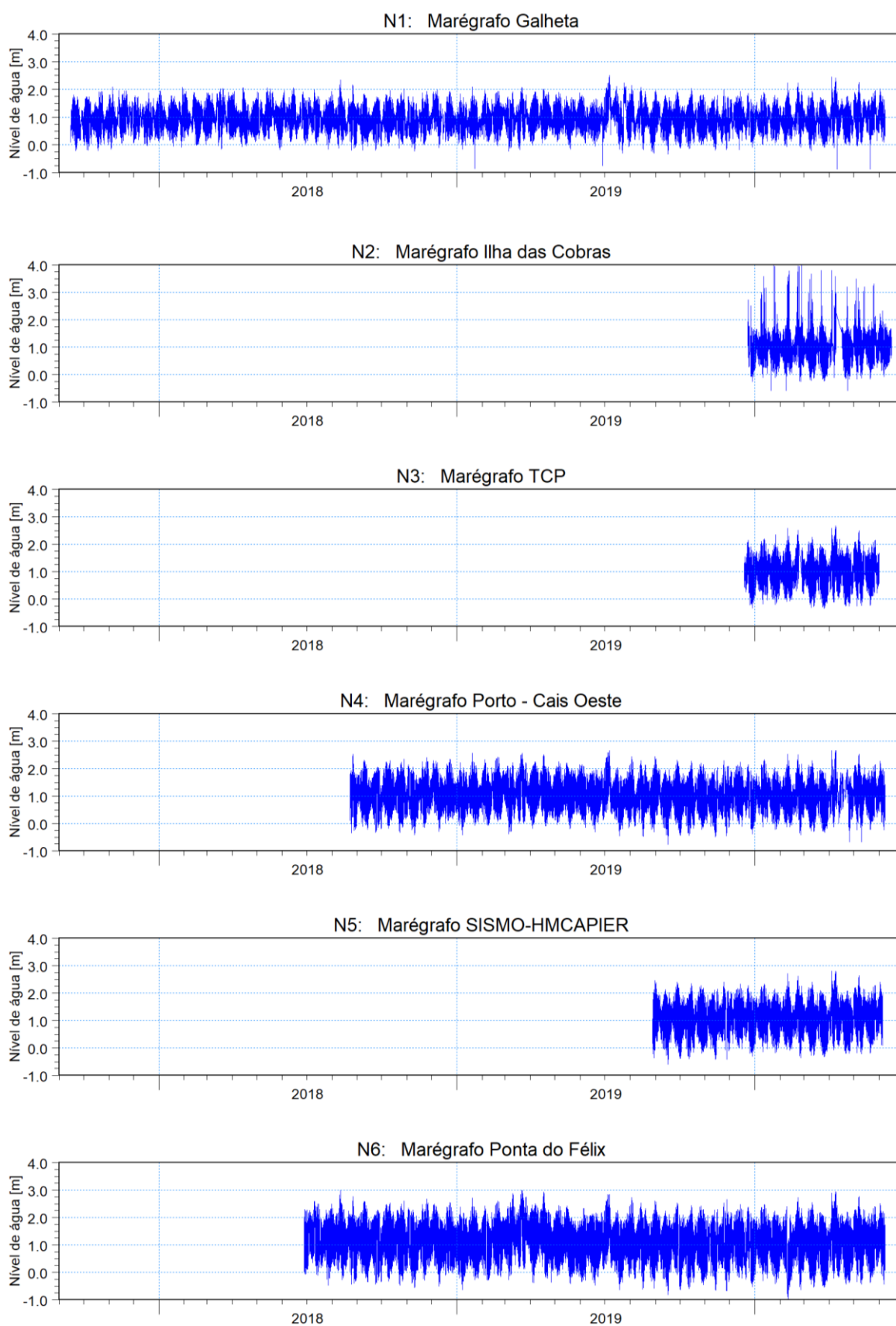


Figura 8 – Séries temporais de níveis de água medidos nas estações maregráficas.



Os níveis de água medidos através da estação maregráfica Galheta foram selecionados para utilização como condição de contorno do modelo em função de sua localização na costa e relativa proximidade com as fronteiras do modelo. Como os dados não cobrem o período de validação do modelo (ver Apêndice B para mais detalhes), uma análise harmônica foi realizada para a obtenção das constantes harmônicas representativas da maré na posição. Essas constantes foram utilizadas para gerar a maré astronômica que compõe a condição de contorno aplicada na simulação do período de validação. As constantes harmônicas são apresentadas na Tabela 3.

Os níveis de água medidos nos demais pontos foram utilizados para a comparação com os resultados do modelo durante os procedimentos de calibração e validação.

**Tabela 3 - Constantes harmônicas da Galheta obtidas a partir da análise harmônica.**

ID	Constante	Amplitude [m]	Fase [°]	ID	Constante	Amplitude [m]	Fase [°]
1	Z0	0,9104	0	36	H1	0,0323	109,93
2	SA	0,0485	134,86	37	M2	0,3718	175,03
3	SSA	0,0186	227,65	38	H2	0,0336	264,72
4	MSM	0,0063	115,92	39	MKS2	0,0185	88,7
5	MM	0,0056	256,29	40	LDA2	0,0006	131,06
6	MSF	0,0077	177,54	41	L2	0,0149	132,91
7	MF	0,0052	308,13	42	T2	0,0242	277,82
8	ALP1	0,002	345,3	43	S2	0,2491	182,09
9	2Q1	0,0045	87,31	44	R2	0,0153	103,35
10	SIG1	0,0039	114,17	45	K2	0,0838	162,21
11	Q1	0,0292	95,4	46	MSN2	0,0043	11,09
12	RHO1	0,0063	101,37	47	ETA2	0,0064	181,98
13	O1	0,1115	124,28	48	MO3	0,0264	208,44
14	TAU1	0,0008	254,4	49	M3	0,0666	10,49
15	BET1	0,0014	243,01	50	SO3	0,0283	290,65
16	NO1	0,0094	173,44	51	MK3	0,039	258,92
17	CHI1	0,0017	200,61	52	SK3	0,0198	60,82
18	PI1	0,0034	203,64	53	MN4	0,0321	321,72
19	P1	0,0214	184,14	54	M4	0,0704	4,83
20	S1	0,0227	12,02	55	SN4	0,0071	17,96
21	K1	0,0609	185,95	56	MS4	0,0315	88,09
22	PS1	0,0019	311,39	57	MK4	0,0099	76,08
23	PH1	0,0015	90,88	58	S4	0,0033	108,8
24	THE1	0,0027	154,87	59	SK4	0,0035	100,24
25	J1	0,0005	201,2	60	2MK5	0,0016	326,41
26	SO1	0,0006	132,7	61	2SK5	0,0011	260,15
27	OO1	0,0035	344,03	62	2MN6	0,0033	275,88
28	UPS1	0,0012	107,15	63	M6	0,0045	312,35
29	OQ2	0,0022	240,46	64	2MS6	0,0077	339,8
30	EPS2	0,0036	195,91	65	2MK6	0,0031	322,41
31	2N2	0,0208	241,22	66	2SM6	0,0042	38,91
32	MU2	0,0244	207,4	67	MSK6	0,004	17,9
33	N2	0,0583	240,66	68	3MK7	0,0011	24,56
34	NU2	0,01	282,33	69	M8	0,001	334,55
35	GAM2	0,0155	146,12				

## 1.5 Correntes

Perfis verticais de intensidade e direção de corrente medidos no interior do complexo estuarino foram disponibilizados para o estudo. As medições foram realizadas por perfiladores acústicos de correntes (ADCPs) instalados em diferentes posições ao longo do canal de acesso. As coordenadas geográficas e períodos de medição em cada ponto de medição são apresentados na Tabela 4. A





localização dos pontos de medição é indicada na Figura 6 e as séries temporais de intensidade e direções das correntes medidas nesses pontos são apresentadas na Figura 9 e na Figura 10.

Tabela 4 - Coordenadas geográficas e períodos das medições de perfis verticais de correntes.

Ponto de medição	Coordenadas geográficas		Período de medição
	E [m]	N [m]	
C1: ADCP Boia 03 SISMO	774148,00	7163460,00	11/06/2019 – 10/06/2020
C2: ADCP Boia 28A	751806,00	7177714,00	20/12/2019 – 31/05/2020
C3: ADCP Píer "T" pt 1	750773,00	7178018,00	07/12/2013 – 21/12/2013
C4: ADCP Píer "T" pt 2	750092,00	7177918,00	23/10/2013 – 08/11/2013

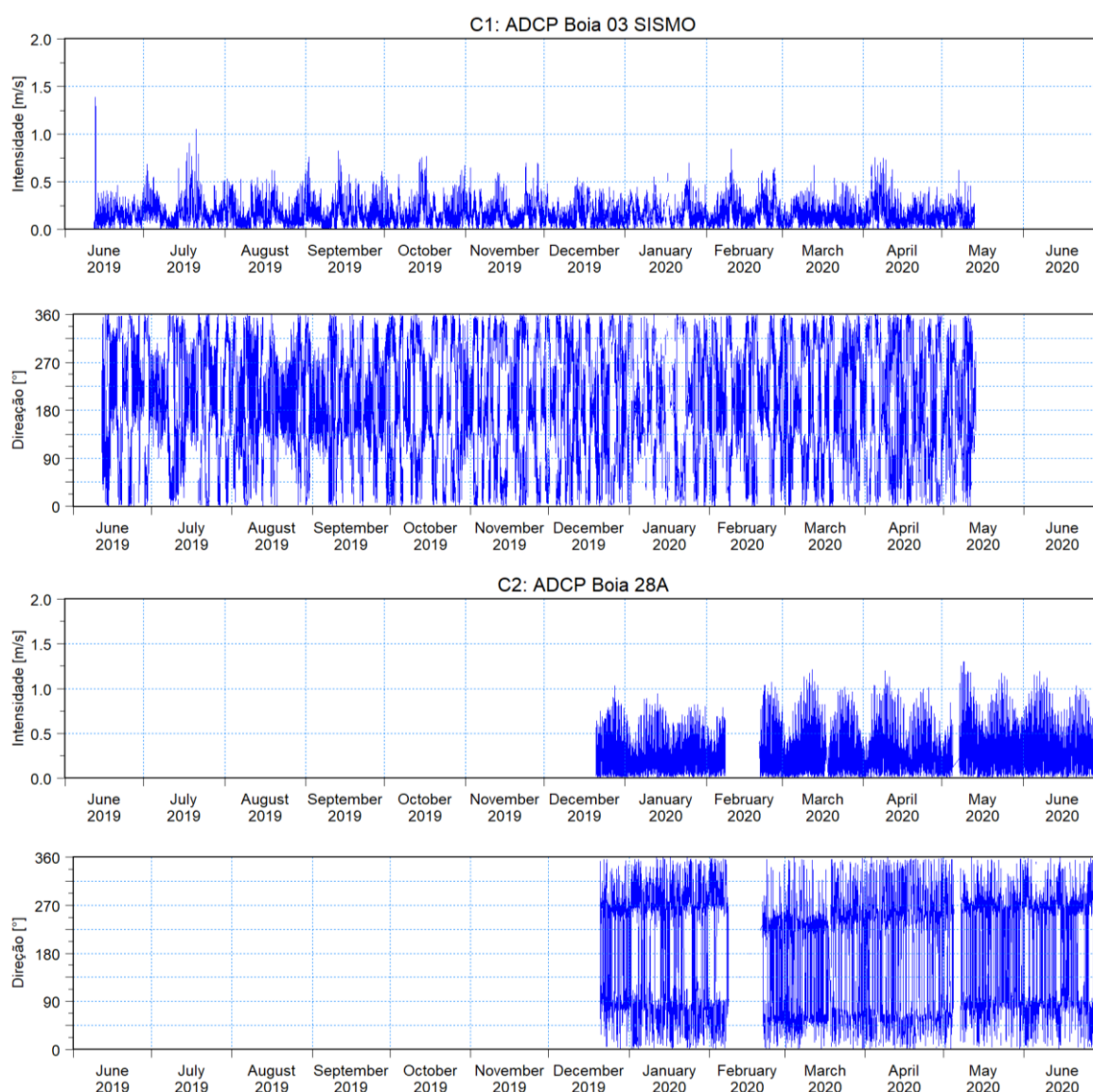


Figura 9 – Séries temporais de intensidade e direção das correntes medidas na boia 03 SISMO (acima) e na boia 28A (abaixo).

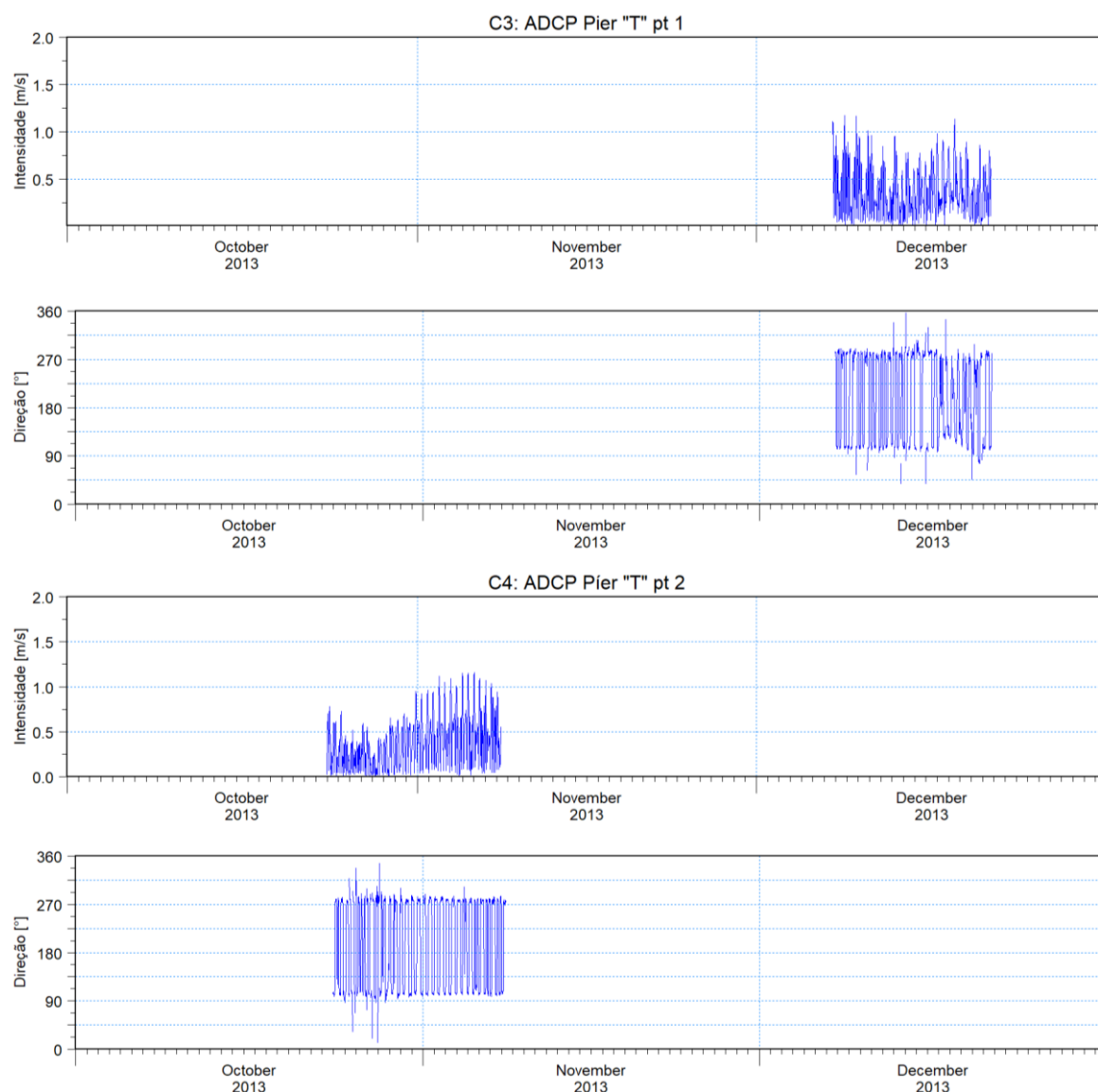


Figura 10 – Séries temporais de intensidade e direção das correntes medidas pelo ADCP Píer "T" nos pontos 1 (acima) e 2 (abaixo).

As correntes medidas pelos ADCPs descritos nesta seção foram utilizadas na comparação com os resultados do modelo durante os procedimentos de calibração e validação do modelo hidrodinâmico.

## 1.6 Ventos

Dados de ventos medidos através de estações instaladas no TCP, na Cattalini Terminais Marítimos e na Ilha do Mel foram utilizados como forçantes nos modelos hidrodinâmico e de transformação de ondas. As coordenadas geográficas e períodos de medição das estações são apresentados na Tabela 5. A localização das estações é indicada na Figura 6.



Tabela 5 – Coordenadas geográficas e períodos das medições de intensidade e direção de ventos.

Estação	Coordenadas geográficas		Período de medição
	E [m]	N [m]	
V1: TCP	751259,00	7177181,00	01/06/2019 – 31/05/2020
V2: Cattalini	747439,00	7177396,00	01/07/2019 – 05/06/2020
V3: INMET A847 – Ilha do Mel	768821,00	7177599,00	01/10/2013 – 30/12/2013

As estações meteorológicas instaladas no TCP e na Cattalini são localizadas próximas uma da outra e seus dados cobrem praticamente o mesmo período. Por possuir menor quantidade de falhas, os dados do TCP foram selecionados para uso nos modelos e seus períodos com falhas foram preenchidos com dados medidos através da estação da Cattalini. As séries temporais de intensidade e direção dos ventos medidas no TCP e na Ilha do Mel são apresentadas na Figura 11 e Figura 12, respectivamente.

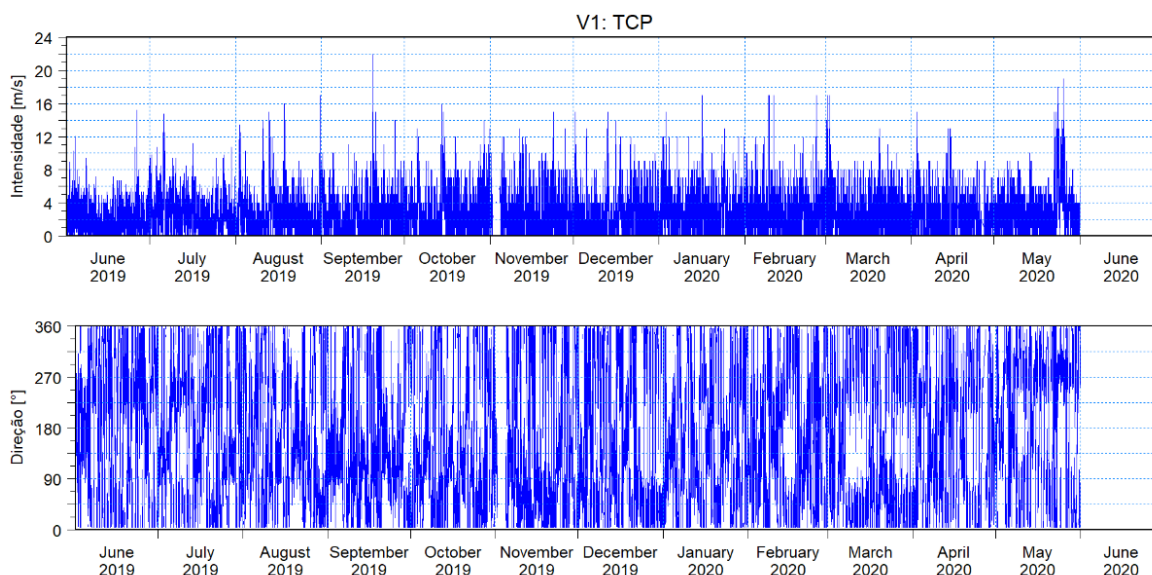


Figura 11 – Séries temporais de intensidade e direção dos ventos medidos no TCP.

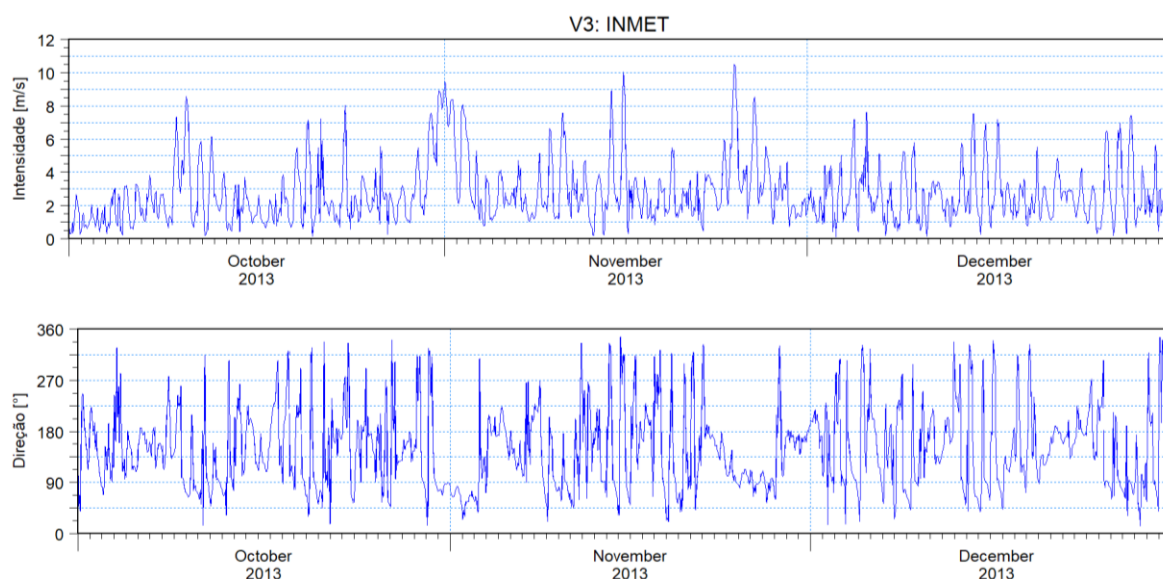


Figura 12 – Séries temporais de intensidade e direção dos ventos medidos na Ilha do Mel (INMET).

## 1.7 Ondas

Os dados de ondas medidos na boia instalada na entrada do complexo estuarino (boia 03 SISMO) e do ADCP instalado nas proximidades do Porto de Paranaguá (Pier “T”) foram utilizados para a calibração e validação do modelo de transformação de ondas, respectivamente. As coordenadas geográficas e os períodos de cobertura dos dados medidos nessas duas posições são informados na Tabela 6 e as localizações dos pontos é indicada na Figura 6. As séries temporais de altura significativa de onda, período de pico e direção de pico são apresentadas na Figura 13 e na Figura 14.

Tabela 6 - Coordenadas geográficas e períodos das medições de ondas.

Ponto de medição	Coordenadas geográficas		Período de medição
	E [W]	N [S]	
O1: ADCP Boia 03 SISMO	774148,00	7163460,00	11/06/2019 – 10/06/2020
O2: ADCP Pier “T” pt 1	750773,00	7178018,00	07/12/2013 – 21/12/2013

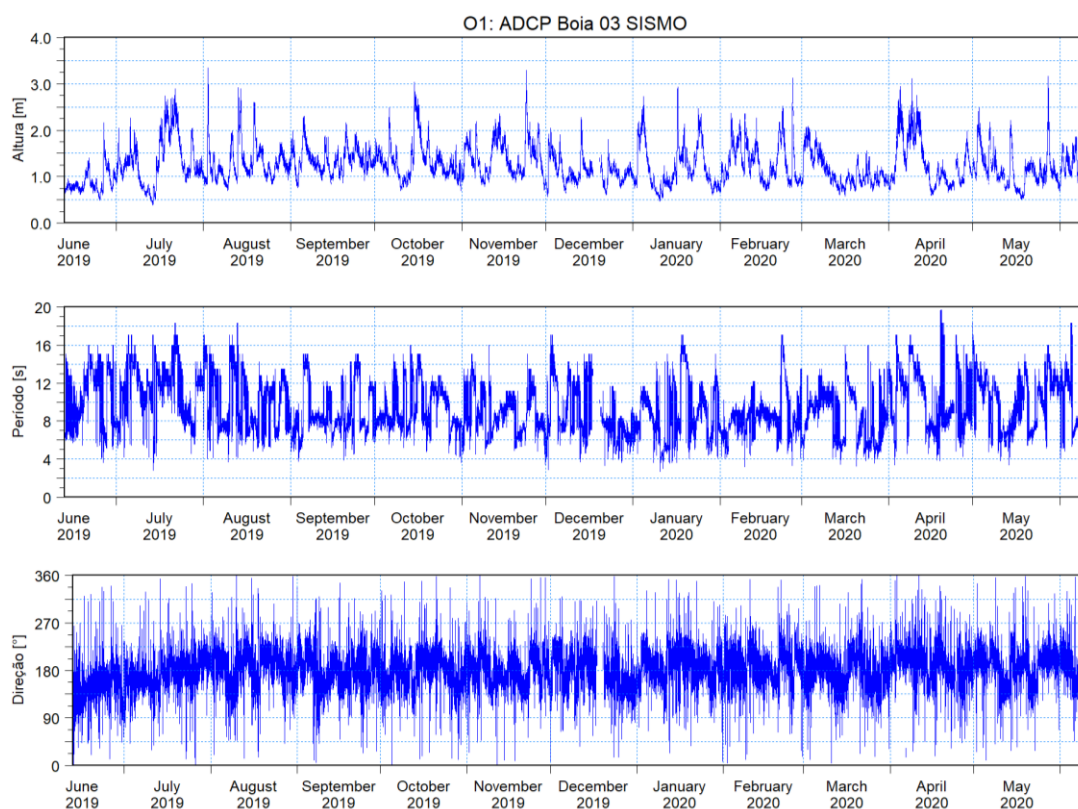


Figura 13 – Séries temporais de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas medidas na posição da boia 03 SISMO.

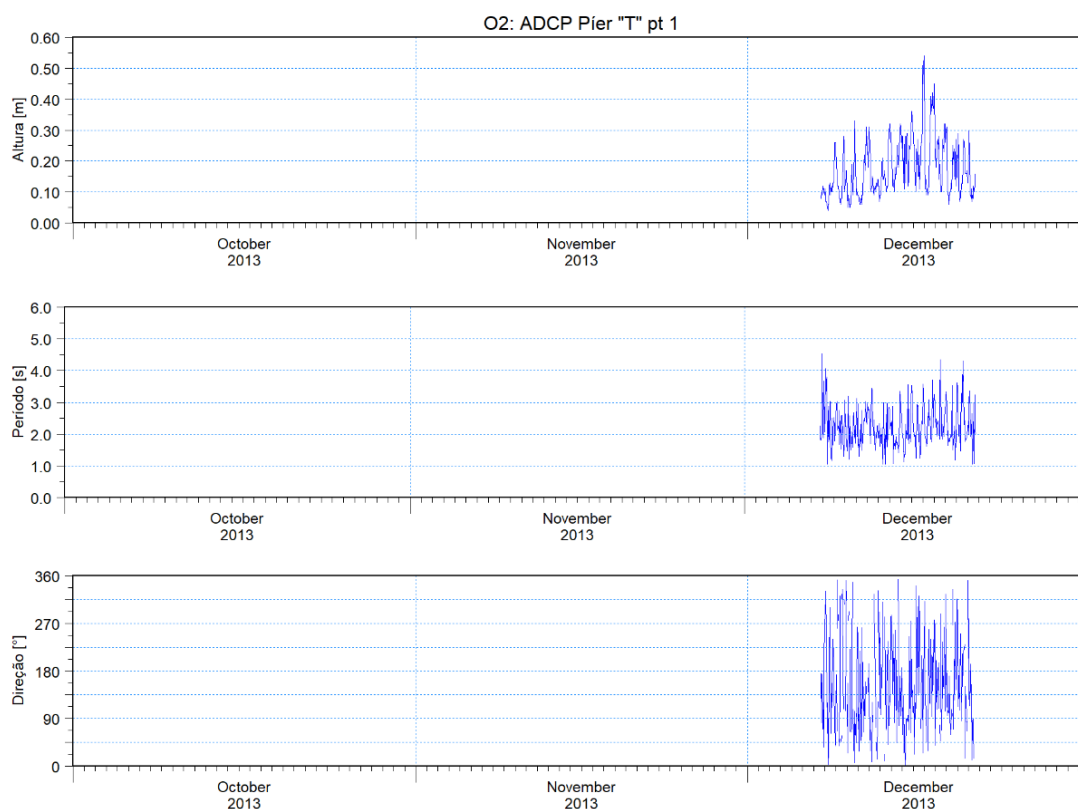


Figura 14 – Séries temporais de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas medidas na posição do ADCP Pier "T" pt 1.

As condições de ondas *offshore* foram obtidas do modelo WAVEWATCH III (WW3) fornecido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Os dados do WW3 são uma fonte reconhecida e confiável de dados de ondas que tem sido usada em muitas aplicações no mundo inteiro.

As condições de ondas *offshore* combinadas (*sea* e *swell*) extraídas do WW3 na coordenada geográfica [48°W; 26°S] foram inseridas como condição de contorno nas fronteiras do modelo.

Os dados de *hindcast* do WW3 são usualmente disponibilizados através do *website* do Environmental Modelling Center (EMC) da NOAA, /9/, na forma de parâmetros combinados de ondas *offshore* (*sea* e *swell*) a intervalos de 3 horas. Entretanto, a suspensão temporária da produção de dados de *hindcast* impossibilitou a obtenção de dados do EMC para períodos após maio de 2019. Para suprir a indisponibilidade no EMC de dados mais recentes, recorreu-se aos dados de *hindcast* de ondas do WW3 disponibilizados pelo *Integrated Ocean Observing System* (IOOS) da NOAA, /12/. No IOOS os parâmetros combinados de ondas (*sea* e *swell*) são disponibilizados a intervalos de 6 horas.

As séries temporais dos parâmetros de ondas *offshore* obtidas do WW3 são apresentadas na Figura 15 e Figura 16. Os períodos de pico das ondas obtidas do WW3 do IOOS, /12/, são aparentemente subestimados em relação aos períodos de onda observados na região. Por isso, seus valores foram majorados para inclusão como condições de contorno no modelo de ondas, conforme explicado na Seção 1.6 do Apêndice C.

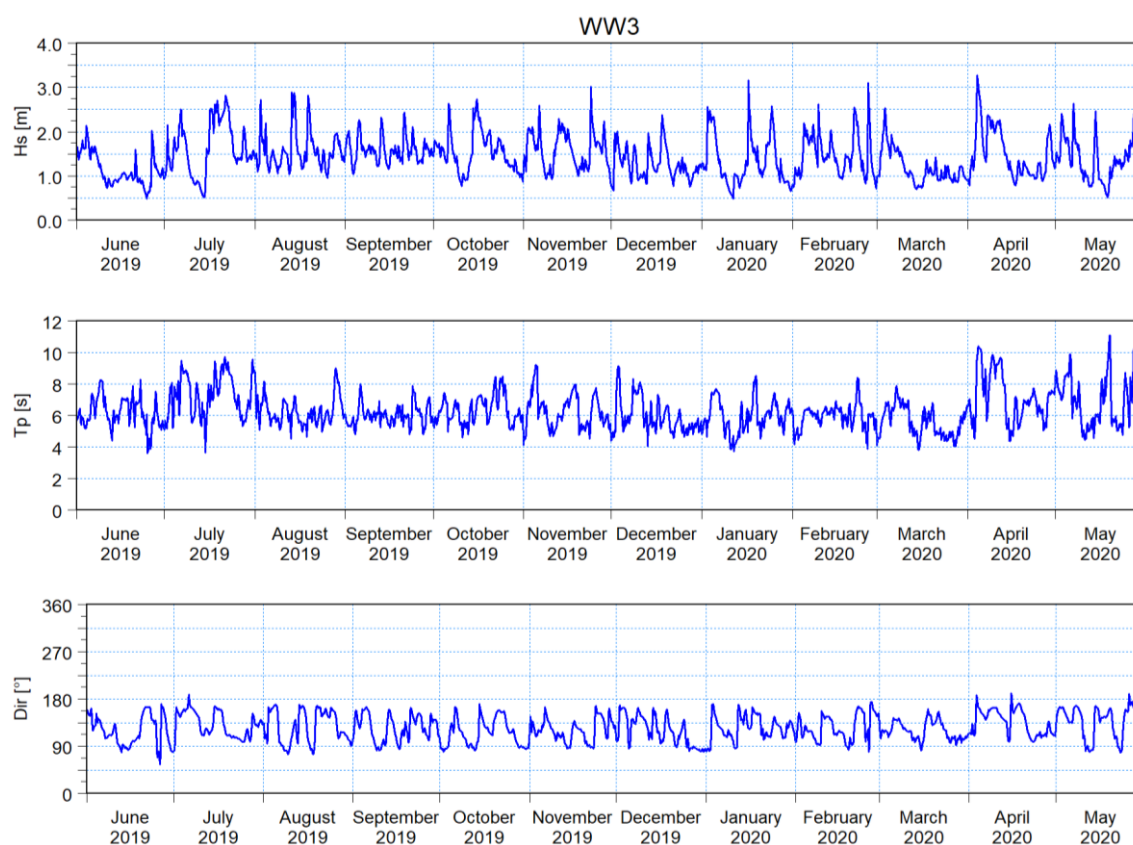


Figura 15 – Séries temporais de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas *offshore* do WW3, /12/, entre junho de 2019 e maio de 2020. O período de calibração do modelo de ondas cobre o mês de abril/2020.



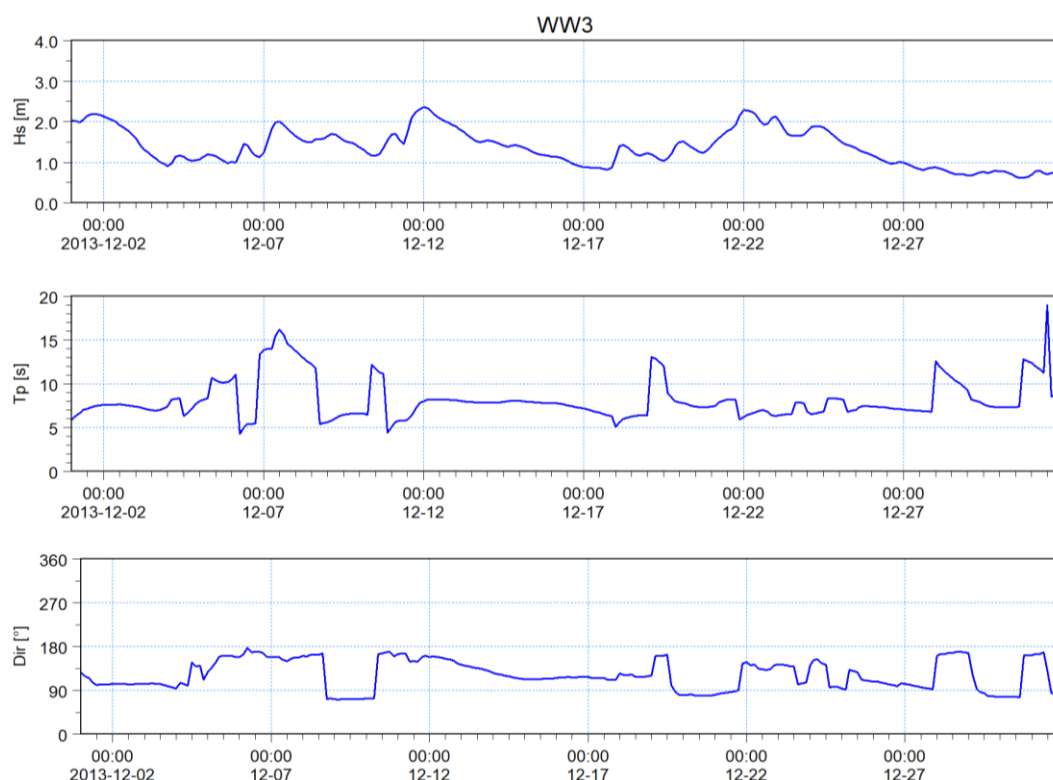


Figura 16 – Séries temporais de altura significativa, período de pico e direção de pico das ondas *offshore* do WW3, /12/, utilizadas na validação do modelo de ondas.

## 1.8 Aportes fluviais

As vazões médias mensais dos principais rios que deságuam no complexo estuarino foram calculadas a partir dos dados disponíveis no Sistemas de Informações Hidrológicas do Instituto das Águas do Paraná, /13/. As vazões calculadas utilizadas como condição de contorno do modelo hidrodinâmico são apresentadas na Figura 17.

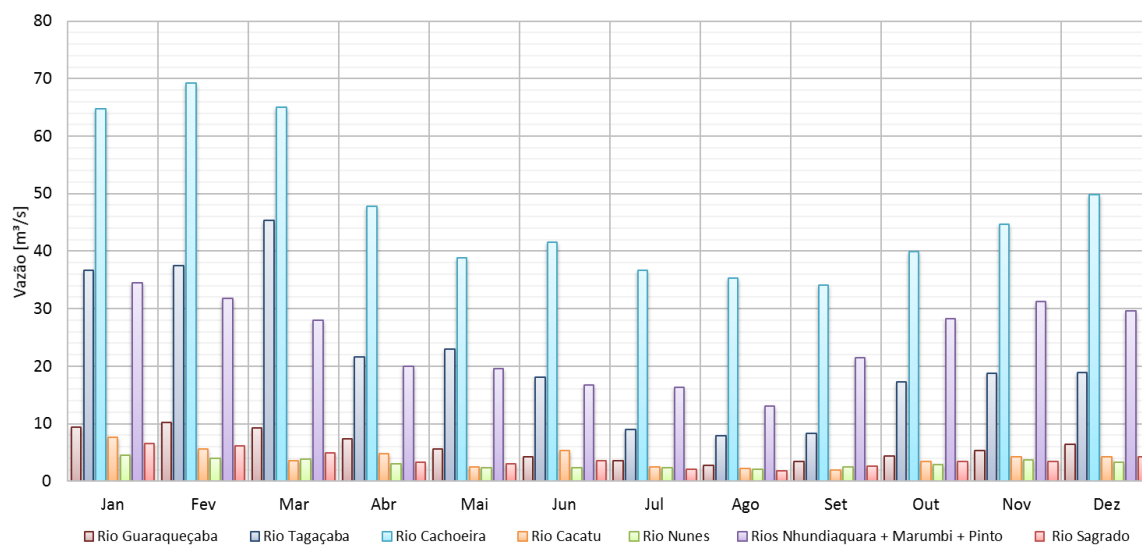


Figura 17 – Vazões médias mensais dos principais rios que deságuam no complexo estuarino de Paranaguá.

*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*



## 2 Referências

- /1/ Diretoria de Hidrografia e Navegação. Proximidades da Barra de Paranaguá. Carta Náutica nº 1820. 2020.
- /2/ Diretoria de Hidrografia e Navegação. Barra de Paranaguá. Carta Náutica nº 1821. 2020.
- /3/ Diretoria de Hidrografia e Navegação. Portos de Paranaguá e Antonina. Carta Náutica nº 1822. 2020.
- /4/ Diretoria de Hidrografia e Navegação. De Santos a Paranaguá. Carta Náutica nº 23200. 2018
- /5/ Desenho da geometria atual do sistema aquaviário disponibilizado através do arquivo APPA-Mapa Base\_200115.dwg
- /6/ Levantamentos batimétricos categoria B, realizados pela empresa “Isobatica Serviços Marítimos” entre 25/11/2019 e 11/12/2019:
  - ALFA - PB 1821-01\_356\_2019\_CHM
  - BRAVO 1 - PB 1821-2\_356\_2019\_CHM
  - BRAVO 2 - PB 1821-3\_356\_2019\_CHM
  - SURDINHO - PB 1821-04\_356\_2019\_CHM
  - C1 BACIA+C2+SURDINHO - PB 1821-05\_356\_2019\_CHM
  - C2 Az01 ao Az08 - PB 1821-06\_356\_2019\_CHM
  - C2 Az09 ao Az14 - PB 1821-07\_356\_2019\_CHM
  - C2 TCP - PB 1821-08\_356\_2019\_CHM
  - C3 BACIA+TERMINAIS - PB 1821-09\_356\_2019\_CHM
  - C3 Cattalini - PB 1821-11\_356\_2019\_CHM
  - C3 FOSPAR - PB 1821-10\_356\_2019\_CHM
  - C3 Petrobras - PB 1821-12\_356\_2019\_CHM
- /7/ Levantamento batimétrico executado nas áreas de fundeio em agosto de 2017, disponibilizado na forma de arquivo XYZ:
  - 2017-agosto F61-62 COM FASE.xyz
- /8/ Levantamentos batimétricos executados na Ponta do Félix entre 09/04/2015 e 04/12/2018, disponibilizados na forma de arquivos XYZ:
  - 2015-04-09 PFELIX 11-12 a 15-16.xyz
  - 2015-08-07 pfelix 1-2 a 5-6 com fase.xyz
  - 2015-08-17 Bacia Pfelix.xyz
  - 2016-05-17 pfelix 1-2 a 5-6.xyz
  - 2016-05-19 pfelix 1-2 a 5-6.xyz
  - 2016-Agosto Pfelix 11-12 a 15-16.xyz
  - 2016-Julho-Bacia pfelix.xyz
  - 2017-09-13 CAIS PFELIX.xyz
  - 04.12.2018 Cais P. Felix.xyz
  - 2018-01-25 Pfelix 1-2.xyz
  - 2018-01-25 pfelix 3-4.xyz
  - 2018-01-25 pfelix 5-6.xyz
  - 2018-01-26 pfelix cais.xyz
  - CAIS pfelix.xyz
- /9/ BELOV Engenharia, 2019. Porto Guará Infraestrutura SPE S/A. Levantamento Batimétrico Multifeixe. Mapeamento da Zona de Interesse de Expansão Portuária – ZIEP. 01.HID.018/19-DW.HID.001. Rev. 00. 26/07/2019.

- /10/ Consórcio EXE Engenharia / BELOV, 2020. Projeto de Aprofundamento de Canais e Fundeadouros – APPA. Estudo das Condições Meteo-oceanográficas. Relatório Técnico RT-015.6293-101-01-001. Rev. 0.
- /11/ Environmental Modeling Center da NOAA. WAVEWATCH III hindcasts:  
<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/hindcasts/>
- /12/ Integrated Ocean Observing System da NOAA. EDS Model: WAVEWATCH III hindcasts:  
<https://eds.ioos.us/Asa>
- /13/ Instituto das Águas do Paraná. Sistemas de Informações Hidrológicas: [www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br](http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br)



# 1 Modelo hidrodinâmico

Este Apêndice descreve o modelo hidrodinâmico estabelecido para apoiar as análises desenvolvidas neste trabalho.

## 1.1 Abordagem de modelagem

As condições hidrodinâmicas no Complexo Estuarino de Paranaguá foram estimadas através da aplicação de um modelo hidrodinâmico bidimensional (2D) capaz de representar o comportamento das correntes e níveis de água em resposta à ação das marés, ventos e descargas dos principais rios afluentes.

A opção por um modelo hidrodinâmico 2D integrado ao longo da profundidade é justificada pela possibilidade de se obter uma melhor resolução horizontal com baixo custo computacional em comparação com um modelo 3D. O uso de um modelo 3D é recomendado para aplicações onde os efeitos de estratificação são importantes, por exemplo, em estuários onde a estratificação de fluxo ocorre devido a gradientes de salinidade. Para o presente caso, os processos físicos dominantes estão relacionados à advecção causada pelos fluxos de maré e ventos ao longo da costa. Esses fenômenos são bem resolvidos através do modelo hidrodinâmico 2D aplicado neste estudo.

A aplicação do modelo hidrodinâmico ocorreu em duas etapas. Em uma primeira etapa o modelo foi configurado para representar as condições atuais em dois períodos distintos para os quais foram disponibilizadas observações de campo. Nesta etapa, dividida entre calibração e validação, o modelo foi primeiramente ajustado buscando a melhor representação do primeiro período de observações selecionado através do procedimento de calibração. Em seguida, o modelo calibrado foi confrontado com o segundo período de observações selecionado visando validar a sua capacidade de representar as condições observadas distintas da primeira e provenientes de outras fontes de dados. Esta etapa requereu uma quantidade significativa de simulações até que fosse confirmada a capacidade do modelo em representar os dois períodos de observação com os mesmos parâmetros de ajuste. Ao final do processo obteve-se um modelo mais robusto capaz de gerar resultados com menor grau de incerteza. Os seguintes períodos foram simulados nessa etapa:

- Calibração: 01/04/2020 a 01/05/2020;
- Validação: 10/10/2013 a 21/12/2013.

Finalmente, na segunda etapa, o modelo calibrado / validado foi modificado para incluir a bacia portuária e demais estruturas do Porto Guará, nas suas duas fases de implantação, visando prever as condições hidrodinâmicas após a implantação do empreendimento. Para cada fase de implantação foram simuladas duas condições meteo-oceanográficas distintas cobrindo o período de 30 dias cada, a saber:

- Inverno: 01/07/2019 a 01/08/2019;
- Verão: 31/01/2020 a 01/03/2020.

Os períodos acima foram simulados visando cobrir as possíveis variações sazonais das condições meteo-oceanográficas na área de interesse.

A base de dados utilizada para estabelecer os modelos aplicados neste estudo é apresentada no Apêndice A.

## 1.2 Ferramenta de modelagem selecionada

O sistema de modelagem MIKE 21 FM (*Flexible Mesh*) foi selecionado para este estudo, uma vez que considera todos os mecanismos e processos relevantes para a simulação das condições hidrodinâmicas no Complexo Estuarino de Paranaguá. O sistema tem amplo histórico de aplicações e têm sido utilizados para uma variedade de projetos desta natureza.

O módulo hidrodinâmico do sistema MIKE 21 *Flow Model* FM foi aplicado com o objetivo de representar o escoamento na área de estudo. O módulo é baseado na solução numérica das equações bidimensionais de Navier-Stokes, invocando as hipóteses de Boussinesq e de pressão hidrostática. O modelo consiste nas equações da continuidade, quantidade de movimento, temperatura, salinidade e densidade. O módulo simula as variações do nível de água e escoamentos como resposta a uma variedade de forçantes em lagos, rios, estuários e áreas costeiras. Os seguintes efeitos podem ser incluídos:

- Tensão de cisalhamento no fundo;
- Tensão de cisalhamento pelo vento;
- Gradientes barométricos e barotrópicos;
- Força de Coriolis;
- Dispersão de momentum;
- Fontes e sumidouros;
- Troca de calor com a atmosfera;
- Evaporação;
- Alagamento e secamento.

Mais detalhes sobre o sistema de modelagem MIKE 21 FM e módulos associados podem ser obtidos em [www.mikepoweredbydhi.com](http://www.mikepoweredbydhi.com).

## 1.3 Domínio e malha computacional

O domínio de modelagem, comum aos modelos aplicados neste estudo, cobriu todo o Complexo Estuarino e a área costeira adjacente. Possui cerca de 105 km de extensão no sentido Noroeste-Sudeste e 115 km no sentido Sudoeste-Nordeste.

A discretização horizontal do modelo foi feita através de uma malha flexível composta de elementos triangulares e quadrangulares com dimensões variando entre 50 m no canal de acesso e 2,5 km na área costeira.

A Figura 1 ilustra o domínio e malha do modelo e a Figura 2 ilustra o detalhe da malha na área do Porto.



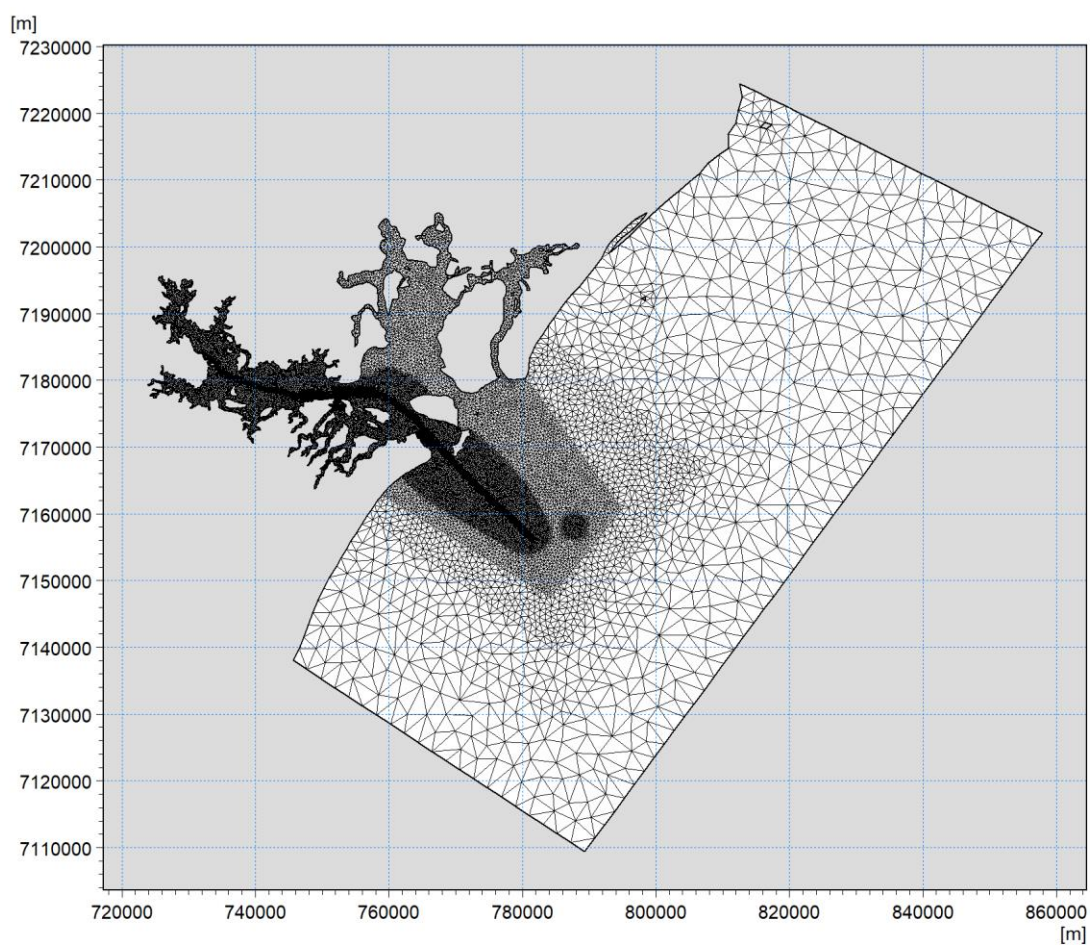


Figura 1 – Visão geral do domínio e malha do modelo.

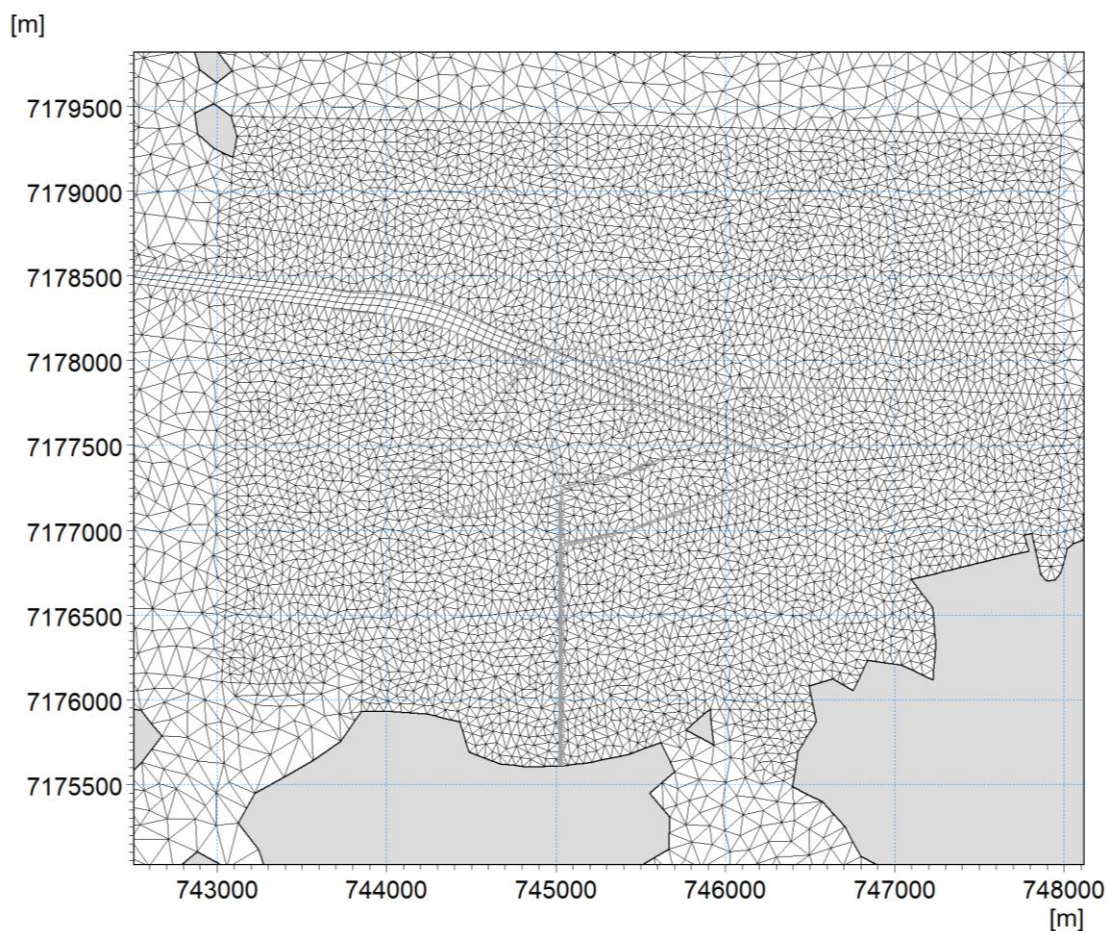


Figura 2 – Detalhe da malha do modelo na área do Porto.

## 1.4 Batimetria e contornos terrestres do modelo

As informações batimétricas e as características geométricas do canal de acesso descritas no Apêndice A foram utilizadas para gerar a batimetria do modelo.

As cartas náuticas e levantamentos batimétricos disponíveis são carentes de informações em algumas áreas internas do Complexo Estuarino. Não há informações batimétricas disponíveis em grande parte dos canais e rios que deságuam no complexo e em algumas baías e enseadas, tais como a Baía das Laranjeiras. Da mesma forma, não são conhecidas as extensões e profundidades dos manguezais existentes nos trechos interiores do complexo estuarino.

As profundidades ao longo dos canais e rios não contemplados pelas informações das cartas náuticas e levantamentos disponíveis foram estimadas de forma aproximada a partir de informações batimétricas conhecidas.

A delimitação das áreas de manguezais foi realizada visualmente a partir de imagens de satélite do *Google Earth*. Para essas áreas assumiu-se que as profundidades nas extremidades superiores correspondem ao nível das médias das preamares de sizígia, que são da ordem de 1,5 m na região. Nas extremidades inferiores dos manguezais foi atribuída a profundidade correspondente ao nível médio do mar. A Figura 3 ilustra o procedimento utilizado.

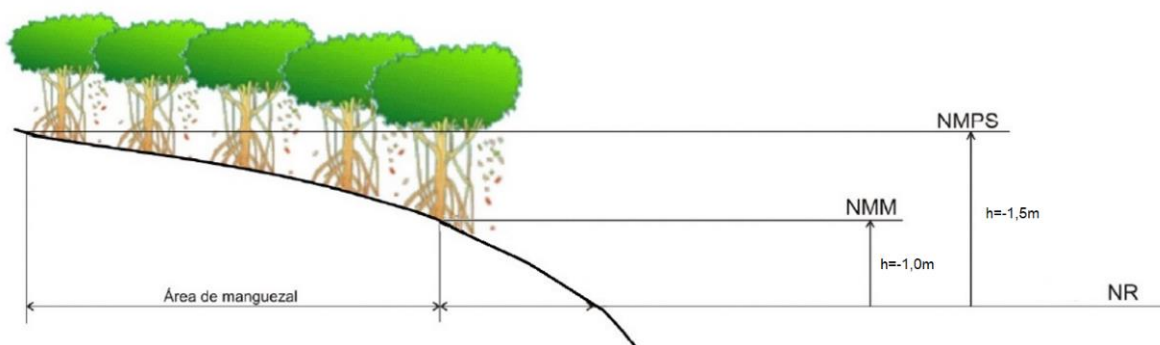


Figura 3 – Procedimento utilizado para estimar as profundidades nas áreas dos manguezais e planícies alagáveis. Imagem adaptada de /1/.

Uma visão geral da batimetria interpolada utilizada no modelo é apresentada na Figura 4. Os detalhes da batimetria na área do Porto para a condição atual e para as condições previstas nas fases 1 e 2 do empreendimento são apresentados na Figura 5.

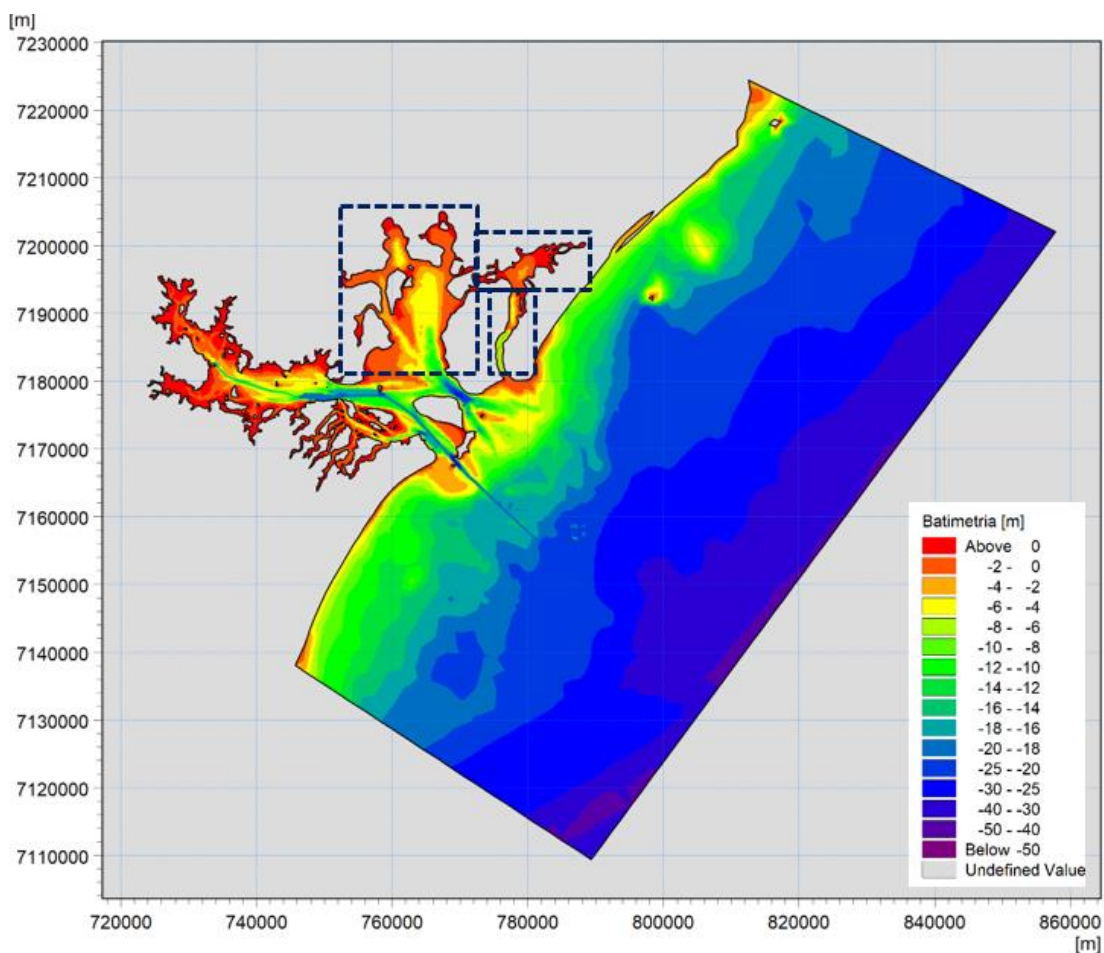


Figura 4 – Visão geral da batimetria do modelo. As linhas tracejadas indicam as áreas não cobertas pelas cartas náuticas e levantamentos topo-batimétricos disponíveis.



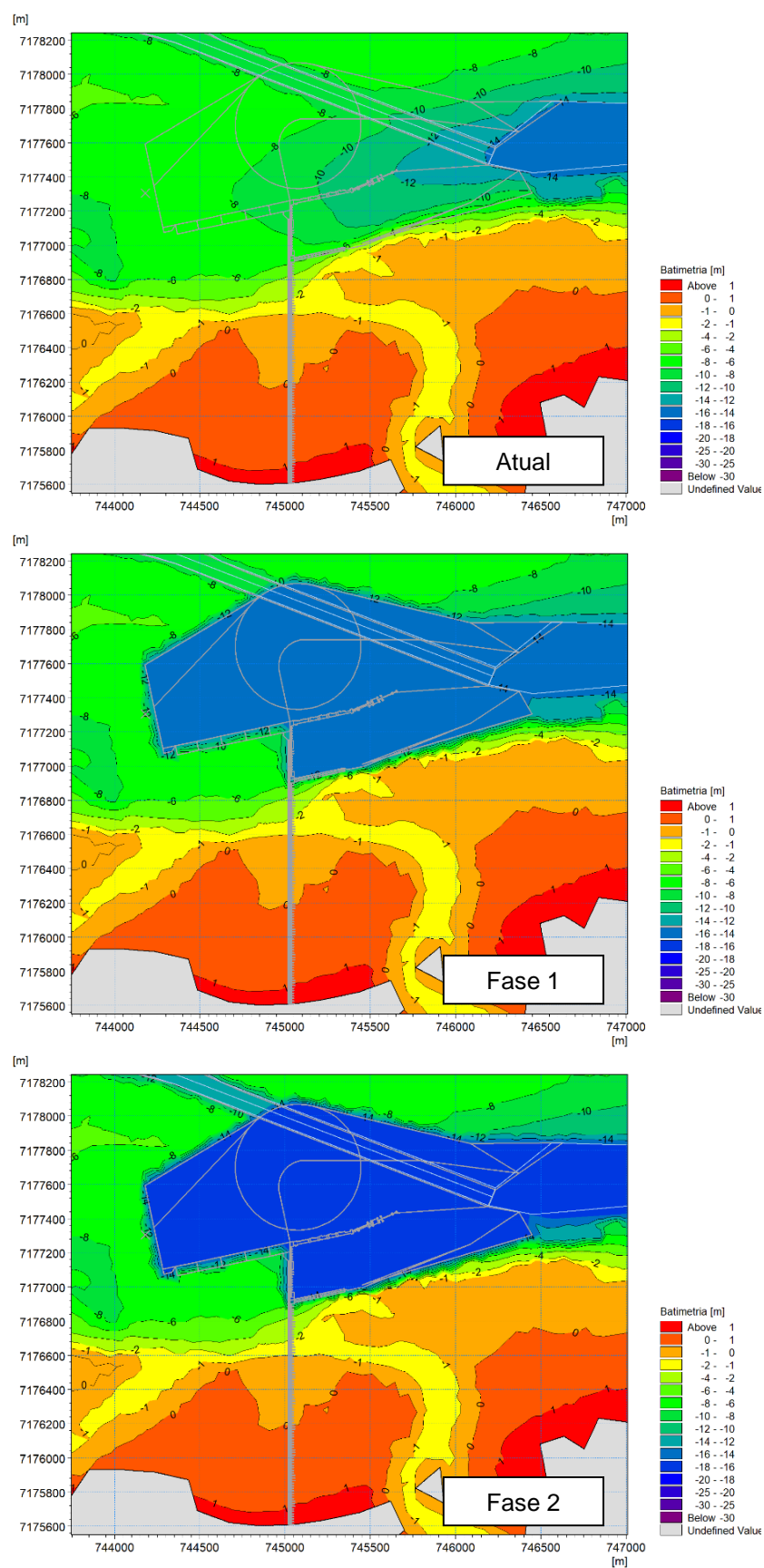


Figura 5 – Batimetria na área do Porto Guará para a condição atual (acima) e fases 1 (centro) e 2 (abaixo) de implantação.



## 1.5 Configuração do modelo hidrodinâmico

O modelo hidrodinâmico foi configurado para representar os fluxos no Complexo Estuarino de Paranaguá em resposta à ação das marés, ventos e aportes fluviais.

As marés (astronômica e meteorológica) foram incluídas na forma de variações dos níveis de água nas fronteiras abertas no mar. Os níveis de água medidos na estação maregráfica da Galheta (Figura 8 do Apêndice A) foram assumidos como representativas dos níveis na costa e, portanto, foram aplicados como condição de contorno nas fronteiras do modelo.

Na ausência campos de ventos variáveis espacialmente, os dados de ventos medidos através da estação meteorológica do TCP (Figura 11 do Apêndice A) foram assumidos uniformemente distribuídos no domínio do modelo.

As vazões dos principais rios foram incluídas como condições de contorno de fluxo no interior do complexo estuarino na forma de valores médios mensais (ver Seção 1.8 do Apêndice A).

O mecanismo de alagamento e secamento do modelo foi habilitado para representação dos escoamentos sobre as planícies alagáveis (ex: manguezais) no interior do complexo estuarino. A inclusão deste mecanismo é fundamental para uma correta representação dos volumes que entram e saem do complexo, com influência direta sobre as velocidades e fases das correntes de maré nos canais.

A viscosidade turbulenta horizontal foi representada através da formulação de Smagorinsky.

O coeficiente de Manning ( $M$ ) é um parâmetro de calibração que define a resistência ao escoamento gerada pelas formas de fundo. Seus valores em ambientes costeiros usualmente variam entre 30 e 50  $m^{1/3}/s$ , onde os menores valores resultam em maior resistência ao escoamento. Na área costeira e canais do Complexo Estuarino o valor de 50  $m^{1/3}/s$  foi utilizado, enquanto nas áreas de manguezais o valor de 25  $m^{1/3}/s$  foi aplicado visando representar a maior resistência ao escoamento gerada pela vegetação presente nessas áreas. O mapa de distribuição dos coeficientes de Manning utilizados no modelo é apresentado na Figura 6.

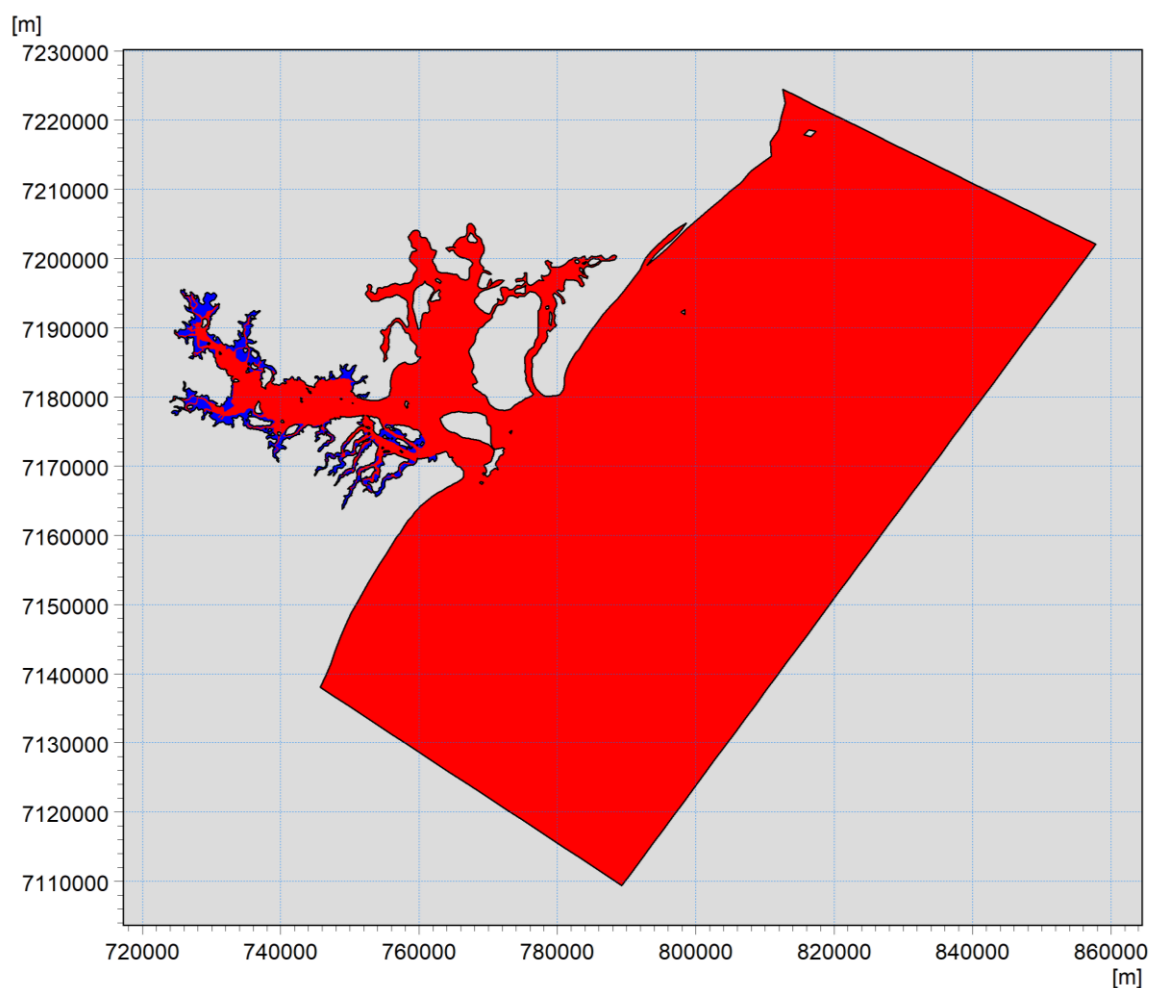


Figura 6 – Mapa dos coeficientes de Manning ( $M$ ) utilizados no modelo.

A Tabela 1 resume os parâmetros considerado na configuração do modelo hidrodinâmico.

Tabela 1 – Parâmetros considerados na configuração do modelo hidrodinâmico.

Parâmetro	Valor
Profundidade de secamento [m]	0,005
Profundidade de alagamento [m]	0,01
Coeficiente de viscosidade horizontal, Smagorinsky [-]	0,28
Coeficiente de Manning $M$ [ $m^{1/3}/s$ ]	Ver Figura 6.

## 1.6 Calibração do modelo hidrodinâmico

O modelo hidrodinâmico foi calibrado através da comparação entre os resultados modelados e observações de campo realizadas no período entre 01/04/2020 e 01/05/2020.

Os níveis de água e corrente calculados no período foram comparados com medições realizadas através de seis estações maregráficas e dois ADCPs instalados em diferentes posições no interior





do complexo estuarino e área costeira adjacente. A localização dos pontos de medição é apresentada na Figura 6 do Apêndice A.

A comparação entre os níveis de água modelados e medidos é apresentada na Figura 7 e mostram boa concordância em todas as estações analisadas. É possível observar a capacidade do modelo em representar as oscilações de baixa (maré meteorológica) e de alta frequência (maré astronômica) tanto em fase quanto em amplitude.

A concordância entre os níveis modelados e observado aumenta à medida que se aproxima da entrada do Complexo Estuarino. Nas posições mais internas percebe-se menor capacidade do modelo em representar as amplificações das componentes de alta frequência da maré em períodos de quadratura. Isto fica evidente na comparação com os níveis medidos na estação maregráfica localizada na Ponta do Félix.

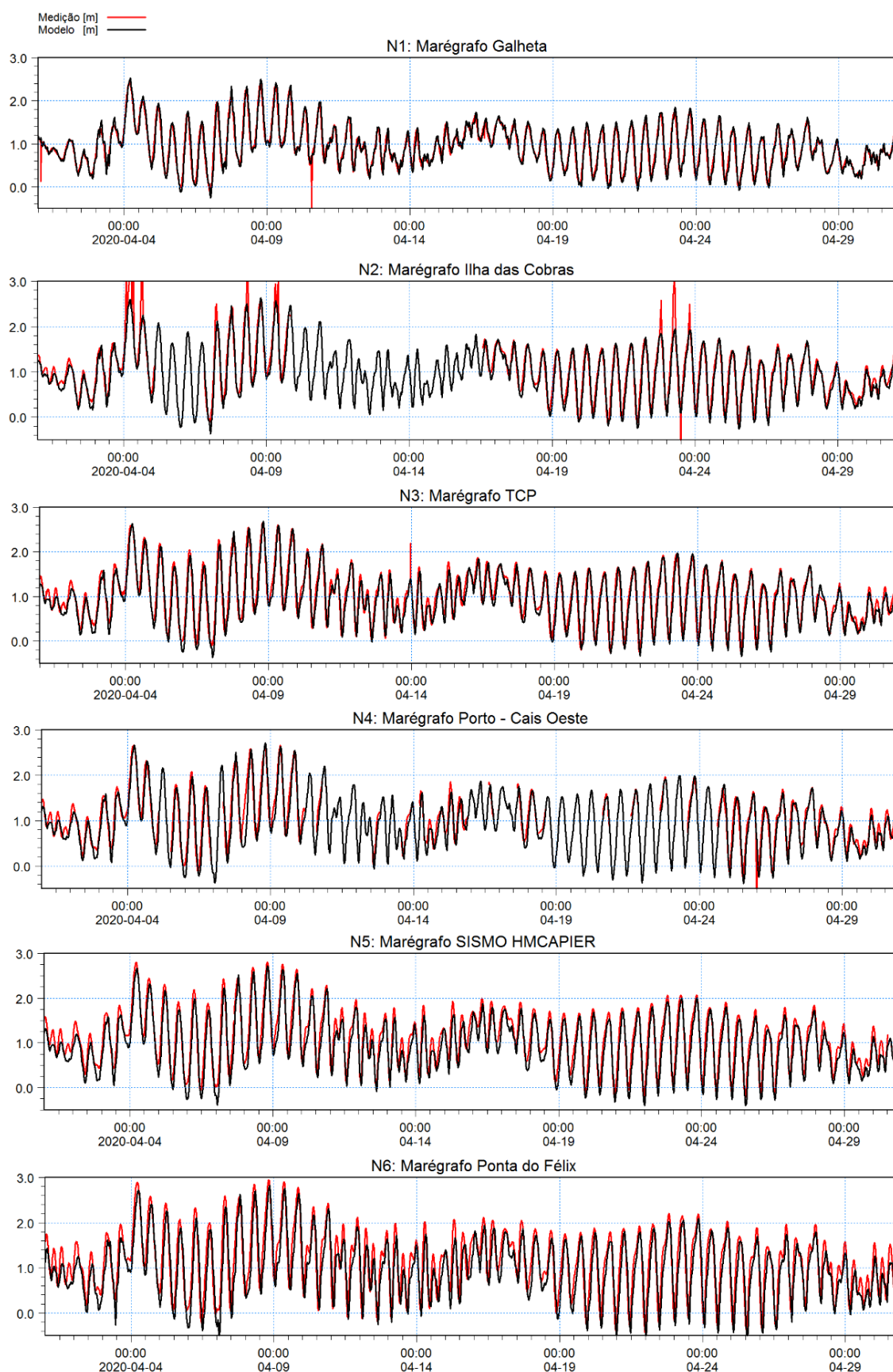


Figura 7 – Comparação entre os níveis de água modelados e medidos em seis estações maregráficas localizadas no Complexo Estuarino.



A comparação entre as correntes modeladas e medidas no período completo da simulação é apresentada na Figura 8 e um detalhe da comparação no período de sizígia entre 03/04/20 e 13/04/20 é apresentado na Figura 9. Os gráficos mostram a boa concordância nas duas posições analisadas.

Na posição da boia 03 SISMO o modelo foi capaz de representar tanto as oscilações geradas pelas marés astronômicas, que dominam o padrão nessa posição, quanto a influência dos ventos na costa que se destacam em alguns momentos do período analisado – este efeito é evidente entre os dias 03/04 e 05/04. A intensa variação das correntes nessa posição dificulta a comparação visual das direções e por vezes gera a impressão da incapacidade do modelo em representá-las. Por isso, as correntes modeladas e medidas foram decompostas em componentes  $U$  (leste-oeste) e  $V$  (norte-sul) de velocidade para facilitar a comparação. A comparação entre as componentes é apresentada na Figura 10.

As correntes na posição da boia 28A, localizada nas proximidades do terminal TCP, são governadas pela maré e seu comportamento alterna entre fluxos de enchente e vazante. Esse comportamento foi bem representado pelo modelo, conforme se observa nos gráficos comparativos da Figura 8 e da Figura 9. Os efeitos da amplificação das componentes de alta frequência da maré sobre as correntes também foi representado no modelo e fica evidente nos períodos de quadratura (início, meados e fim de abril). Nesses períodos é possível observar a intensificação das correntes e o aumento no número de inversões entre fluxos de enchente e vazante.

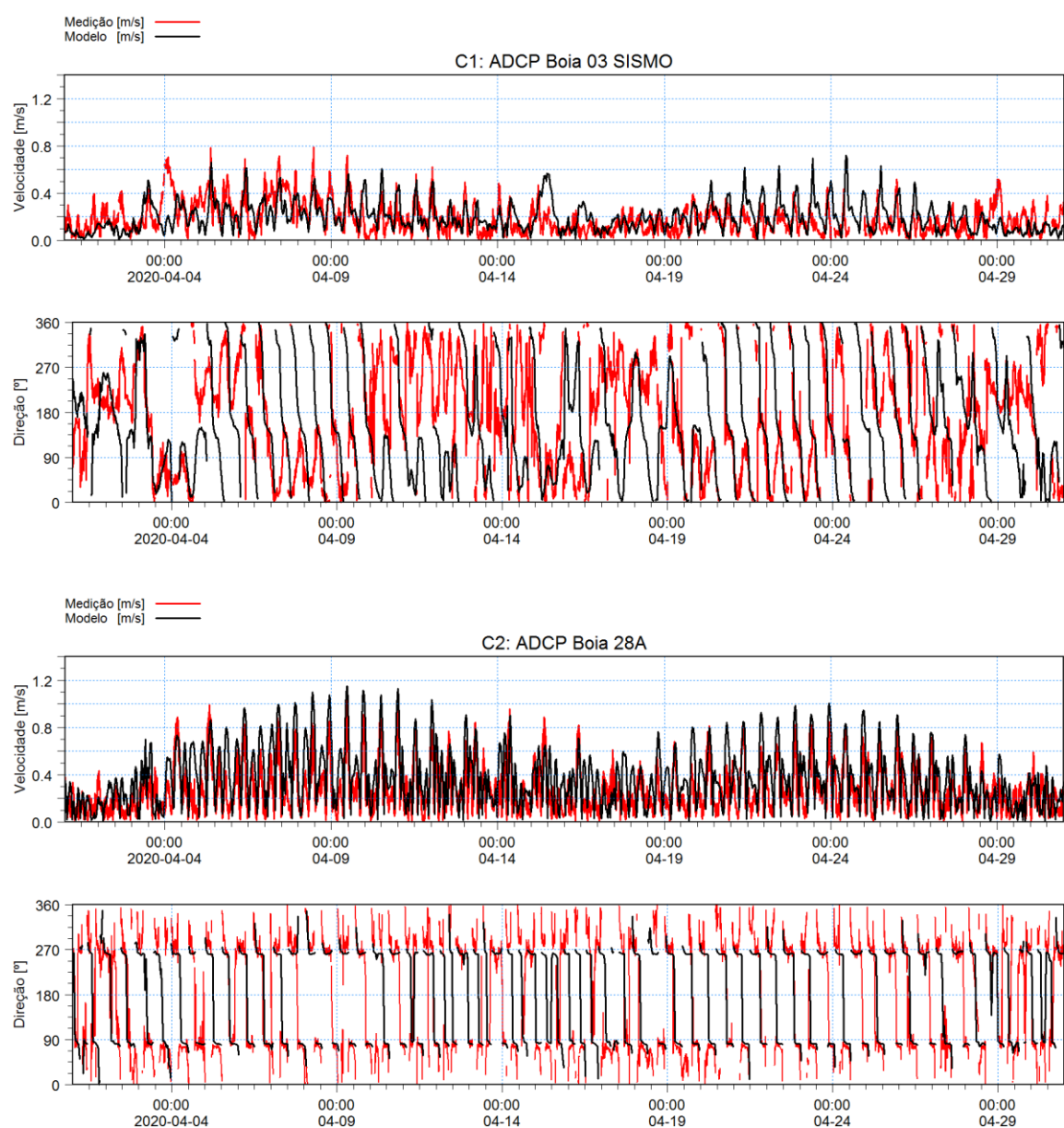


Figura 8 – Comparação entre as intensidades e direções de correntes modeladas e medidas nas posições das boias 03 SISMO (superior) e 28A (inferior).

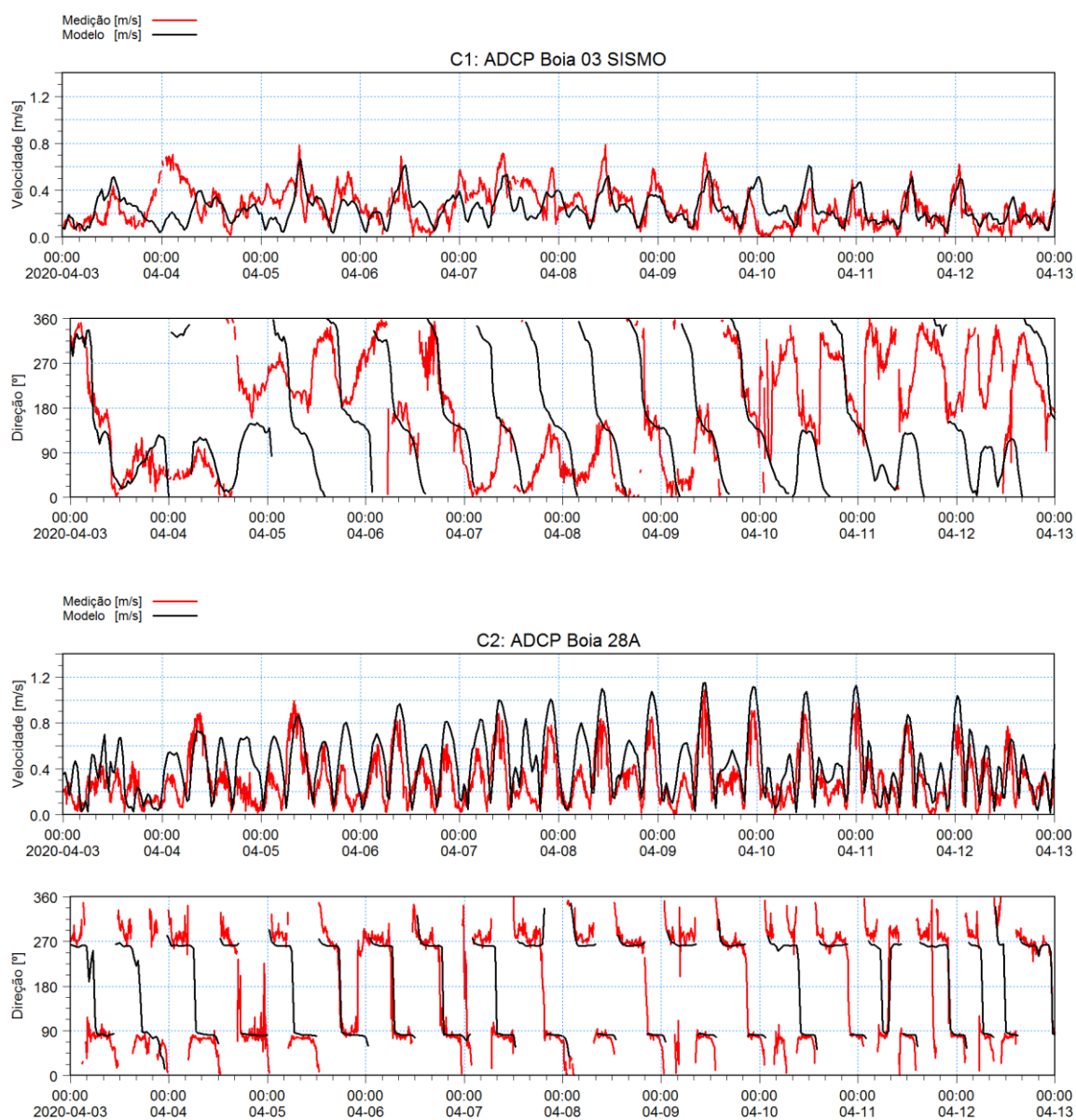


Figura 9 – Detalhe da comparação entre as intensidades e direções de correntes modeladas e medidas nas posições das boias 03 SISMO (superior) e 28A (inferior) para o período de sizígia entre 03/04/20 e 13/04/20.

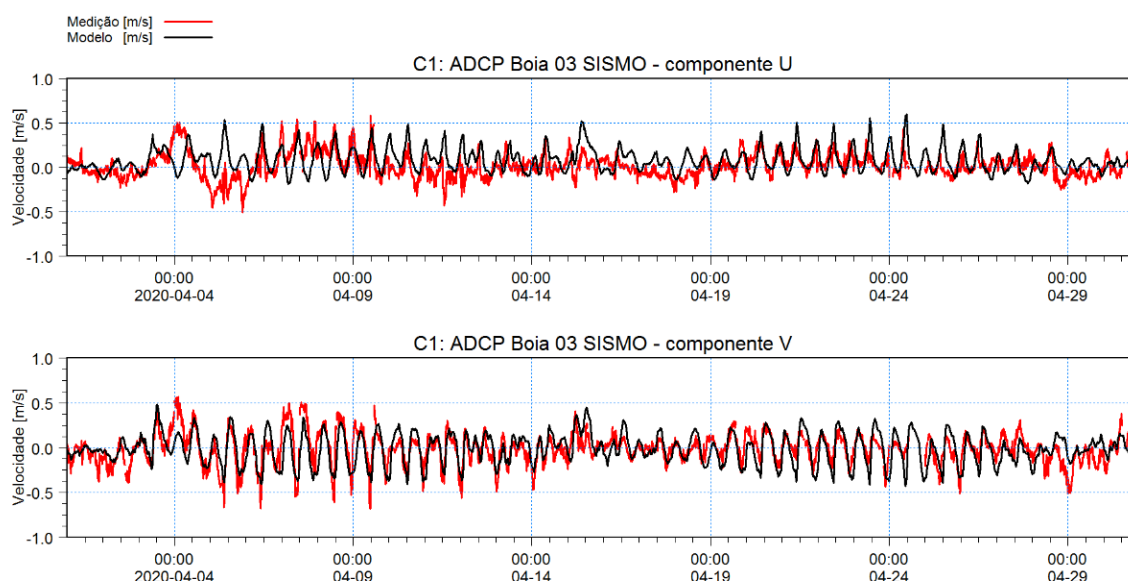


Figura 10 – Comparação entre as componentes U e V de velocidade de corrente modeladas e medidas nas posições do ADCP da boia 28A.

## 1.7 Validação do modelo hidrodinâmico

O modelo hidrodinâmico foi validado através da comparação de seus resultados com observações realizadas em um período distinto do considerado no procedimento de calibração. A validação teve como objetivo confirmar a capacidade do modelo em representar as condições hidrodinâmicas, garantindo sua robustez para futuras aplicações. O período considerado para a validação foi de 10/10/2013 a 21/12/2013.

Não são disponíveis medições de nível de água na Galheta para o período de validação, o que impossibilitou seu uso como condição de contorno do modelo. Por isso, uma série sintética foi gerada a partir das constantes harmônicas obtidas das medições no marégrafo da Galheta (ver Seção 1.3 do Apêndice A) e acrescidas aos níveis médios do mar fornecidos pelo modelo HYCOM, /2/.

As medições de vento no TCP também não cobrem o período de validação. Por isso, os dados medidos na estação do INMET na Ilha do Mel (Figura 11 do Apêndice A) foram utilizados de forma alternativa para forçar o modelo.

Os níveis de água e corrente calculados no período foram comparados com medições realizadas através do marégrafo instalado no Porto de Paranaguá e de um ADCP instalados nos pontos 1 e 2 na altura do TCP. A localização dos pontos de medição é representada na Figura 5 do Apêndice A pelos índices N4 (nível de água) e C3 e C4 (correntes).

A comparação entre os níveis de água modelados e medidos é apresentada na Figura 11 e confirma a capacidade do modelo em representar as variações de nível de água tanto em amplitude quanto em fase. Os desvios entre os níveis de água calculados e observados entre os dias 02/11 e 07/11 podem ser explicados pela indisponibilidade de medições para utilização como condição de contorno do modelo. Com isto, possíveis variações de baixa frequência causadas por eventos meteorológicos não foram incorporados ao modelo.



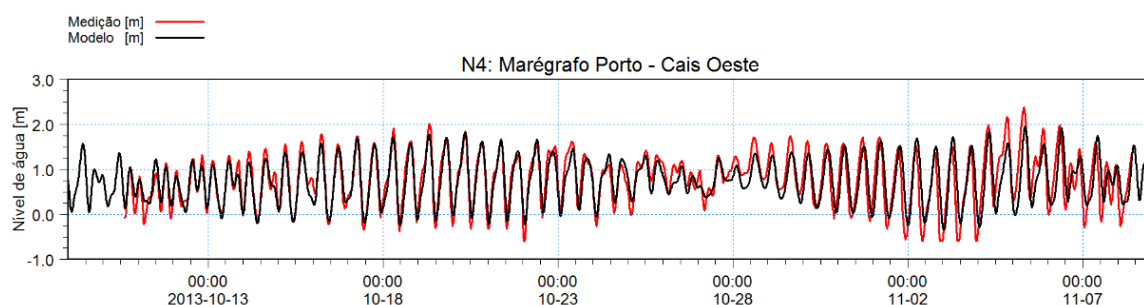


Figura 11 – Comparação entre os níveis de água modelados e medidos no marégrafo no Porto de Paranaguá.

As correntes modeladas no período de validação também apresentaram boa concordância com as observações de campo, conforme se observa nos gráficos da Figura 12 e da Figura 13. Percebe-se que na posição C3 (Figura 13) o modelo apresentou melhor ajuste às correntes medidas no período de sizígia. A intensificação das correntes na quadratura geradas pela amplificação das componentes de maré de maior frequência foi subestimada pelo modelo, o que pode ser explicado pela ausência dessas componentes nos níveis de água gerados como condição de contorno para o período de validação.

As direções das correntes calculadas pelo modelo também apresentaram ligeiro desvio em relação às correntes medidas na posição. O desvio pode ser explicado pela posição em que os ADCPs foram instalados. No período de 22/10/2013 a 08/11/2013 o ADCP foi instalado próximo às Pedras do Bengo e no período de 07/12/2013 a 21/12/2013 o ADCP foi instalado nas proximidades da Pedra da Palangana, conforme indicado na Figura 14. A presença desses obstáculos altera o campo de correntes no seu entorno, principalmente das correntes próximas ao fundo. Assim, é possível que as correntes medidas nas posições do ADCP tenham sido afetadas pela presença desses obstáculos. Em posições mais afastadas desses obstáculos espera-se que as direções das correntes se aproximem das calculadas pelo modelo.

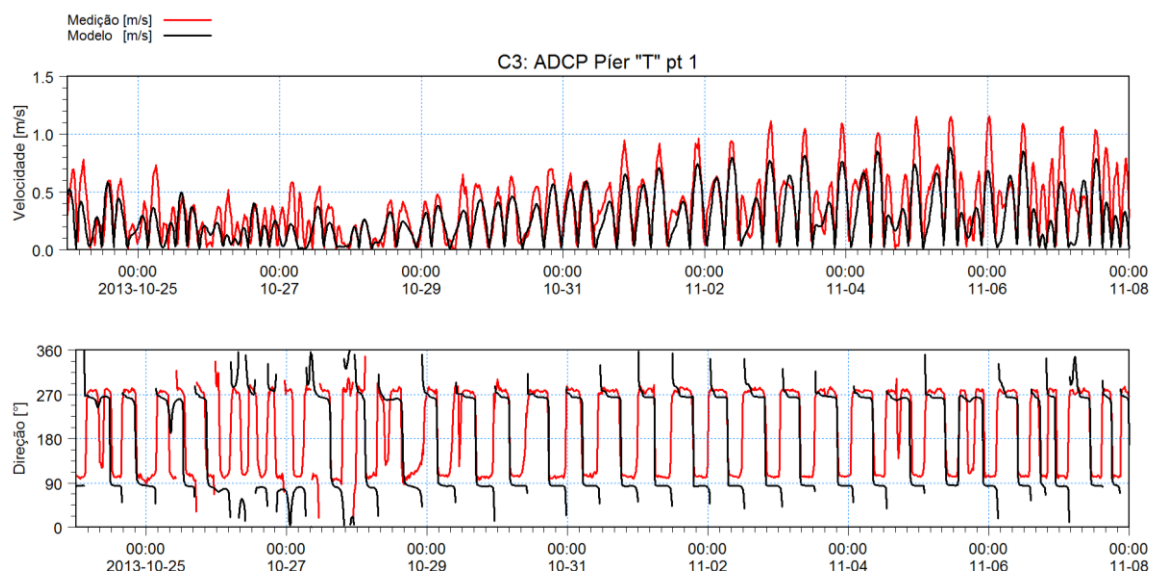


Figura 12 – Comparação entre as intensidades e direções de correntes modeladas e medidas na posição do ADCP “Pier T” ponto 1.





## 2 Referências

- /1/ Roversi, F., 2012. Estudo Hidrodinâmico e de Renovação das Águas do Sistema Estuarino de Santos. Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Julho de 2012.
- /2/ Hybrid Coordinate Ocean Model – HYCOM: [www.hycom.org](http://www.hycom.org)

*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*



# 1 Modelo de transformação de ondas

Este Apêndice descreve o modelo de transformação de ondas estabelecido para apoiar as análises desenvolvidas neste trabalho.

## 1.1 Abordagem de modelagem

As condições de ondas no Complexo Estuarino de Paranaguá foram estimadas através da aplicação de um modelo de transformação de ondas capaz de representar e agitação na área de interesse em resposta aos principais forçantes meteo-oceanográficos.

A aplicação do modelo de ondas ocorreu em duas etapas. Em uma primeira etapa o modelo foi configurado para representar as condições atuais em dois períodos distintos para os quais foram disponibilizadas observações de campo. Nesta etapa, dividida entre calibração e validação, o modelo foi primeiramente ajustado buscando a melhor representação do primeiro período de observações selecionado através do procedimento de calibração. Em seguida, o modelo calibrado foi confrontado com o segundo período de observações selecionado visando validar a sua capacidade de representar as condições observadas distintas da primeira e provenientes de outras fontes de dados. Esta etapa requereu uma quantidade significativa de simulações até que fosse confirmada a capacidade do modelo em representar os dois períodos de observação com os mesmos parâmetros de ajuste. Ao final do processo obteve-se um modelo mais robusto capaz de gerar resultados com menor grau de incerteza. Os seguintes períodos foram simulados nessa etapa:

- Calibração: 01/04/2020 a 01/05/2020;
- Validação: 10/10/2013 a 21/12/2013.

Finalmente, na segunda etapa, o modelo calibrado / validado foi modificado para incluir a bacia portuária e demais estruturas do Porto Guará, nas suas duas fases de implantação, visando prever as condições de ondas após a implantação do empreendimento. Para cada fase de implantação, foram simuladas duas condições meteo-oceanográficas distintas cobrindo o período de 30 dias cada, a saber:

- Inverno: 01/07/2019 a 01/08/2019;
- Verão: 31/01/2020 a 01/03/2020.

Os períodos acima foram simulados visando cobrir as possíveis variações sazonais das condições meteo-oceanográficas na área de interesse.

A base de dados utilizada para estabelecer os modelos aplicados neste estudo é apresentada no Apêndice A.

## 1.2 Ferramenta de modelagem selecionada

A transformação das ondas foi simulada utilizando o modelo de ondas MIKE 21 SW (*Spectral Waves*), desenvolvido pela DHI e com ampla aplicação em áreas costeiras. O MIKE 21 SW consiste em um modelo espectral de ondas baseado em malhas não estruturadas. O modelo simula o crescimento, atenuação e transformação de ondas de vento (*wind sea*) e *swell* em áreas *offshore* e costeiras.

O MIKE 21 SW inclui todos os mecanismos físicos relevantes para a presente aplicação, tais como refração, difração, empinamento, dissipação de energia devido ao atrito com o fundo e à arrebentação, e o crescimento devido ao vento.

Mais detalhes sobre o sistema de modelagem MIKE 21 FM e módulos associados podem ser obtidos em [www.mikepoweredbydhi.com](http://www.mikepoweredbydhi.com).

### 1.3 Domínio e malha computacional

Ver Apêndice B, Seção 1.3.

### 1.4 Batimetria e contornos terrestres do modelo

Ver Apêndice B, Seção 1.4.

### 1.5 Configuração do modelo de ondas

O modelo de transformação de ondas foi configurado para simular as condições de ondas na área de estudo geradas pelo efeito combinado dos ventos (*wind sea*) e das ondas ao largo (*swell*). Os mecanismos físicos relevantes ao estudo, tais como refração, empinamento, dissipação de energia devido ao atrito com o fundo e à arrebentação, e o crescimento pela ação do vento foram considerados.

As condições de ondas *offshore* aplicadas na fronteira do modelo foram obtidas do modelo global WW3 na forma de parâmetros combinados de *sea* e *swell* (ver Seção 1.7 do Apêndice A).

Na ausência campos de ventos variáveis espacialmente, os dados de ventos medidos na estação do TCP (Figura 11 do Apêndice A) foram assumidos uniformemente distribuídos no domínio do modelo.

Os espectros de onda foram especificados utilizando uma discretização direcional uniforme com resolução de 10°.

O crescimento das ondas pela ação dos ventos foi calculado utilizando as expressões derivadas da formulação do *Shore Protection Manual*, /1/, para o crescimento da onda em águas profundas para estados de mar limitados pela pista de vento, usando um ajuste de potência para as equações de crescimento.

A arrebentação de ondas é calculada através da formulação de Battjes e Janssen, /2/, com valores  $\alpha = 1,0$  e  $\gamma = 5,0$ .

A rugosidade de fundo foi especificada através do parâmetro de rugosidade de Nikuradse. O valor de 0,01m foi aplicado.

A variação da altura da coluna de água pelas marés, fundamental para representar os efeitos de fundo sobre diversos processos de transformação das ondas, especialmente em águas rasas, como a refração e a dissipação de energia, foi incorporada através da inclusão dos níveis de água calculados pelo modelo hidrodinâmico descrito no Apêndice B.

A Tabela 1 resume os parâmetros considerado na configuração do modelo de ondas.





Tabela 1 – Parâmetros considerados na configuração do modelo de ondas.

Parâmetro	Valor
Discretização direcional das ondas [°]	10
Arrebentação de ondas, coeficiente $\gamma$ [-]	0,8
Arrebentação de ondas, coeficiente $\alpha$ [-]	1,0
Arrebentação de ondas, coeficiente $\gamma$ (esbeltez da onda) [-]	5,0
Rugosidade de fundo de Nikuradse [m]	0,01

## 1.6 Calibração do modelo de ondas

O modelo de transformação de ondas foi calibrado através da comparação entre os resultados modelados e observações de campo realizadas no período entre 01/04/2020 e 01/05/2020.

Os parâmetros altura significativa de onda, período de pico e direção de pico calculados pelo modelo foram comparados com os parâmetros medidos na boia 03 SISMO instalada na entrada do complexo estuarino (ver localização na Figura 6 do Apêndice A). A comparação é apresentada na Figura 1.

Os resultados do modelo mostram boa concordância com as alturas significativas e direções de onda observadas no período.

Ondulações longas com períodos da ordem de 15-20 segundos como as observadas nas medições da boia 03 SISMO não podem ser geradas internamente no domínio do modelo, uma vez que não há pista de vento suficiente para tal. Por isso, essas ondas devem obrigatoriamente estar presentes na condição de contorno offshore do modelo. As condições de ondas *offshore* disponíveis no WW3, /3/, não ultrapassam 10 segundos no período analisado, como se observa na Figura 16 do Apêndice A, o que impossibilitaria alcançar no modelo os períodos observados na boia 03 SISMO. Para contornar esse problema foi aplicado um fator de majoração aos períodos das ondas do WW3 para utilização como condição de contorno *offshore* do modelo.

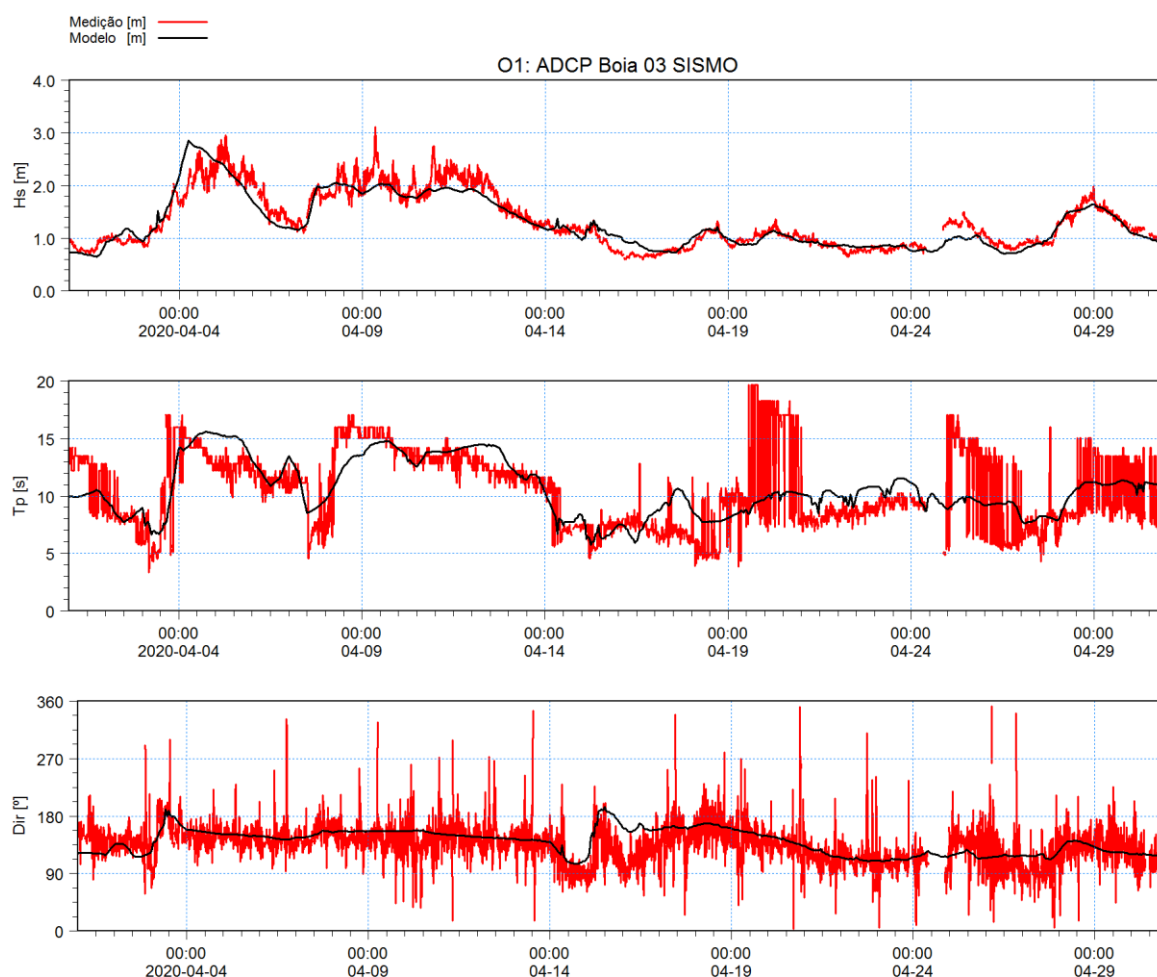


Figura 1 – Comparação entre os parâmetros de onda medidos e modelados na posição da boia 03 SISMO para o período de calibração.

## 1.7 Validação do modelo de ondas

O modelo de ondas foi validado através da comparação de seus resultados com as observações realizadas na posição do ADCP Píer “T” ponto 1 no período entre 07/12/2013 e 21/12/2013. A localização do ADCP é indicada na Figura 5 do Apêndice A.

As medições de vento no TCP não cobrem o período de validação. Por isso, os dados medidos na estação do INMET na Ilha do Mel (Figura 11 do Apêndice A) foram utilizados para forçar o modelo nesse período.

A utilização dos dados de vento da Ilha do Mel, medidos próximos à costa e possivelmente não representativos das condições de vento no interior do complexo estuarino, pode explicar a fraca concordância entre os parâmetros de onda modelados e medidos apresentada na Figura 2. As medições realizadas na posição do ADCP mostram que os períodos de onda são baixos ( $< 5$  s), indicando que as ondas locais são governadas pelos ventos e que o *swell* externo não alcança essa posição. Assim, a ausência de ventos representativos como forçantes do modelo impossibilita a obtenção de resultados mais próximos das condições observadas.

As alturas de onda registradas no período somente poderão ser alcançadas no modelo se geradas a partir de ventos com a intensidade, direção e persistência suficientes. Esses ventos não estão presentes nos dados medidos na estação da Ilha do Mel.

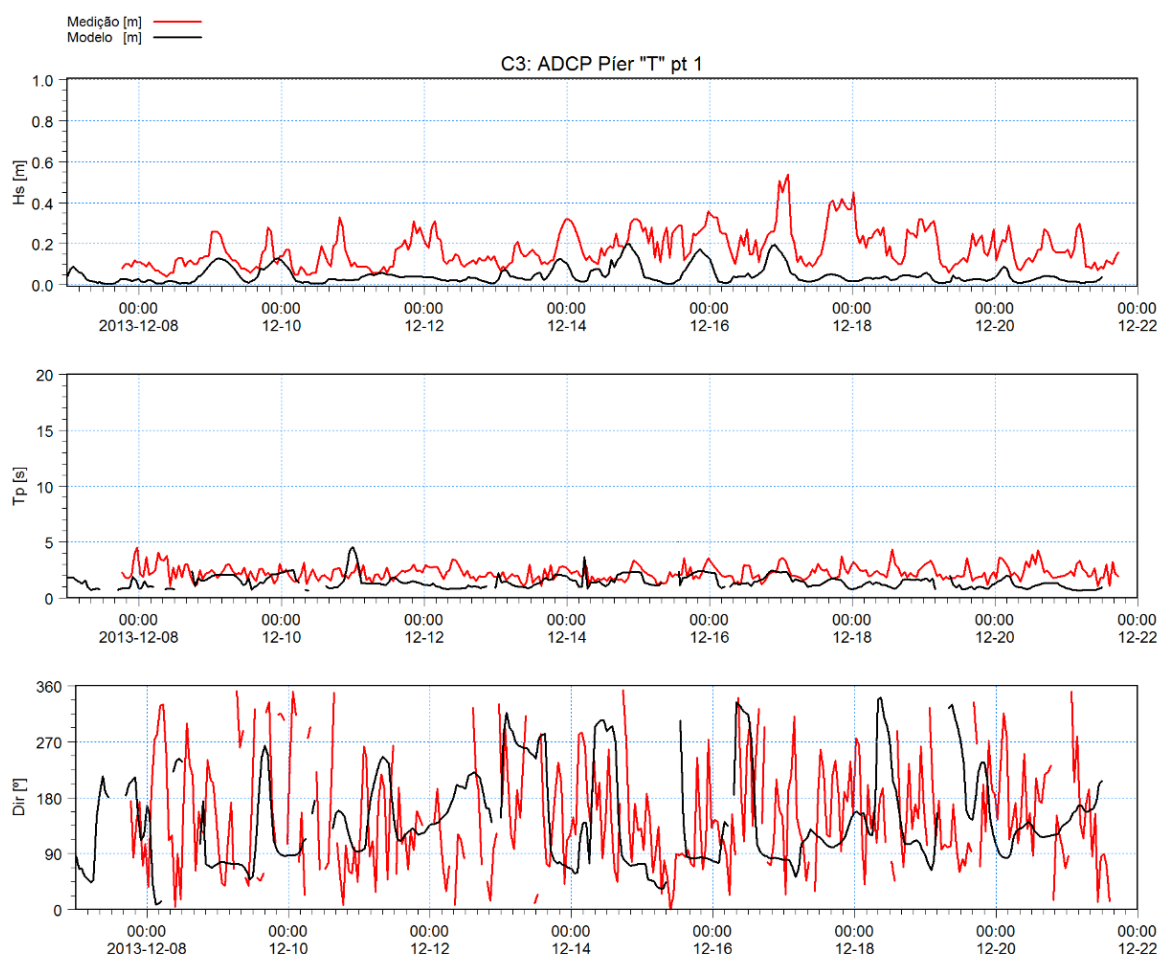


Figura 2 – Comparação entre os parâmetros de onda medidos e modelados na posição do ADCP Pier "T" ponto 1 para o período de validação.

*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*



## 2 Referências

- /1/ CERC, 1984. Shore Protection Manual. Vol. I, CERC Dept. of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington.
- /2/ Battjes, J.A. e Janssen, J. P. F.M., 1978. Energy loss and set-up due to breaking random waves. Proc. of the 16th Int. Conf. on Coastal Engineering, ASCE, pp. 569-587.
- /3/ Integrated Ocean Observing System da NOAA. EDS Model: WAVEWATCH III hindcasts: <https://eds.ioos.us/>

*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*





# 1 Modelo de transporte de sedimentos

Este Apêndice descreve o modelo de transporte de sedimentos estabelecido para apoiar a análise da dispersão dos sedimentos dragados desenvolvida neste trabalho.

## 1.1 Abordagem de modelagem

O comportamento dos sedimentos originados das obras de dragagem no Porto foi estimado através da aplicação de um modelo computacional capaz de reproduzir os principais processos e mecanismos associados ao transporte de sedimentos na área de estudo.

Neste sentido, um modelo de transporte de sedimentos foi estabelecido com a finalidade de resolver os processos de deposição, erosão e dispersão dos sedimentos no Complexo Estuarino de Paranaguá e área costeira adjacente. A base para o modelo são os modelos hidrodinâmicos e de transformação de ondas descritos nos Apêndices B e C deste relatório.

Devido à impossibilidade de calibrar o modelo de transporte com base em observações de campo representativas das operações de dragagem a serem realizadas no Porto, o modelo foi ajustado a partir de parâmetros de calibração definidos em estudo anterior desenvolvido pela HydroInfo, /1/. Neste estudo, o modelo foi aplicado para estimar as taxas de sedimentação nas áreas dos Portos de Paranaguá e Antonina e seus parâmetros de calibração foram ajustados a partir da comparação entre as concentrações de sedimentos em suspensão e taxas de deposição modeladas e observadas. Os parâmetros de calibração utilizados são descritos na Seção 1.5.

O modelo foi configurado para simular as operações de dragagem na área do Porto e descarte na área ACE-20 em duas condições meteo-oceanográficas distintas cobrindo o período de 30 dias cada, a saber:

- Inverno: 01/07/2019 a 01/08/2019;
- Verão: 31/01/2020 a 01/03/2020.

Os períodos acima foram simulados visando avaliar a influência das sazonalidades sobre o comportamento do sedimento disperso.

## 1.2 Ferramenta de modelagem selecionada

O transporte de sedimentos foi simulado através do módulo de Transporte de Lama (*Mud Transport* - MT) do sistema MIKE 21 FM. O módulo MT envolve todos os processos importantes envolvidos na dinâmica dos sedimentos finos, tais como erosão, floculação, decantação, deposição, ressuspensão e compactação. O modelo é de tal forma genérico, que todas as características do sedimento podem ser incluídas com precisão. O modelo ainda utiliza uma descrição do fundo em multi-camadas, de modo a simular a erosão e a deposição de modo seguro. O módulo pode operar com até oito diferentes frações de tamanho do grão simultaneamente e permite a inclusão de frações arenosas. Uma descrição gráfica dos mecanismos incluídos no módulo MT é apresentada na Figura 1.

No módulo MT a velocidade de sedimentação pode ser constante ou variar devido à concentração. A erosão do leito pode ser não-uniforme, ou seja, a erosão do leito macio e

parcialmente consolidado, ou uniforme, ou seja, a erosão de um leito denso e consolidado. O leito é descrito em camadas e caracterizado pela densidade e resistência ao cisalhamento.



Figura 1 – Principais processos físicos incluídos no modelo MT.

Mais detalhes sobre o sistema de modelagem MIKE 21 FM e módulos associados podem ser obtidos em [www.mikepoweredbydhi.com](http://www.mikepoweredbydhi.com).

### 1.3 Domínio e malha computacional

Ver Apêndice B, Seção 1.3.

### 1.4 Batimetria e contornos terrestres do modelo

Ver Apêndice B, Seção 1.4.

### 1.5 Configuração do modelo

O modelo de transporte de sedimentos foi configurado de modo a representar as sete frações de sedimentos que representam a composição granulométrica média esperada dos sedimentos dragados conforme descrito na Seção 5.2 do relatório. Para cada fração foi atribuído um valor constante da velocidade de sedimentação calculado seguindo a Lei de Stokes, a saber:

Tabela 1 – Composição média e velocidade de sedimentação das frações de sedimentos do modelo.

Fração	Composição [%]	Velocidade [m/s]
Areia muito grossa	0,3	1,99
Areia grossa	1,4	0,50
Areia média	8,3	0,12
Areia fina	38,1	0,03
Areia muito fina	12,5	0,008
Silte	38,0	0,001
Argila	1,3	$3,8 \times 10^{-6}$

As operações de cada draga foram representadas no modelo como fontes de sedimentos. Para as fontes representativas das operações de dragagem na bacia portuária foram atribuídas a carga sólida de *overflow* estimada na Seção 5.3.2, enquanto para as fontes representativas das operações de descarte na ACE-20 foram atribuídas a carga sólida estimada na Seção 5.3.3. A ativação / desativação dessas fontes respeitou o ciclo de operação descrito na Seção 5.3.1, assumindo uma defasagem de 3h entre as operações de cada draga.

Visando representar os deslocamentos das dragas durante as operações de dragagem e descarte, as posições das fontes permaneceram fixas até a metade do período da simulação (15 dias), quando foram deslocadas para outra posição onde permaneceram até o fim da simulação (30 dias). A Figura 2 mostra as posições das fontes / dragas 1 e 2 na primeira metade da simulação (posição A) e na segunda metade da simulação (posição B) na área do Porto e na área de descarte.

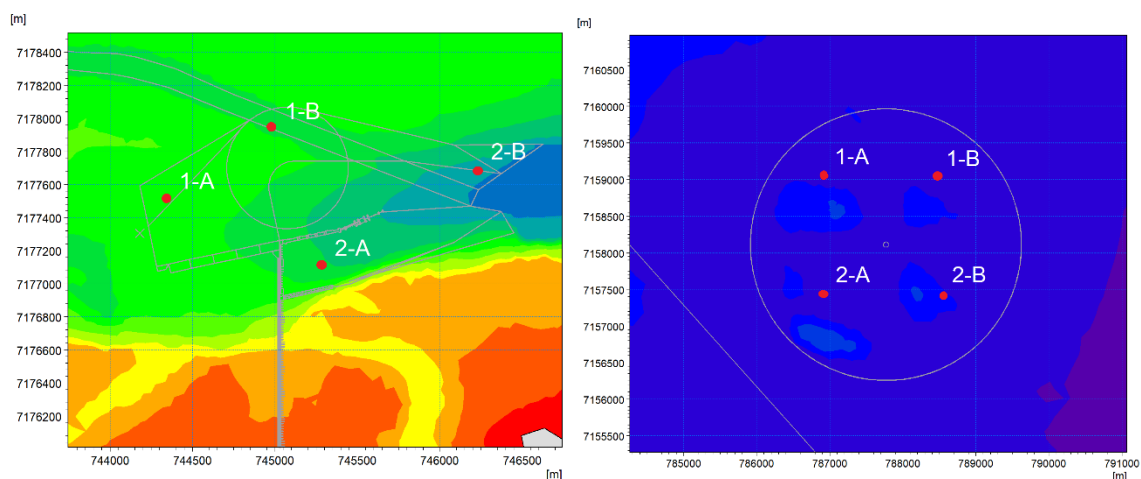


Figura 2 – Posições das fontes /dragas durante os períodos simulados na área do Porto (esquerda) e na área de descarte (direita).

O leito do Complexo Estuarino foi descrito no modelo através de uma única camada de sedimento com propriedades de erosão que regulam a sedimentação no leito.

Visando isolar a contribuição dos sedimentos dragados e facilitar a interpretação e análise dos resultados, as contribuições dos sedimentos dos rios que deságuam no Complexo Estuarino e do mar foram consideradas nulas. Pelo mesmo motivo, as concentrações iniciais de sedimentos em suspensão na coluna de água foram consideradas nulas.

A distribuição espacial dos depósitos é definida na forma de espessura de material disponível no leito para mobilização pela ação das correntes e/ou ondas. Como não se está interessado em conhecer como os sedimentos presentes no leito são mobilizados, a espessura inicial do leito foi assumida nula. Isto implica em assumir que somente o material que se deposita nessas áreas durante o período simulado pode ser mobilizado (erodido).

As tensões críticas para erosão e deposição dos sedimentos são parâmetros de calibração do modelo. Para a tensão de cisalhamento crítica de erosão da camada do leito foi definida uma distribuição horizontal proporcional às tensões médias de cisalhamento de fundo geradas pelas correntes e ondas no modelo e ajustadas durante o processo de calibração. O sedimento de fundo será erodido e colocado em suspensão quando as tensões de fundo resultantes da ação combinada de correntes e ondas forem superiores às tensões críticas de erosão. O mapa de tensões críticas de erosão considerado no modelo é apresentado na Figura 3.

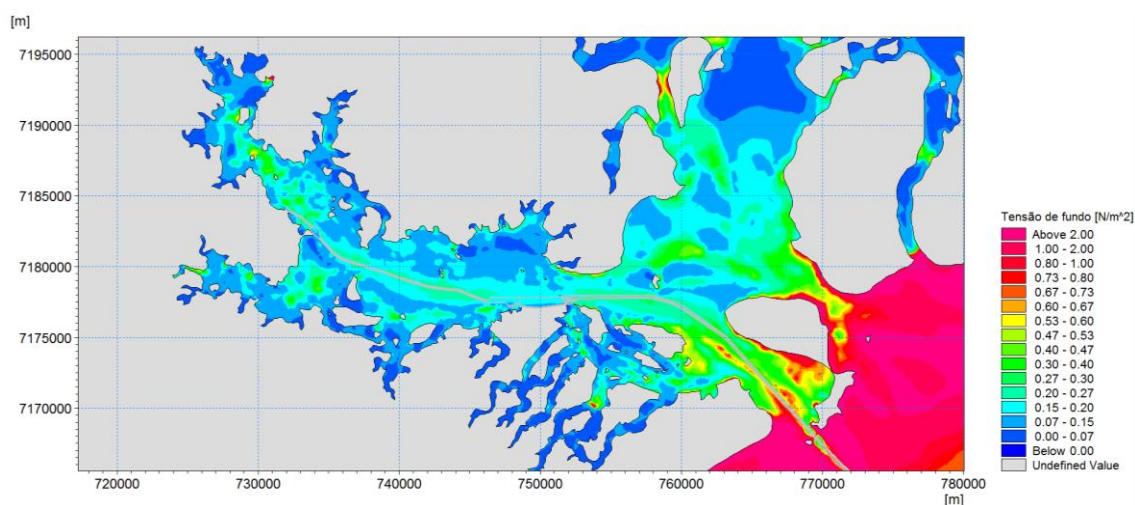


Figura 3 – Mapa de distribuição das tensões críticas de erosão para a camada do leito do modelo.

Valores distintos de tensão de cisalhamento crítica de deposição foram escolhidos para as frações de sedimentos consideradas no modelo. Para as frações mais grossas valores mais elevados foram aplicados buscando refletir a maior facilidade de deposição desses sedimentos, enquanto valores menores foram aplicados às frações mais finas dada a tendência dessas frações em permanecer em suspensão na coluna de água. O valor de  $0,1 \text{ N/m}^2$  foi adotado para as areias muito grossa e grossa e o valor de  $0,07 \text{ N/m}^2$  para as areias médias. Para as demais frações (finas) o valor de  $0,02 \text{ N/m}^2$  foi aplicado. Nas áreas dragadas o valor de  $0,15 \text{ N/m}^2$  foi adotado visando representar a maior facilidade de deposição nessas áreas. A deposição de uma fração de sedimentos somente ocorrerá durante os períodos em que as tensões de fundo forem inferiores às tensões críticas de deposição para a fração correspondente.

Como não se sabe como será a dispersão dos sedimentos no ambiente e não existem informações que permitam determinar com exatidão os coeficientes de dispersão a serem utilizados, uma análise de sensibilidade foi realizada considerando os valores constantes de  $0,01$ ,  $0,1$  e  $1 \text{ m}^2/\text{s}$ . Os resultados da análise mostraram resultados similares para os três coeficientes investigados, com extensão e concentrações das plumas ligeiramente superiores para o valor de  $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$  em comparação com os outros valores. Por isso, o valor de  $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$  foi adotado, o que corresponde a uma abordagem conservadora.

A Tabela 2 resume os parâmetros considerado na configuração do módulo de transporte de sedimentos.



Tabela 2 – Parâmetros considerados na configuração do modelo de transporte de sedimentos.

Parâmetro	Valor
Número de frações de sedimento	7
Número de camadas do leito	1
Velocidades de sedimentação dos sedimentos [m/s]	Ver Tabela 1
Tensão de cisalhamento crítica para erosão do leito [N/m <sup>2</sup> ]	Ver Figura 3
Potência de erosão do leito [-]	1
Coeficiente de erosão [kg/m <sup>2</sup> /s]	0,0001
Tensão de cisalhamento crítica para deposição das frações 1 e 2 [N/m <sup>2</sup> ]	0,10 (0,15)
Tensão de cisalhamento crítica para deposição das frações 3 e 4 [N/m <sup>2</sup> ]	0,07 (0,15)
Tensão de cisalhamento crítica para deposição das frações 5, 6 e 7 [N/m <sup>2</sup> ]	0,02 (0,15)
Coeficiente de dispersão [m <sup>2</sup> /s]	0,01
Concentração de sedimentos no mar [kg/m <sup>3</sup> ]	0,00
Concentração de sedimentos nos rios [kg/m <sup>3</sup> ]	0,00
Concentração inicial de sedimentos [kg/m <sup>3</sup> ]	0,00
Espessura inicial dos depósitos no leito [m]	0,00

*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*

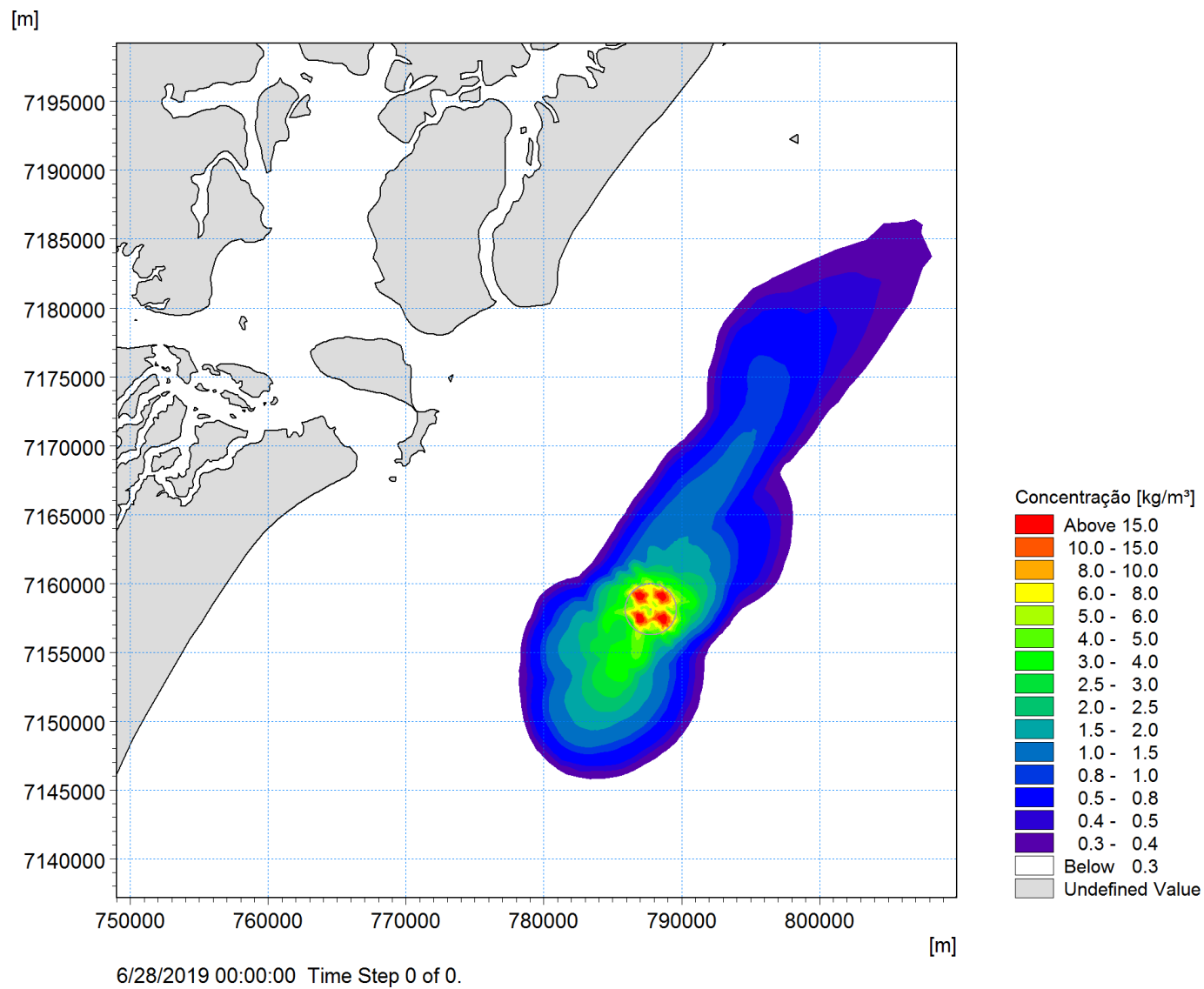


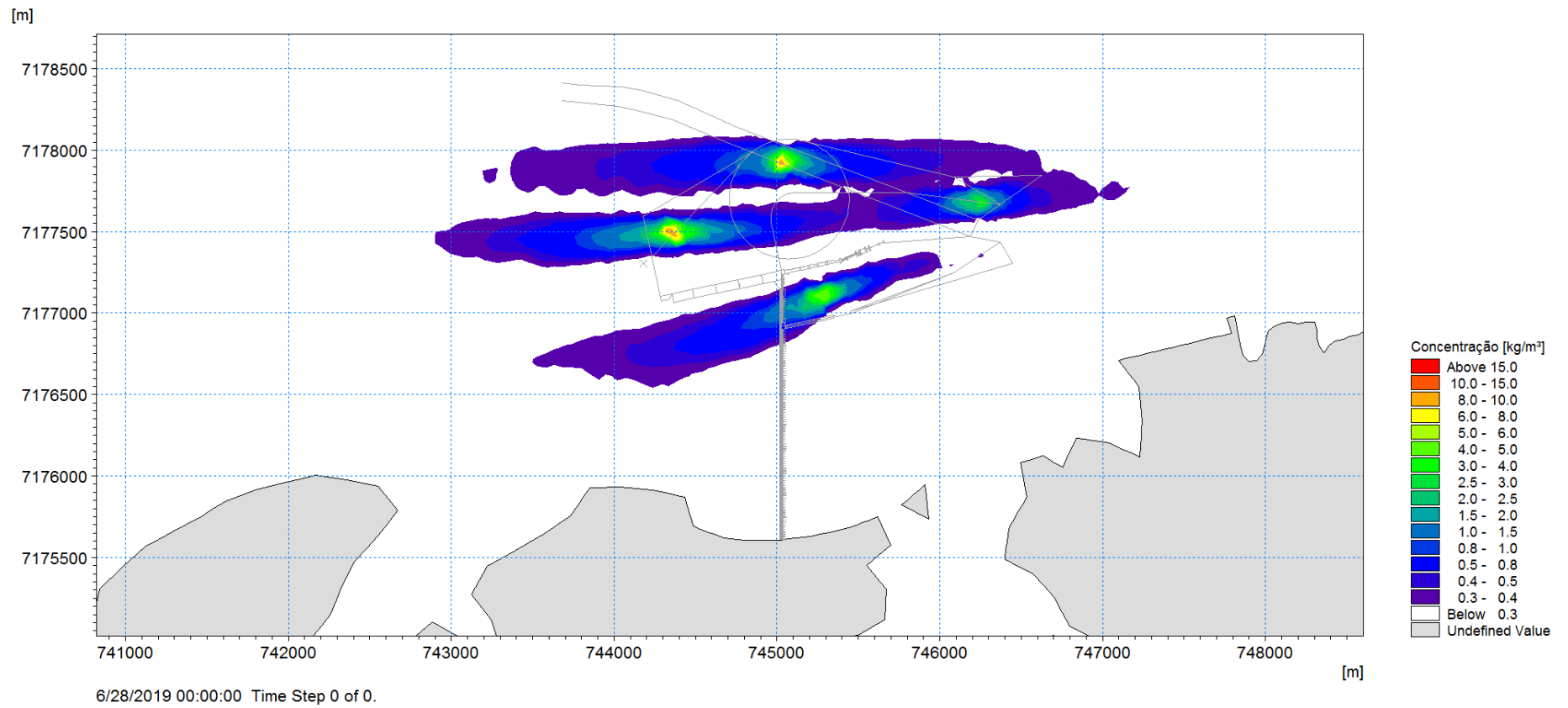


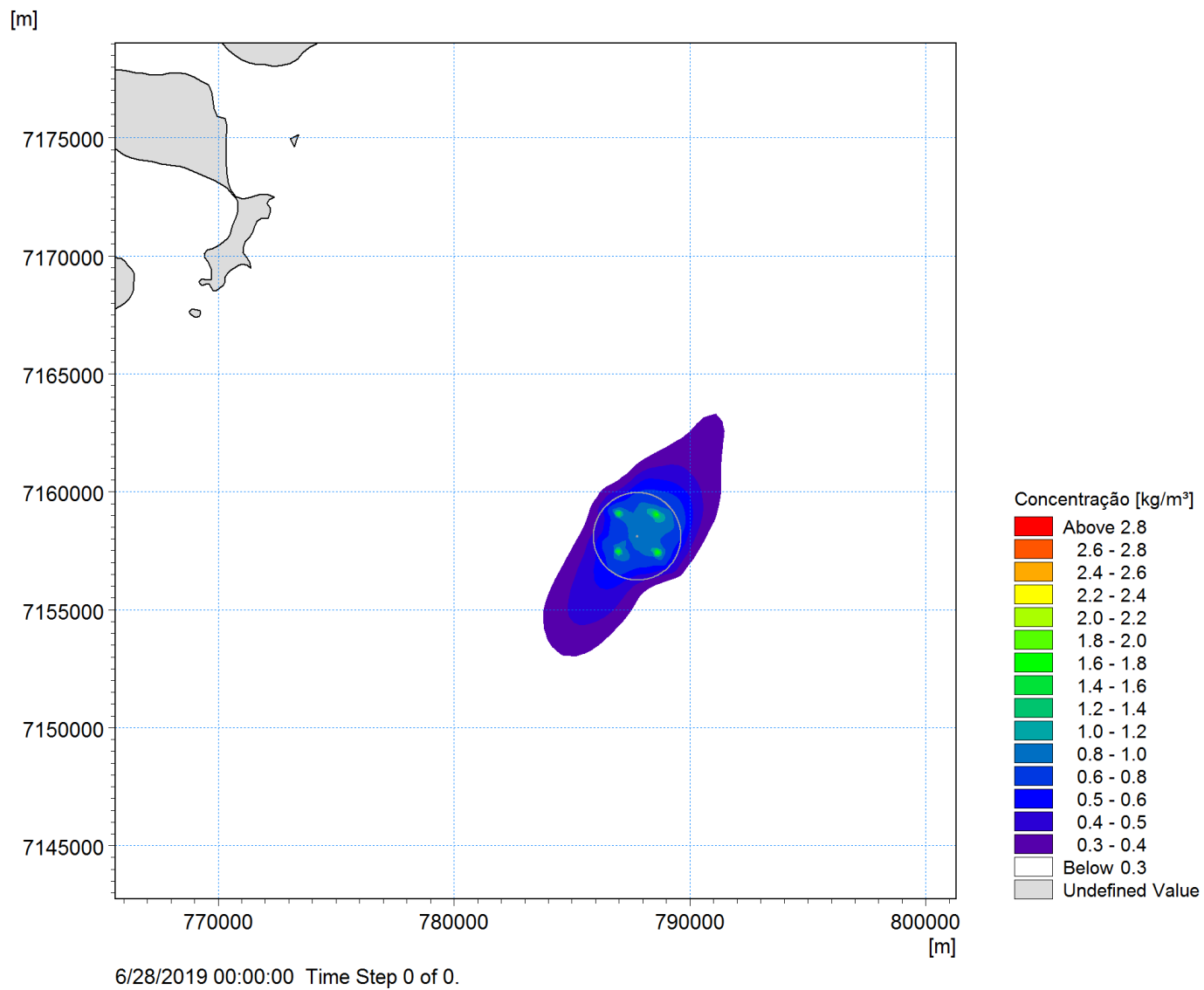
## 2 Referências

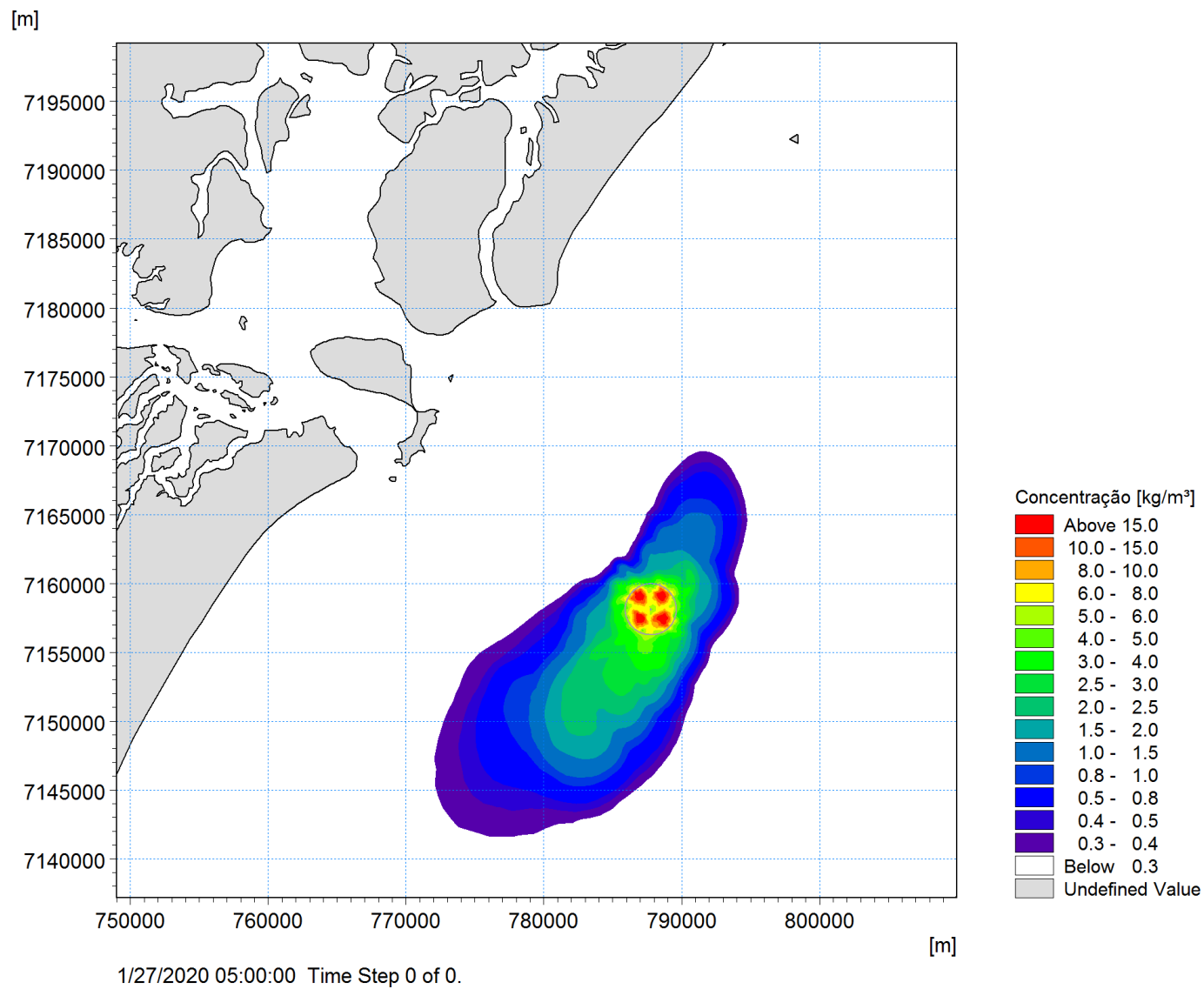
- /1/ Consórcio EXE Engenharia / BELOV, 2020. Projeto de Aprofundamento de Canais e Fundeadouros – APPA. Estudo de Sedimentação. Relatório Técnico RT-015.6293-101-03-001. Rev. 1.

*[Esta página foi deixada em branco intencionalmente]*

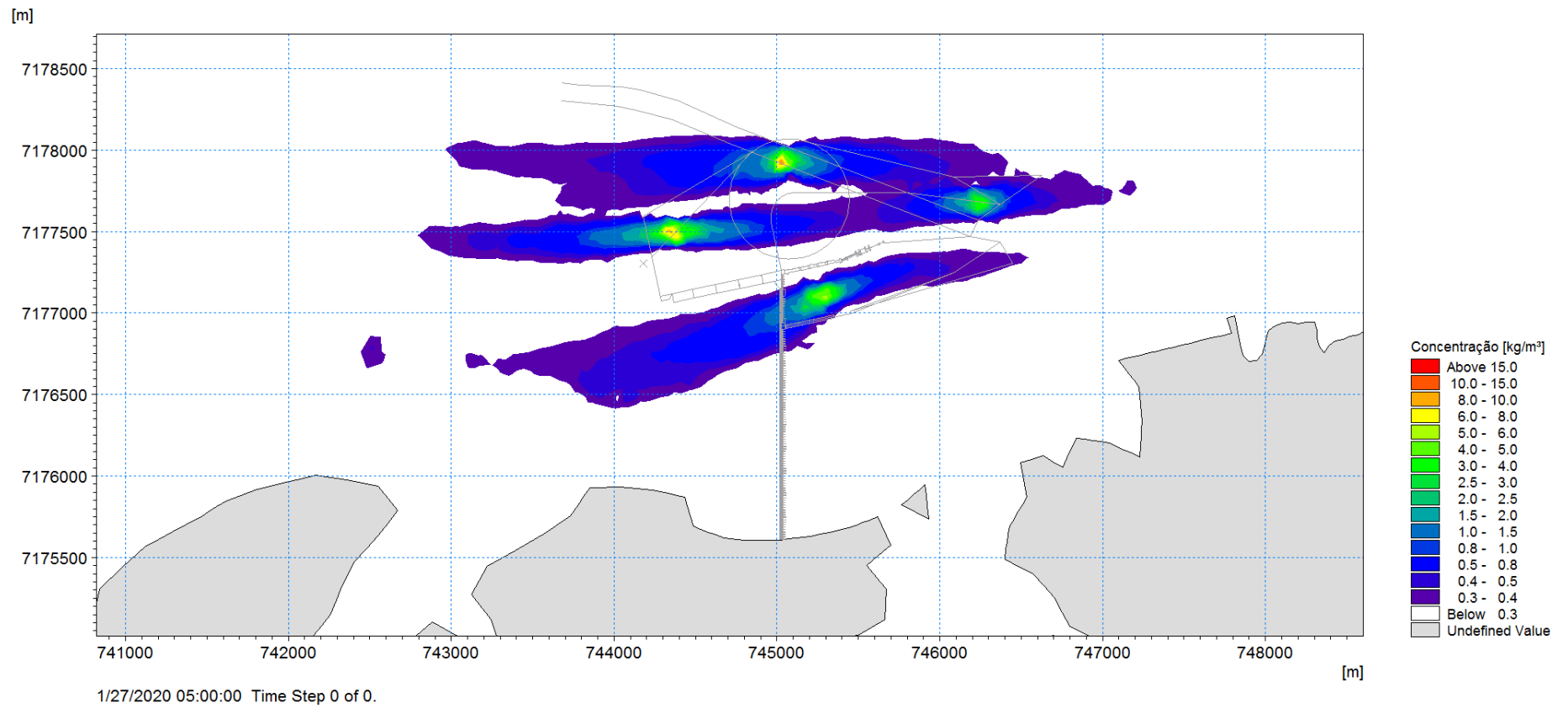


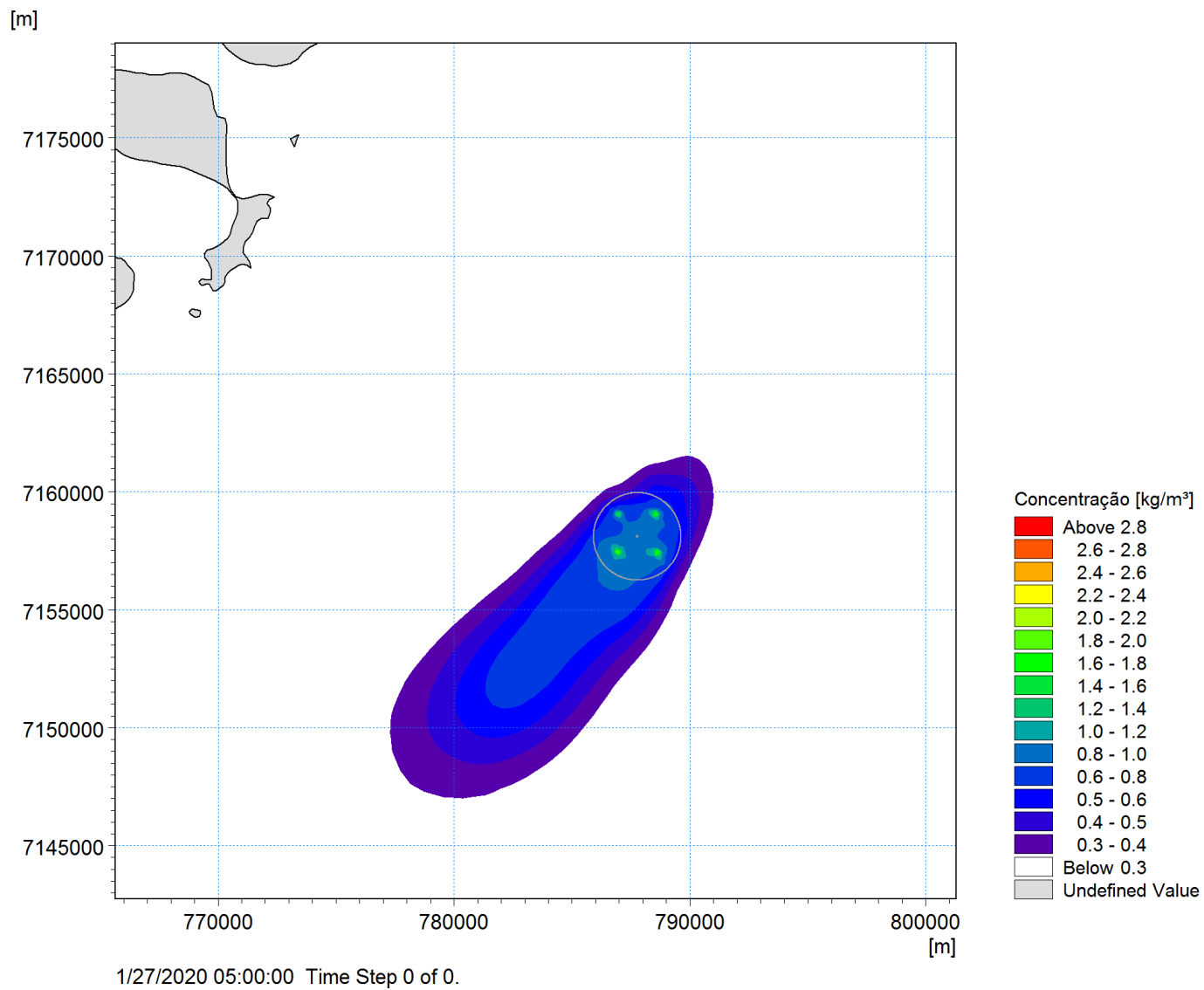














# Anotação de Responsabilidade Técnica - ART

Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina

CREA-SC



# ART OBRA OU SERVIÇO

25 2021 7887668-7

Inicial

Coautoria - ART 7886449-4

## 1. Responsável Técnico

**FELIPE BUBLITZ BIER**

Título Profissional: Engenheiro Sanitarista e Ambiental

RNP: 2513832949

Registro: 131625-4-SC

Empresa Contratada: HYDROINFORMATICS SOLUTIONS SOL HIDROINF LTDA

Registro: 126179-5-SC

## 2. Dados do Contrato

Contratante: Assessoria Técnica Ambiental Ltda.  
Endereço: RUA MARECHAL JOSE BERNARDINO BORMANN

CPF/CNPJ: 05.688.216/0001-05  
Nº: 821

Complemento:

Bairro: BIGORRILHO

Cidade: CURITIBA

UF: PR

CEP: 80730-350

Valor da Obra/Serviço/Contrato: R\$ 42.000,00

Honorários:

Ação Institucional:

Contrato: CC 20181160 Celebrado em: 17/03/2021

Vinculado à ART:

Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado

## 3. Dados Obra/Serviço

Proprietário: Assessoria Técnica Ambiental Ltda.  
Endereço: Diversos

CPF/CNPJ: 05.688.216/0001-05  
Nº: s/n

Complemento:

Bairro: Jardim Figueira

Cidade: PARANAGUA

UF: PR

CEP: 83210-000

Data de Início: 17/03/2021

Data de Término: 27/07/2021

Coordenadas Geográficas:

Código:

## 4. Atividade Técnica

Consultoria	Avaliação	Estudo	Estudo Impacto Ambiental
<b>Modelagem hidrodinâmica em ambiente aquático</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)
Consultoria	Avaliação	Estudo	Estudo Impacto Ambiental
<b>Modelagem de transporte de sedimentos em ambiente aquático</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)
Consultoria	Avaliação	Estudo	
<b>Dragagem</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)
Consultoria	Avaliação	Estudo	
<b>Porto</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)

## 5. Observações

Caracterização hidrodinâmica e dos processos de transporte na linha de costa, análise da dispersão do sedimento dragado e análise dos impactos do Porto sobre a hidrodinâmica na Baía de Paranaguá - PR

## 6. Declarações

A acessibilidade: Declaro que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART foram atendidas as regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.

## 7. Entidade de Classe

ACESA - 41

## 8. Informações

- A ART é válida somente após o pagamento da taxa.
- Situação do pagamento da taxa da ART: TAXA DA ART PAGA
- Valor ART: R\$ 88,78 | Data Vencimento: 06/08/2021 | Registrada em: 27/07/2021
- Valor Pago: R\$ 88,78 | Data Pagamento: 27/07/2021 | Nosso Número: 14002104000355196
- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site [www.crea-sc.org.br/art](http://www.crea-sc.org.br/art).
- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.
- Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.025/09 do CONFEA.

## 9. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima.

PARANAGUA - PR, 27 de Julho de 2021

*Felipe Bublitz Bier*

FELIPE BUBLITZ BIER

047.704.609-61

*Assessoria Técnica Ambiental Ltda.*

Contratante: Assessoria Técnica Ambiental Ltda.

05.688.216/0001-05



CREA-SC  
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina



# Anotação de Responsabilidade Técnica - ART

Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina

CREA-SC



## ART OBRA OU SERVIÇO

25 2021 7886449-4

Inicial

Coautoria - ART Principal

### 1. Responsável Técnico

**RODRIGO CAMPOS DE ANDRADE**

Título Profissional: Engenheiro Civil

RNP: 2002503737

Registro: 051146-7-SC

Empresa Contratada: HYDROINFORMATICS SOLUTIONS SOL HIDROINF LTDA

Registro: 126179-5-SC

### 2. Dados do Contrato

Contratante: Assessoria Técnica Ambiental Ltda.  
Endereço: RUA MARECHAL JOSE BERNARDINO BORMANN

CPF/CNPJ: 05.688.216/0001-05  
Nº: 821

Complemento:  
Cidade: CURITIBA

Bairro: BIGORRILHO  
UF: PR

CEP: 80730-350

Valor da Obra/Serviço/Contrato: R\$ 42.000,00

Honorários:

Ação Institucional:

Contrato: CC 20181160 Celebrado em: 17/03/2021

Vinculado à ART:

Tipo de Contratante: Pessoa Jurídica de Direito Privado

### 3. Dados Obra/Serviço

Proprietário: Assessoria Técnica Ambiental Ltda.  
Endereço: Diversos

CPF/CNPJ: 05.688.216/0001-05  
Nº: s/n

Complemento:

Bairro: Jardim Figueira

CEP: 83210-000

Cidade: PARANAGUA

Data de Início: 17/03/2021

Data de Término: 27/07/2021

Coordenadas Geográficas:

Código:

Finalidade: Ambiental

### 4. Atividade Técnica

Consultoria	Avaliação	Estudo	Estudo Impacto Ambiental
<b>Modelagem hidrodinâmica em ambiente aquático</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)
Consultoria	Avaliação	Estudo	Estudo Impacto Ambiental
<b>Modelagem de transporte de sedimentos em ambiente aquático</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)
Consultoria	Avaliação	Estudo	Estudo Impacto Ambiental
<b>Modelagem Matemática</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)
Consultoria	Avaliação	Estudo	
<b>Hidrodinâmica de Ondas</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)
Consultoria	Avaliação	Estudo	Estudo Impacto Ambiental
<b>Dragagem</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)
Consultoria	Avaliação	Estudo	Estudo Impacto Ambiental
<b>Porto</b>			
	Dimensão do Trabalho:	1,00	Unidade(s)

### 5. Observações

Caracterização hidrodinâmica e dos processos de transporte na linha de costa, análise da dispersão do sedimento dragado e análise dos impactos do Porto sobre a hidrodinâmica na Baía de Paranaguá - PR

### 6. Declarações

. A acessibilidade: Declaro, sob as penas da Lei, que na(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART não se exige a observância das regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.

### 7. Entidade de Classe

ACE - 1

### 8. Informações

- . A ART é válida somente após o pagamento da taxa.  
Situação do pagamento da taxa da ART: TAXA DA ART PAGA  
Valor ART: R\$ 233,94 | Data Vencimento: 05/08/2021 | Registrada em: 26/07/2021  
Valor Pago: R\$ 233,94 | Data Pagamento: 26/07/2021 | Nosso Número: 14002104000353820
- . A autenticidade deste documento pode ser verificada no site [www.crea-sc.org.br/art](http://www.crea-sc.org.br/art).
- . A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.
- . Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.025/09 do CONFEA.

### 9. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima.

PARANAGUA - PR, 26 de Julho de 2021

*Rodrigo Campos de Andrade*

RODRIGO CAMPOS DE ANDRADE

020.664.619-46

*Assessoria Técnica Ambiental Ltda.*

Contratante: Assessoria Técnica Ambiental Ltda.

05.688.216/0001-05



**CREA-SC**  
Conselho Regional de Engenharia  
e Agronomia de Santa Catarina