

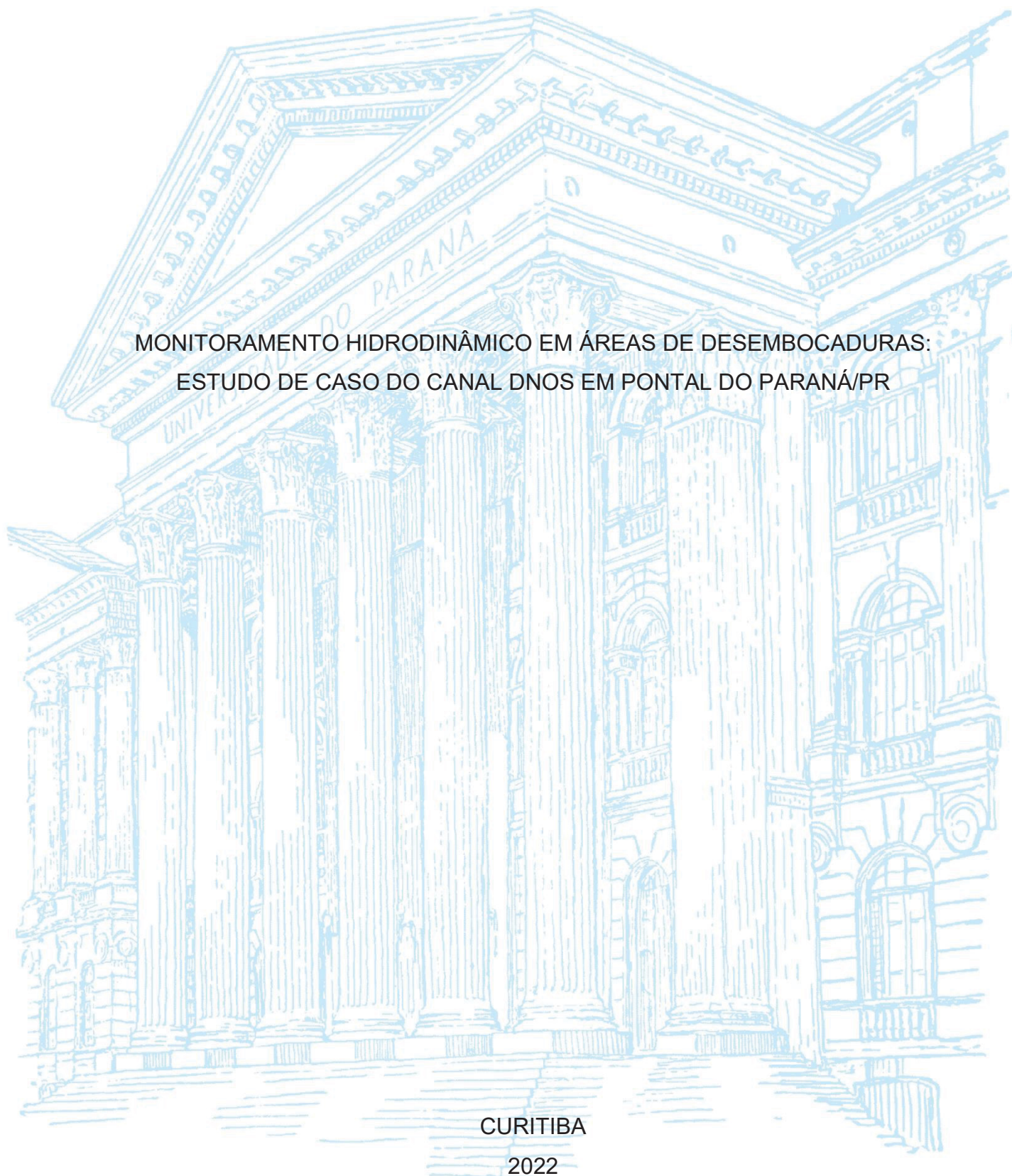
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS MONTEIRO DILDEY

MONITORAMENTO HIDRODINÂMICO EM ÁREAS DE DESEMBOCADURAS:  
ESTUDO DE CASO DO CANAL DNOS EM PONTAL DO PARANÁ/PR

CURITIBA

2022



LUCAS MONTEIRO DILDEY

MONITORAMENTO HIDRODINÂMICO EM ÁREAS DE DESEMBOCADURAS:  
ESTUDO DE CASO DO CANAL DNOS EM PONTAL DO PARANÁ/PR

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Tobias Bernward Bleninger

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Pacheco Tomas

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Dilley, Lucas Monteiro.

Monitoramento hidrodinâmico em áreas de desembocaduras : estudo de caso do canal DNOS em Pontal do Paraná/PR. / Lucas Monteiro Dilley. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Tobias Bernward Bleninger.

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Pacheco Tomas.

1. Hidrodinâmica. 2. Águas fluviais. 3. Saneamento - Brasil. 4. Pontal do Paraná (PR). I. Bleninger, Tobias Bernward. II. Tomas, Gustavo Pacheco. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambiental. III. Título.

Bibliotecário: Nilson Carlos Vieira Júnior CRB-9/1797



## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **LUCAS MONTEIRO DILDEY** intitulada: **Monitoramento hidrodinâmico em áreas de desembocaduras: estudo de caso do Canal DNOS em Pontal do Paraná/PR**, sob orientação do Prof. Dr. TOBIAS BERNWARD BLENINGER, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 05 de Agosto de 2022.

Assinatura Eletrônica

08/08/2022 13:14:42.0

TOBIAS BERNWARD BLENINGER

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

08/08/2022 10:50:39.0

JOSÉ EDUARDO GONÇALVES

Avaliador Interno (INSTITUTO TECNOLOGICO SIMEPAR)

Assinatura Eletrônica

08/08/2022 10:51:34.0

ALEXANDRE BERNARDINO LOPES

Avaliador Externo (55001149)

Dedico este trabalho aos meus familiares, amigos e colegas de trabalho, que contribuíram com apoio e trocas de experiência que viabilizaram a sua conclusão.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço ao apoio da Universidade Federal do Paraná, por adotar como suas diretrizes administrativas a promoção do ensino tanto em nível de graduação quanto de pós-graduação.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), por ter me acolhido ao longo desta jornada e fornecido todo o apoio técnico para a execução deste trabalho, sobretudo na pronta disponibilização de equipamentos.

Agradeço à Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF), por todos esses anos de vínculo profissional e por ter abrigado o estudo técnico que viabilizou o objeto deste estudo.

Agradeço ao Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura (ITTI), que me acolheu ainda durante a graduação e cuja relação perdura até hoje, bem como a todos os meus colegas de trabalho, pelas constantes trocas de experiência que são fundamentais para minha formação como profissional.

Agradeço ao meu orientador, professor Tobias Bernward Bleninger, e ao meu co-orientador, professor Gustavo Pacheco Tomás, pelo comprometimento com este trabalho, pela paciência e, sobretudo, pelos ensinamentos passados durante esta jornada.

Por fim, agradeço a meus amigos e familiares, pelo apoio e paciência ao longo destes últimos anos.

## RESUMO

O presente estudo se presta a diagnosticar o comportamento hidrodinâmico de uma área de desembocadura a partir da aplicação de um estudo de caso da desembocadura do Canal DNOS localizado em Pontal do Paraná/PR, o qual deságua no Complexo Estuarino de Paranaguá, mais precisamente no Canal da Galheta. As desembocaduras são áreas que concentram a descarga fluvial e de canais de drenagem pluvial do interior do continente para o mar, formando regiões de estuários. Para esta pesquisa, foi empreendida uma campanha de campo nas datas de 17 e 18 de setembro de 2020, com a utilização de um equipamento *Acoustic Doppler Current Profile* (ADCP), fabricado pela empresa Sontek, modelo M9. Este equipamento foi conectado com o software *hydrosurveyor*, desenvolvido pelo mesmo fornecedor, o qual permite a medição síncrona de dados de batimetria e de fluxos de corrente. Associado ao M9, foi utilizado o equipamento castway, também fabricado pela Sontek, com o objetivo de coletar e armazenar dados de salinidade e temperatura, os quais são utilizados para correção das medições em decorrência da velocidade de propagação acústica, bem como para auxiliar na caracterização hidrodinâmica da área de estudo. O nível de maré foi monitorado através da instalação de régua na área de estudo, sendo estes dados utilizados para referenciar as profundidades batimétricas para o nível de redução da região. Foi identificada uma declividade de 6% entre o nível praiado e o leito da região da Galheta, cuja profundidade varia entre 10 e 12 m, com exceção do canal dragado para navegação, o qual possui 16 m de profundidade. As correntes na região da Galheta possuem direções predominantes para noroeste durante a maré de enchente, e sudeste durante a maré de vazante, sendo que a velocidade média para maré de enchente é da ordem de 29 cm/s, enquanto que para vazante é 59 cm/s, sendo que, no período de maior instabilidade meteorológica, a velocidade média identificada foi de 83,6 cm/s. Em relação ao comportamento hidrodinâmico na desembocadura do Canal DNOS, a predominância dos fluxos foram direcionados para nordeste em fase de maré de vazante e sudoeste para fase de maré de enchente, correspondentes as direções de entrada e saída do canal. Ademais, foi averiguado que a vazão na desembocadura se apresentou mais significativa na fase de maré de vazante, com valores na ordem de 30 m<sup>3</sup>/s, enquanto que na fase de enchente, a vazão oscilou entre 10 e 15 m<sup>3</sup>/s. Por fim, constatou-se que a região do canal DNOS interceptada pela área de estudo sofre uma influência predominante do regime de marés, haja vista que os valores de salinidade medidos foram mais elevados nos períodos de maré de enchente (33,5 psu) em comparação com a fase de maré de vazante (32 psu), independentemente da localização do ponto amostral.

Palavras-chave: Hidrodinâmica. Canal DNOS. Desembocadura. ADCP. Batimetria.

## ABSTRACT

The present study aims to diagnose the hydrodynamic behavior of an inlet area from the application of a case study of the outlet of the DNOS Canal located in Pontal do Paraná/PR, which flows into the Estuarine Complex of Paranaguá, more precisely into the Canal da Galheta. The mouths are areas that concentrate the fluvial discharge and rainwater drainage channels from the interior of the continent to the sea, forming regions of estuaries. For this research, a field campaign was carried out on the dates of September 17 and 18, 2020, using an Acoustic Doppler Current Profile (ADCP) equipment, manufactured by the company Sontek, model M9. This equipment was connected with the hydrosurveyor software, developed by the same supplier, which allows the synchronous measurement of bathymetry data and current flows. Associated with the M9, the castway equipment, also manufactured by Sontek, was used with the objective of collecting and storing salinity and temperature data, which are used to correct measurements due to the acoustic propagation velocity, as well as to assist in the characterization hydrodynamics of the study area. The tidal level was monitored through the installation of rulers in the study area, and these data were used to reference the bathymetric depths to the level of reduction in the region. A slope of 6% was identified between the beach level and the bed of the Galheta region, whose depth varies between 10 and 12 m, with the exception of the dredged channel for navigation, which is 16 m deep. The currents in the Galheta region have predominant directions to the northwest during the flood tide, and southeast during the ebb tide, with the average speed for the flood tide being of the order of 29 cm/s, while for the ebb tide it is 59 cm/s, except in the period of greater meteorological instability, when the average speed identified was 83.6 cm/s. Regarding the hydrodynamic behavior at the mouth of the DNOS Channel, the predominance of flows were directed to the northeast in the ebb tide phase and southwest for the flood tide phase, corresponding to the channel entry and exit directions. In addition, it was found that the flow at the mouth was more significant in the ebb tide phase, with values in the order of 30 m<sup>3</sup>/s, while in the flood phase, the flow oscillated between 10 and 15 m<sup>3</sup>/s. Finally, it was found that the region of the DNOS channel intercepted by the study area is predominantly influenced by the tidal regime, given that the measured salinity values were higher in the flood tide periods (33.5 psu) in comparison with the ebb tide phase (32 psu), regardless of the location of the sampling point.

Keywords: Hydrodynamics. DNOS Channel. Outlet. ADPC. Bathymetry.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DESCARGA FLUVIAL EM DESEMBOCADURAS.....	26
FIGURA 2 – INFLUÊNCIA DI REGIME DE MARÉS EM DESEMBOCADURAS.....	26
FIGURA 4 – ÁREAS DE ESTUDO SEDIMENTOLÓGICO E MORFODINÂMICO AO LONGO DA COSTA DO RIO GRANDE DO SUL.....	28
FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO DAS FORÇAS DE TRAÇÃO NA SUPERFÍCIE DA TERRA.....	29
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA APROXIMADA DA AÇÃO DAS FORÇAS GERADORAS DE MARÉS EM DETERMINADO PONTO .	30
FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ZONAS DE ESTUÁRIO, SEGUNDO KJERVE .....	33
FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE TIPOS DE CUNHAS SALINAS .....	35
FIGURA 11 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO DGPS.....	37
FIGURA 12 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO EFEITO <i>DOPPLER</i> .....	42
FIGURA 13 – FUNCIONAMENTO DA CONFIGURAÇÃO <i>JANUS</i> .....	43
FIGURA 14 – ADCP MODELO M9 DA MARCA <i>SONTEK</i> .....	44
FIGURA 15 – SENSORES DO EQUIPAMENTO M9 .....	45
FIGURA 16 – INTERFACE DO <i>HYDROSUVERYOR</i> .....	50
FIGURA 17 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS SEÇÕES DE PÓS- PROCESSAMENTO .....	52
FIGURA 18 – PARÂMETROS DO SEMIVARIOGRAMA. ....	53
FIGURA 19 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	57
FIGURA 20 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ.....	58
FIGURA 21 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO CONFORME A PROFUNDIDADE .....	59
FIGURA 22 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS FLUXOS DE MARÉS NO CANAL DA GALHETA .....	61
FIGURA 23 – HISTOGRAMA DAS CORRENTES DE MARÉ NO CANAL DA GALHETA .....	61
FIGURA 24 - ESTRUTURAS LOCALIZADAS NA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS.....	63

FIGURA 25 – SITUAÇÃO ATUAL DO MOLHE LOCALIZADO NA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS EM PONTAL DO PARANÁ	64
FIGURA 26 – PLANEJAMENTO PROSPECTADO PARA AS MEDIÇÕES DE CAMPO .....	72
FIGURA 27 – EQUIPAMENTO CASTWAY.....	73
FIGURA 28 – RÉGUA LINIMÉTRICA UTILIZADA PARA MEDIR AS VARIAÇÕES DE MARÉ NO MOLHE.....	76
FIGURA 29 – RÉGUA DE CONFERÊNCIA UTILIZADA PARA MEDIR AS VARIAÇÕES DE MARÉ NO CAIS DE ATRACAÇÃO .....	76
FIGURA 30 – DISTÂNCIA ENTRE A ÁREA DE ESTUDO E A RÉGUA DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA F-41 1821.....	77
FIGURA 31 – FLUXOGRAMA METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS DE BATIMETRIA .....	79
FIGURA 32 – FLUXOGRAMA METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS DE PERFIS DE VELOCIDADE .....	82
FIGURA 33 – FLUXOGRAMA METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS ATINENTES À HIDRODINÂMICA EXTERNA .....	84
FIGURA 34 – FLUXOGRAMA METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS ATINENTES À HIDRODINÂMICA INTERNA .....	87
FIGURA 35 – PERFIL DA SEÇÃO TRANSVERSAL NA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS.....	89
FIGURA 36 – REGISTRO DAS MEDIÇÕES, DIA 17/09/2020 .....	90
FIGURA 37 – REGISTRO DAS MEDIÇÕES, DIA 18/09/2020, PROJETO 1 .....	91
FIGURA 38 – REGISTRO DAS MEDIÇÕES, DIA 18/09/2020, PROJETO 2 .....	92
FIGURA 39 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA E SALINIDADE .....	93
FIGURA 40 – SUPORTE DE FIXAÇÃO DO EQUIPAMENTO M9 A EMBARCAÇÃO .....	94
FIGURA 41 – POSICIONAMENTO DA BASE DO RTK .....	95
FIGURA 42 – SOFTWARE <i>HYDROSURVEYOR</i> REGISTRANDO AS MEDIÇÕES.....	95
FIGURA 43 – UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO CASTWAY .....	96
FIGURA 44 – COMPARAÇÃO ENTRE DADOS COLETADOS (À ESQUERDA) E DADOS REGISTRADOS NO <i>HYDROSURVEYOR</i> (À DIREITA) ....	100

FIGURA 45 – COMPORTAMENTO DO POSICIONAMENTO ALTIMÉTRICO DO GPS CONFORME VARIA O SINAL DE QUALIDADE DGPS .....	103
FIGURA 46 – DADOS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO DA INTERPOLAÇÃO .....	106
FIGURA 47 – BATIMETRIA INTERPOLADA .....	107
FIGURA 48 – COMPARAÇÃO ENTRE A BATIMETRIA INTERPOLADA E A CARTA NÁUTICA ATUALIZADA PARA 01/06/2022.....	108
FIGURA 49 – BATIMETRIA INTERPOLADA E SEÇÕES DE ESTUDO .....	109
FIGURA 50 – DIREÇÕES PREDOMINANTES – DADOS COLETADOS ENTRE 07:00 E 08:00 E ENTRE 11:00 E 12:00 .....	112
FIGURA 51 – AFUNILAMENTO DOS FLUXOS DE MARÉS NO CANAL DA GALHETA .....	113
FIGURA 52 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS EM RELAÇÃO A ÁREA DE ESTUDO.....	117
FIGURA 53 – DIREÇÕES PREDOMINANTES NO CANAL DNOS .....	122
FIGURA 54 – FLUXOS DE MARÉ DE VAZANTE NA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS E NO CANAL DA GALHETA.....	123
FIGURA 55 – LOCALIZAÇÃO DOS TRANSECTOS ANALISADOS.....	142

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE MEDIÇÕES DE PROFUNDIDADE SEM CORREÇÕES E COM CORREÇÕES DO CTD, COM CORREÇÕES OPERADAS PELO SOFTWARE <i>HYDRODURVEYOR</i> .....	98
GRÁFICO 2 – DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE MEDIÇÕES DE PROFUNDIDADE SEM CORREÇÕES E COM CORREÇÕES DO CTD, COM CORREÇÕES REALIZADAS PELA APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE COPPENS.....	99
GRÁFICO 3 – VARIAÇÃO DE MARÉS REGISTRADAS EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE REDUÇÃO (DIA 17/09/2020).....	104
GRÁFICO 4 – SEÇÃO 1 – NOROESTE DA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS .....	110
GRÁFICO 5 – SEÇÃO 2 – DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS .....	110
GRÁFICO 6 – SEÇÃO 3 – SUDESTE DA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS .....	111
GRÁFICO 7 – MAGNITUDES PREDOMINANTES – DADOS COLETADOS ENTRE 07:00 E 08:00 (MARÉ DE VAZANTE).....	113
GRÁFICO 8 – MAGNITUDES PREDOMINANTES – DADOS COLETADOS ENTRE 07:00 E 08:00 (MARÉ DE ENCHENTE) .....	114
GRÁFICO 9 – MAGNITUDE DOS VETORES DE VELOCIDADE DURANTE A TRANSIÇÃO DE MARÉ DE VAZANTE PARA ENCHENTE .....	115
GRÁFICO 10 – DIREÇÕES DE FLUXO DURANTE A TRANSIÇÃO DE MARÉ DE VAZANTE PARA ENCHENTE .....	115
GRÁFICO 11 – MAGNITUDES PREDOMINANTES DE VELOCIDADES ENTRE 06:54 E 12:51 (ESQUERDA) E ENTRE 15:45 E 16:30 (DIREITA) ..	116
GRÁFICO 12 – MAGNITUDE DOS FLUXOS DE CORRENTE DURANTE E DEPOIS DO PERÍODO E INSTABILIDADE METEOROLÓGICA. ....	119
GRÁFICO 13 – MAGNITUDES PREDOMINANTES DE VELOCIDADES DO CANAL DNOS.....	121
GRÁFICO 14 – MEDIÇÕES DE SALINIDADE UTILIZANDO O CTD .....	124
GRÁFICO 15 – MEDIÇÕES DE TEMPERATURA UTILIZANDO O CTD.....	125
GRÁFICO 16 – MONITORAMENTO DE MARÉ E MEDIÇÕES DE SALINIDADE ..	126

GRÁFICO 17 – SEÇÃO LATITUDINAL 1 – GALHETA.....	143
GRÁFICO 18 – SEÇÃO LATITUDINAL 2 – SUDESTE DO CANAL DNOS .....	144
GRÁFICO 19 – DIREÇÕES DA VELOCIDADE SUPERFICIAL E NO LEITO .....	145
GRÁFICO 20 – SEÇÃO LATITUDINAL 3 – NOROESTE DO CANAL DNOS .....	146
GRÁFICO 21 – SEÇÃO LONGITUDINAL 1 .....	147
GRÁFICO 22 – SEÇÃO LONGITUDINAL 2 .....	148
GRÁFICO 23 – SEÇÃO TRANSVERSAL 1 – NOROESTE DO CANAL DNOS.....	149
GRÁFICO 24 – SEÇÃO TRANSVERSAL 2 – SUDESTE CANAL DNOS .....	150

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – PUBLICAÇÕES DE ESTUDOS REALIZADOS NA ÁREA DE ESTUDO .....	66
QUADRO 2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS ADCP-M9 EM CONJUNTO COM <i>HYDROSURVEYOR</i> .....	70
QUADRO 3 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO EQUIPAMENTO <i>CASTWAY</i> .....	73
QUADRO 4 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS PARÂMETROS MEDIDOS OU CALCULADOS PELO EQUIPAMENTO <i>CASTWAY</i> .....	74
QUADRO 5 – DATA E HORÁRIOS DOS LEVANTAMENTOS REALIZADOS.....	93
QUADRO 6 – SIGNIFICADOS OS NÍVEIS DE QUALIDADE DO “SONTEK DGPS FIXQUALITY” .....	100
QUADRO 7 – RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DOS TRANSECTOS	151

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MARÉS MÁXIMAS E MÍNIMAS PREVISTAS, EM RELAÇÃO AO NÍVEL DE REDUÇÃO .....	78
TABELA 2 – MEDIÇÕES EXECUTADAS .....	91
TABELA 3 – QUANTIFICAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS POR MÉTODO DE GEORREFERENCIAMENTO.....	101
TABELA 4 - DIREÇÕES E VELOCIDADES MÉDIAS DOS VENTOS – ESTAÇÃO PARANAGUÁ.....	118
TABELA 5 - DIREÇÕES E VELOCIDADES MÉDIAS DOS VENTOS – ESTAÇÃO GUARATUBA.....	118
TABELA 6 - DIREÇÕES E VELOCIDADES MÉDIAS .....	120
TABELA 7 – DADOS DO FLUXO NA DESEMBOCADURA.....	122

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ADCP	- <i>Acoustic Doppler Current Profile</i>
CEP	- Complexo Estuarino de Paranaguá
CIRM	- Comissão Interministerial para Recursos do Mar
CONAMA	- <i>Conselho Nacional de Meio Ambiente</i>
CGEE	- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CTD	- <i>Conductivity, Temperature and Depth</i>
DGPS	- <i>Differential Global Positioning System</i>
DHV	- Diretoria de Hidrografia e Navegação
DNOS	- Departamento Nacional de Obras de Saneamento
GI-GERC	- Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro
GLONASS	- <i>Global Navigation Satellite System</i>
GNSS	- Sistema Global de Navegação por Satélites
IGS	- <i>Internacional GNSS Service</i>
MCT	- Ministério da Ciência e Tecnologia
NAVSTAR-GPS	- <i>Navigation System with Timing and Ranging – Global Position System</i>
LEPLAC	- Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira
PNGC	- Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PSRM	- Plano Setorial para os Recursos do Mar
PNRM	- Política Nacional para os Recursos do Mar
ICAO	- Organização Internacional da Aviação Civil
IHO	- Organização Hidrográfica Internacional
RTK	- <i>Real Time Kinematic</i>



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
1.1 OBJETIVOS .....	21
1.1.1 Objetivos específicos.....	21
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	22
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>24</b>
2.1 DESEMBOLCADURAS .....	24
2.1.1 Fluxos de Marés .....	29
2.1.2 Cunhas Salinas em Estuários .....	32
2.2 LEVANTAMENTOS COSTEIROS.....	35
2.2.1 Posicionamento Georreferenciado .....	35
2.2.2 Levantamentos Batimétricos .....	38
2.2.3 Fluxos de Corrente .....	41
2.2.4 Parâmetros Físicos .....	45
2.3 FERRAMENTAS DE PROCESSAMENTO.....	47
2.3.1 Softwares de pós-processamento .....	47
2.3.2 Interpolador topo to raster .....	52
2.4 UTILIZAÇÃO DE DADOS DE ADCP PARA CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA .....	55
<b>3 LOCAL DE ESTUDO</b> .....	<b>57</b>
3.1 COMPLEXO ESTUARINO DE PARANÁGUA.....	57
3.2 CANAL DO DNOS.....	62
3.3 ESTUDOS REALIZADOS SOBRE O LOCAL DE ESTUDO.....	65
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>70</b>
4.1 PLANEJAMENTO PARA EXECUÇÃO DOS LEVANTAMENTOS .....	70
4.2 VARIAÇÃO DE NÍVEL DE MARÉ .....	75
4.3 BATIMETRIA.....	78
4.4 PERFIS DE VELOCIDADE .....	80
4.4.1 Hidrodinâmica Externa .....	83
4.4.2 Hidrodinâmica Interna .....	86
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>90</b>
5.1 LEVANTAMENTOS DE CAMPO.....	90
5.1.1 Registro das seções de medição .....	93

5.1.2 Dificuldades detectadas .....	96
5.1.2.1 Ausência de registro de seções de medição .....	96
5.1.2.2 Alterações na qualidade do sinal DGPS.....	100
5.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS .....	105
5.2.1 Batimetria .....	105
5.2.2 Hidrodinâmica externa.....	111
5.2.3 Hidrodinâmica interna.....	120
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>128</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICE 1 – DIÁRIO DE MEDIÇÕES .....</b>	<b>138</b>
<b>APÊNDICE 2 – PARÂMETROS DE MEDIÇÕES HIDROGRÁFICAS, SEGUNDO A S-44 .....</b>	<b>140</b>
<b>APÊNDICE 3 – ANÁLISE DE TRANSECTOS.....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE 4 – ARTIGO SUBMETIDO AO XXX CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA.....</b>	<b>152</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desembocaduras são locais onde ocorre uma descarga hídrica no oceano proveniente da drenagem de corpos hídricos localizados no interior do continente. As desembocaduras, que podem ser constituídas de canais naturais ou artificiais, são fundamentais para o adequado funcionamento de ecossistemas aquáticos, promovendo o escoamento das águas em direção aos oceanos. Em alguns casos, as dimensões das desembocaduras permitem que estas sejam utilizadas para a navegação, fato este que potencializa a necessidade de que seja procedido o seu gerenciamento.

Em termos de comportamento físico, as desembocaduras são consideradas um dos elementos mais relevantes que podem provocar um desequilíbrio sedimentar, colaborando para a deflagração de processos erosivos, sobretudo em virtude da descarga identificada nestas regiões. O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), órgão vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) elaborou, em 2007, o estudo intitulado “Mar e ambientes costeiros”, onde fica consignado que a existência de desembocaduras fluviais é um dos principais fatores de susceptibilidade a ocorrência de desequilíbrios sedimentares, sendo consideradas prioritárias no estabelecimento de programas de monitoramento contínuo de variabilidade praial (CCGE, 2008).

Em sentido semelhante, o estudo de Morais *et. al.* (2008) indica que, dentre os estudos destinados a avaliar a erosão costeira empreendidos no Brasil, cerca de 30% são destinados a avaliar a deflagração de processos erosivos provenientes de desembocaduras, sendo 15% referentes às desembocaduras de rios e estuários e 15% relacionados a desembocaduras de pequenos canais. Exemplos de estudos que versam sobre desembocaduras podem ser identificados, além do autor supramencionado, também nos estudos de Cassiano & Siegle (2010) e Figueiredo & Calliari (2006), os quais serão oportunamente detalhados, mas que demonstram a relevância científica existente na análise destas áreas.

Por estes motivos, é de salutar relevância científica que sejam empreendidos estudos que versem sobre o monitoramento da hidrodinâmica e de outros aspectos ambientais atuantes nestas áreas. Neste contexto, o presente trabalho objetivou analisar, a partir de dados reais obtidos em levantamentos de campo, compreender o comportamento hidrodinâmico de uma desembocadura sob influência da variação de

maré. A região de estudo corresponde a desembocadura do canal DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento) localizada no município de Pontal do Paraná, mais precisamente no balneário de Pontal do Sul, o qual desagua no Canal da Galheta, compreendido pelo Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

A campanha de medições ocorreu nos dias 17 e 18 de setembro de 2020, no qual o dia 17 foi utilizado sobretudo para testes dos equipamentos e medições no interior do Canal DNOS, enquanto que no dia 18 foi dedicado ao integral cumprimento do cronograma de campo, com medições realizadas ao longo da desembocadura do Canal DNOS e no Canal da Galheta.

Em relação especificamente aos levantamentos executados em ambientes aquáticos, o equipamento *Acoustic Doppler Current Profile* (ADCP) é amplamente adotado por fornecer dados fidedignos dos aspectos que determinam o comportamento hidrodinâmico de determinado corpo hídrico, sendo eles a profundidade e os fluxos de corrente. O posicionamento foi determinado utilizando um sistema RTK acoplado ao equipamento. Além disso, foi utilizado um medidor *conductivity, temperatura and depth* (CTD), com o objetivo de promover correções nas medições obtidas pelo ADCP e obter dados relativos a parâmetros físicos de temperatura e salinidade ao longo da coluna d'água. Concomitantemente as medições executadas, foi realizado o monitoramento da variação do nível de maré com o uso de duas réguas posicionadas no interior do Canal DNOS e no molhe localizado em sua desembocadura.

O equipamento ADCP foi projetado, inicialmente, para a medição de vazão em seções transversais a partir da aplicação do efeito *doppler*. Todavia, as empresas fabricantes destes equipamentos têm enveredado esforços para que este seja utilizado para coletar outros dados para o monitoramento hidrodinâmico de determinada área de estudo, como perfis de velocidade, turbulência, transporte de sedimentos, profundidades, dentre outros. No presente estudo, foi adotado o software *hydrosurveyor*, desenvolvido pela empresa Sontek, o qual permite armazenar dados de profundidade e perfis de velocidade concomitantemente. Tal fato representa um substancial avanço na otimização da coleta de dados em ambientes aquáticos, haja vista que, via de regra, dados de batimetria e de perfis de velocidade eram coletados por equipamentos distintos, seguindo cronogramas autônomos de levantamentos de campo, o que demandava a necessidade de sobreposição destes dados em etapas

posteriores de pós-processamento, implicando em um maior risco de erros de precisão de posicionamento.

Com a obtenção dos dados primários e seu efetivo processamento, foram fornecidos resultados relevantes a fim de contribuir com a efetiva caracterização hidrodinâmica desta região, bem como para definir diretrizes a serem adotadas tanto nos procedimentos de inserção de dados para modelagens futuras ou na calibração e validação de modelos computacionais, colaborando para o exercício contínuo de validação e aprimoramento das técnicas empregadas em modelagens computacionais comparando-os com dados obtidos em levantamentos primários.

Relevante considerar que a obtenção de dados primários apresenta uma série de dificuldades de ordem logística, financeira e operacional. Primeiro, em relação aos aspectos logísticos, ressalta-se a necessidade de manter a sincronia entre todos os equipamentos adotados durante os levantamentos, o que inclui aqueles destinados a obtenção de dados hidrodinâmicos, bem como os equipamentos utilizados para monitorar o posicionamento georreferenciado dos pontos de medição. No aspecto financeiro, destaca-se os custos de aquisição ou aluguel de equipamentos, de aluguel de veículos de transporte aquático e da própria equipe de profissionais de campo. No aspecto operacional, o manejo adequado dos equipamentos em consonância com os softwares de coleta e armazenamento de dados.

Desta forma, o presente trabalho se justifica como uma valiosa oportunidade de fornecer uma fonte de informações e dados primários a serem considerados por profissionais que empreenderem análises ambientais nesta região, com o intuito de que este estudo seja utilizado como referência técnica para validação e comparação de resultados.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um diagnóstico do comportamento hidrodinâmico da desembocadura do canal DNOS em Pontal do Paraná, a partir do monitoramento executado por meio da obtenção de dados primários.

### 1.1.1 Objetivos específicos

Com o intuito de atingir o objeto geral do trabalho, são cotejados os seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliação da área de estudo e publicações existentes sobre o local;
- b) Realização das medições de campo;
- c) Processamento e análise dos dados de batimetria;
- d) Processamento e análise dos dados de fluxos de corrente;
- e) Processamento e análise dos parâmetros físicos de salinidade e temperatura;
- f) Apresentação do diagnóstico de aspectos físicos da hidrodinâmica do local da área de estudo identificáveis a partir dos dados coletados.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho prevê a subdivisão em seis capítulos assim organizados: introdução, revisão bibliográfica, local de estudo, materiais e métodos, resultados, considerações finais.

Quanto ao capítulo de introdução, foram explanados sobre os aspectos gerais deste estudo, sua justificativa e objetivos gerais e específicos prospectados, os quais convergem para o monitoramento hidrodinâmico de uma região de desembocadura sujeita a dinâmicas de maré.

O capítulo de revisão bibliográfica objetiva apresentar uma contextualização teórica dos principais aspectos técnicos envolvidos nesta pesquisa, sendo eles: gerenciamento costeiro e desembocaduras, aspectos relevantes a serem observados em levantamentos costeiros, sendo eles o posicionamento das medições, os levantamentos batimétricos e de fluxos de corrente e a relevância dos parâmetros físicos; ferramentas de processamento, incluindo softwares adotados no pós-processamento de dados e métodos de interpolação; finalizando com a apresentação de estudos que utilizam do ADCP para monitoramento hidrodinâmico.

O capítulo referente ao local de estudo se presta a detalhar o ambiente onde foram executados os levantamentos de campo, o qual foi, precisamente, o Canal DNOS cuja desembocadura está localizada em Pontal do Sul, no município de Pontal do Paraná, que se encontra compreendido no Complexo Estuarino de Paranaguá. Para melhor elucidar as principais características desta região, será apresentado um compilado de estudos técnicos empreendidos nesta área.

O capítulo referente aos materiais e métodos se prestará a detalhar os métodos adotados para o planejamento das atividades de campo e monitoramento da variação do nível de maré, bem como as metodologias implementadas na obtenção dos resultados, subdivididos em batimetria e hidrodinâmica externa (Canal da Galheta) e interna (desembocadura do Canal DNOS).

O capítulo de resultados apresenta um compilado dos levantamentos de campo, destacando sobretudo as dificuldades operacionais identificadas na campanha realizada, avaliando sua relevância frente as características deste levantamento, e propondo soluções, quando necessárias. Ademais, são apresentados os resultados obtidos a partir do processamento dos dados, os quais foram incorporados no artigo submetido ao XXX Congresso Latino-americano de Hidráulica (APÊNDICE 4). Estes resultados são subdivididos em batimetria, hidrodinâmica externa e hidrodinâmica interna.

Por fim, o capítulo de conclusões e recomendações se presta a compilar os resultados obtidos, apresentados propostas de encaminhamentos para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Buscando o embasamento teórico para a realização da pesquisa, foram revisadas diferentes publicações e documentos oficiais que contemplem práticas adotadas para o gerenciamento costeiro, sobretudo os voltados para áreas de desembocaduras em estuários. Posteriormente, fez-se uma análise atinente aos aspectos relevantes a serem observados em levantamentos costeiros, sendo eles questões atinentes ao posicionamento georreferenciado, levantamentos batimétricos e de fluxos de corrente, finalizando com uma análise da relevância dos parâmetros físicos. Não obstante, foram abordadas as ferramentas adotadas para coleta de dados de campo, detalhando o funcionamento do ADPC acoplado a equipamentos de geoprocessamento, bem como ferramentas de processamento, com softwares de pós-processamento e métodos de interpolação. Por derradeiro, são apresentados estudos que utilizaram de dados coletados a partir de ADCP para caracterização hidrodinâmica de determinadas áreas, a fim de atestar a aplicabilidade deste equipamento em estudos técnico-científicos.

### 2.1 DESEMBOCADURAS

Em termos gerais, desembocaduras são locais onde um determinado corpo hídrico afluente desagua em um corpo hídrico efluente, sendo que, no caso de zonas costeiras, as desembocaduras constituem de locais onde rios naturais ou canais artificiais desaguam no oceano.

Tais locais estão inseridos em ambientes caracterizados pela transição entre o ambiente fluvial continental e o oceânico, que são denominados estuários, para os quais existem uma pluralidade de definições na literatura. Neste contexto, tanto o estudo de Barbosa (2006) quanto o de Rosário (2016) firmam entendimento de que o conceito elaborado por Pritchard sobre estuários, no qual define que estes são corpos de água costeiros, semifechados, que possuem uma ligação direta para com o oceano aberto, sendo que, em seu interior, a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce proveniente da drenagem continental.

Uma outra definição mais analítica de estuário é apresentada por Dionne (1963), o qual pugna pela sua subdivisão em três setores:

- a) Estuário inferior: é a região ligada diretamente com o oceano;



- b) Estuário médio: corresponde a uma região intermediária entre as desembocaduras e o oceano, caracterizado pela mistura entre água marinha e água proveniente de rios;
- c) Estuário superior: corresponde à região de predominância de água doce, mas que ainda assim está sujeita ao regime de marés.

Outra classificação relevante é quanto ao grau de influência de ondas ou marés, a qual se baseia no fato de que os estuários podem sofrer tanto a influência da descarga de águas fluviais quanto a influência da dinâmica oceânica. A predominância de uma das influências é adotada para classificar um estuário como dominado por ondas ou dominado por marés. Os estuários dominados por ondas são aqueles que apresentam desembocaduras com elevada energia, que acarretam na estratificação das fácies nos depósitos próximos à foz dos rios, com a formação de desembocaduras na forma de delta. Já os estuários dominados por marés caracterizam-se pelo predomínio da energia das correntes de marés, com a formação de barreiras paralelas a direção destas correntes, tendo geralmente o formato de funil (BARBOSA, 2006).

Outras classificações são apresentadas no estudo de Rosário (2016), como a classificação baseada no balanço hídrico. Todavia, sua aplicabilidade é melhor implementada em regiões áridas, a qual não corresponde as características desta área de estudo. De toda a sorte, maiores informações quanto à classificação de estuários pode ser consultada no referido estudo.

No trabalho empreendido por Schettini (2002), que diz respeito à caracterização física do estuário do Rio Itajaí-açu, o referido autor organizou os resultados segundo as componentes físicas predominantes nestes ambientes, as quais seriam a componente fluvial, que diz respeito a descarga hídrica proveniente do continente, bem como a interação estuário-oceano, que corresponde sobretudo à influência do regime de marés na área de estudo. A representação gráfica destes parâmetros físicos é apresentada na FIGURA 1 e na FIGURA 2, cujo esquema considera as características da área adotada no presente trabalho.

FIGURA 1 – DESCARGA FLUVIAL EM DESEMBOCADURAS

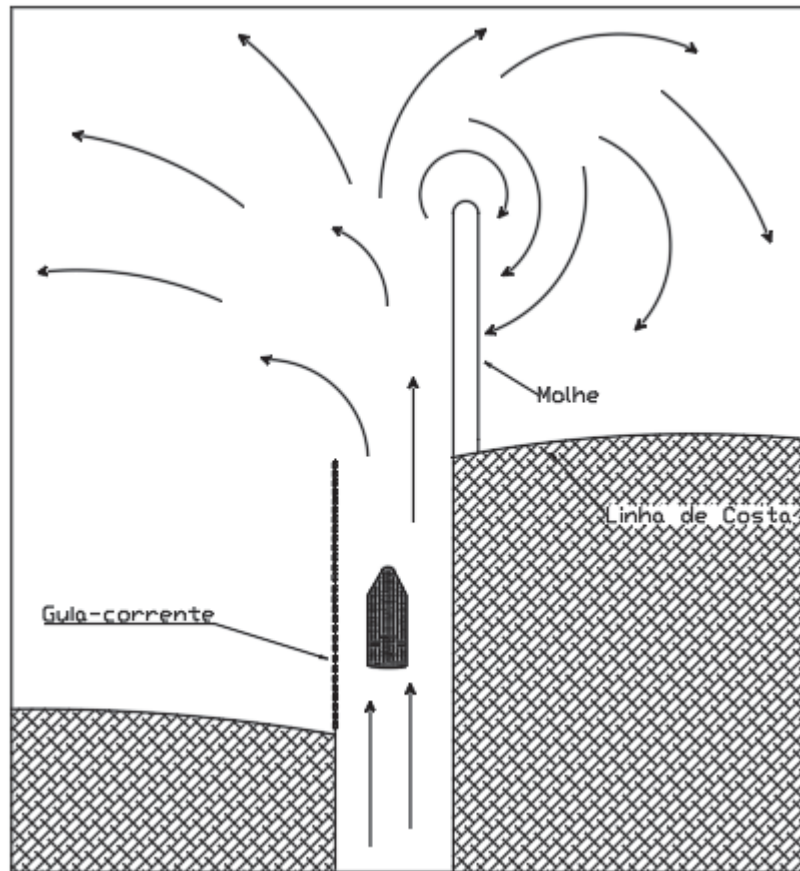
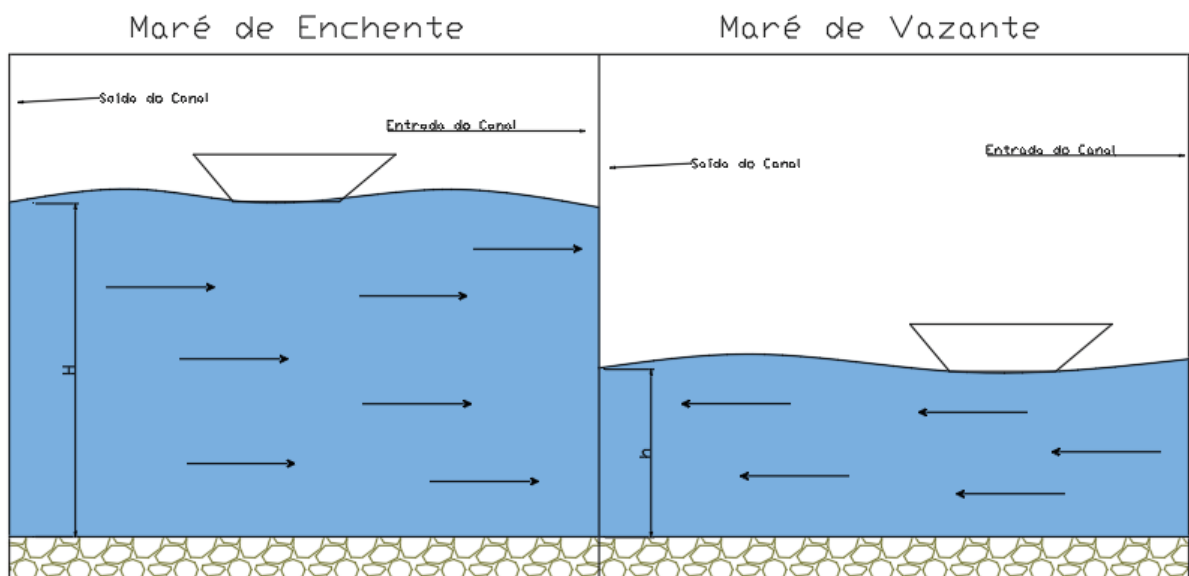


FIGURA 2 – INFLUÊNCIA DI REGIME DE MARÉS EM DESEMBOCADURAS



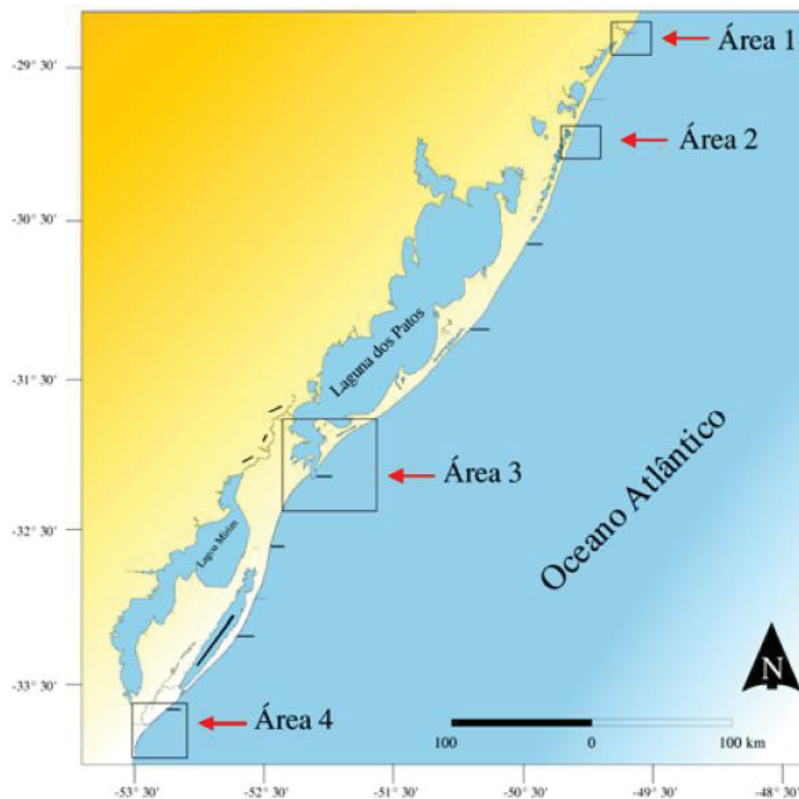
A evolução morfodinâmica de regiões de desembocaduras constituem de um dos principais objetos de estudos relativos à temática de erosão costeira. Exemplo disso é o estudo de Cassiano & Siegle (2010), o qual analisou a evolução

morfodinâmica da desembocadura do Rio Itapocú, localizado na região centro-norte do litoral de Santa Catarina. Em suas conclusões, pontua-se que o canal analisado atua como um molhe hidráulico, com a identificação de feições geomorfológicas correspondentes a deposição de bancos de areia na porção sul do canal. Este comportamento indica que a deriva litorânea ocorre predominantemente de sul para norte, sendo que o canal está impedindo o transporte de sedimentos neste sentido.

Já o estudo de Moraes *et. al.* (2008) versa sobre um estudo de caso aplicado em Pontal de Maceió, no Ceará, cujas praias sofrem influência da desembocadura do Rio Jaguaribe. Trata-se de um rio de porte considerável, o que acentuou o seu comportamento como molhe hidráulico. Neste estudo, foi monitorado o recuo da linha de costa proveniente da erosão costeira entre 1998 e 2006. Entre os anos de 1999 e 2003, a faixa de praia de Pontal de Maceió recuou, em média, 88 metros. Em decorrência destes altos valores identificados, foi construído o açude Castanhão com o objetivo de diminuir a vazão do Rio Jaguaribe na região de sua desembocadura. A construção do açude Castanhão permitiu que a taxa de recuo da linha de costa diminuísse de uma faixa de 17 a 29 metros por ano para 10 a 19 metros por ano.

Um último exemplo é o estudo de Figueiredo & Calliari (2006), o qual avaliou o comportamento sedimentológico e morfodinâmico das praias adjacentes às desembocaduras localizadas ao longo da linha de costa do Rio Grande do Sul, sendo selecionadas quatro áreas, conforme apresentada FIGURA 3.

FIGURA 3 – ÁREAS DE ESTUDO SEDIMENTOLÓGICO E MORFODINÂMICO AO LONGO DA COSTA DO RIO GRANDE DO SUL



FONTE: Figueiredo & Calliari (2006).

A área 1 corresponde a desembocadura do Rio Mampituba; a área 2, a desembocadura da Laguna de Tramandaí; a área 3, a desembocadura da Laguna dos Patos e a área 4 corresponde à desembocadura do Arroio Chuí.

Inicialmente, os resultados apresentados pugnam pela considerável homogeneidade nos padrões granulométricos nas praias adjacentes ao Rio Mampituba, Arroio Chuí e da Laguna Tramandaí, o que indica que estas desembocaduras não influenciam significativamente na contribuição de sedimentos. Por outro lado, foi identificado um padrão heterogêneo de distribuição de sedimentos ao longo das praias adjacentes da Laguna dos Patos, o que indica que a sua granulometria nesta região é representada por areia muito fina, que é mais facilmente transportável. Nestas praias adjacentes à Laguna dos Patos, as diferenciações sedimentológicas e morfodinâmicas são bem evidentes. Por outro lado, as maiores variações de volume e mobilidade de praias estão associadas a sedimentos com granulometria com maiores percentuais de areia média, logo, as praias adjacentes ao

Rio Mampituba, Arroio Chuí e da Laguna de Tramandaí apresentaram maiores variações de volume e mobilidade de praias.

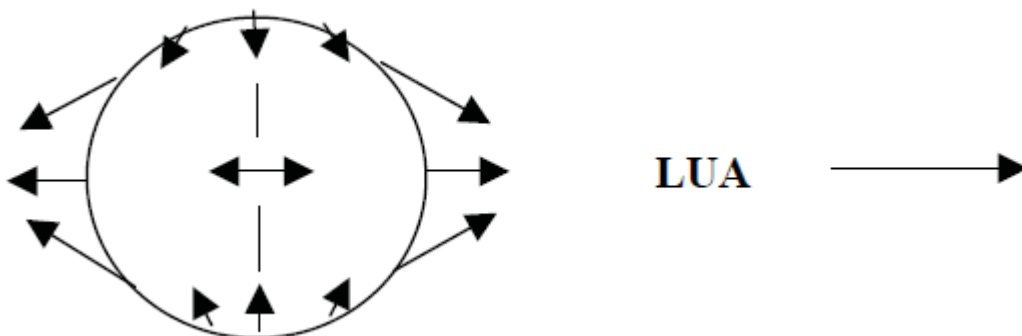
Desta forma, ressalta-se a relevância de se obter e avaliar dados físicos em áreas de desembocadura, as quais podem ser aproveitados em estudos semelhantes aos apresentados neste cotejo.

Assim, considerando que os aspectos de descarga foram abordados neste tópico introdutório, destacando sua influência na deflagração de processos erosivos em decorrência da formação de um molhe hidráulico, resta abordar a influência dos fluxos de marés, bem como o comportamento dos parâmetros de salinidade nestas regiões, cujo devido detalhamento é apresentado nas seções subsequentes.

### 2.1.1 Fluxos de Marés

As dinâmicas das marés costeiras são sujeitas as forças gravitacionais geradoras de marés, as quais são associadas a fenômenos meteorológicos e atmosféricos. Segundo Oliveira (2004), as forças geradoras das marés se baseiam essencialmente nos princípios da Lei da Gravitação Universal de Isaac Newton, a qual define, em síntese, que todos os corpos exercer forças de atração que varia diretamente em relação ao produto de suas massas e inversamente em relação ao quadrado de suas distâncias. Esta força pode ser decomposta em componentes horizontal e vertical, sendo que a componente horizontal é a responsável pelo movimento oscilatório das marés, também chamada de força de tração, a qual pode ser representada através da FIGURA 4.

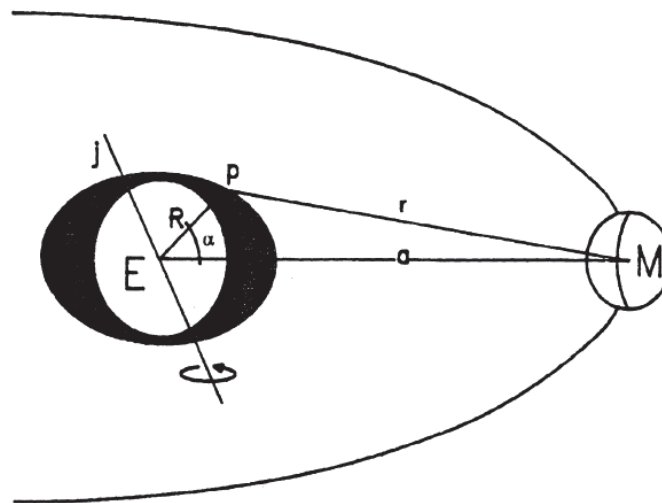
FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO DAS FORÇAS DE TRAÇÃO NA SUPERFÍCIE DA TERRA



FONTE: Oliveira (2004).

A partir da análise da FIGURA 4, evidencia-se que a intensidade das forças de tração não são uniformes ao longo de toda a superfície da terra. Em verdade, a variação das forças geradoras de marés ocorre segundo a distância entre determinado ponto e o corpo perturbador (Sol ou Lua), cuja representação gráfica aproximada é apresentada na FIGURA 5.

FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA APROXIMADA DA AÇÃO DAS FORÇAS GERADORAS DE MARÉS EM DETERMINADO PONTO



FONTE: Cordini (1998).

Onde:

j corresponde ao eixo de rotação do corpo de interesse, no caso, a Terra;

p corresponde a localidade onde se pretende compreender as forças geradoras de marés atuantes;

E corresponde a massa do corpo de interesse, no caso, a Terra [M];

M corresponde a massa do corpo perturbador, no caso, Lua ou Sol [M];

R corresponde a distância entre o centro de gravidade do corpo de interesse e a localidade p [L];

a corresponde ao eixo que interliga o centro de massa do corpo de interesse e do corpo perturbador [L];

r corresponde ao eixo que liga a localidade p e o centro de massa do corpo perturbador [L];

$\alpha$  corresponde ao ângulo entre a distância R e o eixo a [°].

Cordini (1998) pontua que a representação gráfica apresentada na FIGURA 5 deve ser interpretada como uma aproximação, uma vez que tanto o corpo de interesse (Terra) quanto os possíveis corpos perturbadores (Sol ou Lua) não são perfeitamente esféricos, e nem descrevem órbitas perfeitamente elípticas ou circulares.

O supramencionado autor complementa, ainda, que os movimentos dos corpos perturbadores são repetitivos em períodos diários, sobretudo em relação ao movimento rotacional terrestre, o que faz com que a latitude e colatitude do corpo perturbador possa ser interpretado como uma frequência oscilatória, sendo que quando multiplicadas por números inteiros determinam tantas outras frequências de oscilação do potencial gerador de marés, completando assim os efeitos harmônicos no potencial astronômico gerador de maré (CORDINI, 1998). Em síntese, devido ao movimento rotacional da Terra associado aos movimentos orbitais da Lua, a posição de cada área da superfície terrestre em relação à Lua sofre uma variação que influencia na atração gravitacional incidente neste local, implicando na variação oscilatório do nível de maré.

Neste contexto, podem ser identificadas quatro faixas de frequências de oscilação relevantes para o potencial gerador de maré (CARTWRIGHT & EDDEN, 1973 *apud* CORDINI, 1998):

- a) Entre 0 e 0,03 rad/h para longos períodos;
- b) Entre 0,2 e 0,3 rad/h para períodos diurnos (1 ciclo por dia);
- c) Entre 0,45 e 0,55 rad/h para períodos semidiurnos (2 ciclos por dia);
- d) 0,7588 rad/h para períodos ter-diurnos (3 ciclos por dia).

Oliveira (2004) define longos períodos como tendo duração entre 1 e 8,8 dias, períodos diurnos como tendo duração entre 31 e 21 horas e períodos semidiurnos como tendo duração entre 14 e 11,4 horas.

Além das forças geradoras de marés, existem outros fenômenos que influenciam seu comportamento, sobretudo aspectos meteorológicos. Esta influência, segundo Cordini (1998), implica em erros nos modelos adotados para predição das “marés puras”, que seriam advindas exclusivamente das forças geradoras de marés. Para o autor, estes erros podem ser categorizados como harmônicos ou contínuos.

Os erros harmônicos correspondem a fenômenos meteorológicos cuja frequência é muito semelhante à das forças geradoras de marés, o que implica na necessidade de adoção de filtros para isolar a influência de cada uma destas

componentes da altura da maré. Além disso, eventos meteorológicos mais extremos, como passagem de frentes e tempestades, possuem o potencial de gerar erros aleatórios que influenciam nos erros contínuos no espectro de marés, os quais tendem a perdurar durante o fenômeno meteorológico em questão. Nestes casos, pode ocorrer a forte incidência de ventos e de variações na pressão do ar, que acarretam na variação da altura das marés em até alguns metros, em fenômenos nominados de ressacas (CORDINI, 1998). Em síntese, a diferença entre a maré prevista a partir das forças geradoras de marés e o nível do mar é chamada de maré meteorológica.

Conforme definição apresentada, a influência do regime de maré é um dos elementos adotados para a classificação de regiões de estuários, destacando a relevância da mensuração do grau de influência que o regime de marés exerce sobre uma região estuarina. No já citado estudo de Schettini (2002), cujo objetivo é a caracterização física do estuário do Rio Itajaí-açu, em Santa Catarina, observou que a onda de maré se propagada em até 70 km no interior da barra do estuário, atingindo o município de Blumenau, com oscilações de até 15 cm em marés de sizígia, variando também em relação a intensidade da descarga fluvial atuante em determinado momento.

Já no estudo de Ribeiro (2008), cujo objetivo foi avaliar os processos de alterações da maré astronômica na desembocadura da Lagoa dos Patos, cuja conclusão pugna pela maior influência da maré nesta região advinda dos efeitos astronômicos e pelo regime de ventos, bem como diferenças de amplitudes decorrentes de outras forçantes, como a descarga fluvial.

Por fim, o estudo de Lins (2018), o qual avaliou a propagação das marés salina e a dinâmica no Rio Ipojuca, em Pernambuco, avaliou que a força de maré é reduzida na medida que avança para o interior da desembocadura, causando maiores diferenças de fase, sobretudo nas fases de maré de sizígia. Ademais, foi averiguado que, durante a sizígia, o estágio de maré de vazante é muito superior ao de enchente, enquanto que durante a fase de quadratura, essa assimetria é mais sutil, com 1 hora de preamares e 2 horas nas baixa-mares.

### 2.1.2 Cunhas Salinas em Estuários

A presente seção se prestará a apresentar os possíveis comportamentos do parâmetro físico da salinidade em ambientes estuarinos, haja vista a interseção entre



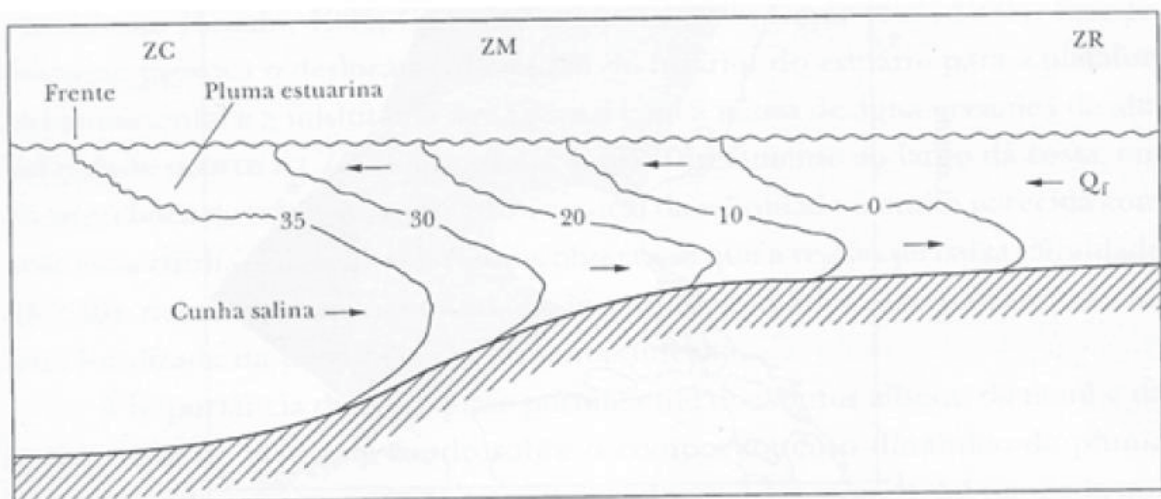
o ambiente fluvial continental, de baixa salinidade, e o ambiente marinho, de elevada salinidade.

Dentro dos conceitos de estuários, persiste um que considera a variação do comportamento da salinidade nestes ambientes, o qual foi elaborado por Kjerve (1987), com a adição dos conceitos de pluma estuarina e cunha salina, que define as três zonas de estuário seguinte forma (*apud* Miranda *et. al.*, 2002):

- a) Zona costeira (ZC): corresponde a região costeira que está à frente da pluma estuarina;
- b) Zona de mistura (ZM): corresponde a região de mistura entre a água marinha e a água proveniente de rios, gerando uma cunha salina e a pluma estuarina em virtude da mistura de águas com diferentes níveis de salinidade;
- c) Zona de maré do rio (ZR): corresponde a região onde a salinidade é praticamente igual a zero, mas sujeita a regime de marés.

A ilustração do conceito apresentado pode ser observada na FIGURA 6, onde  $Q_f$  representa a vazão proveniente do rio ou canal.

FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ZONAS DE ESTUÁRIO, SEGUNDO KJERVE



FONTE: Miranda *et. al.* (2002).

O estudo de Barbosa (2006) apresenta classificações de estuários baseado na morfologia, na estratificação salina, e pela influência de ondas ou marés, baseados

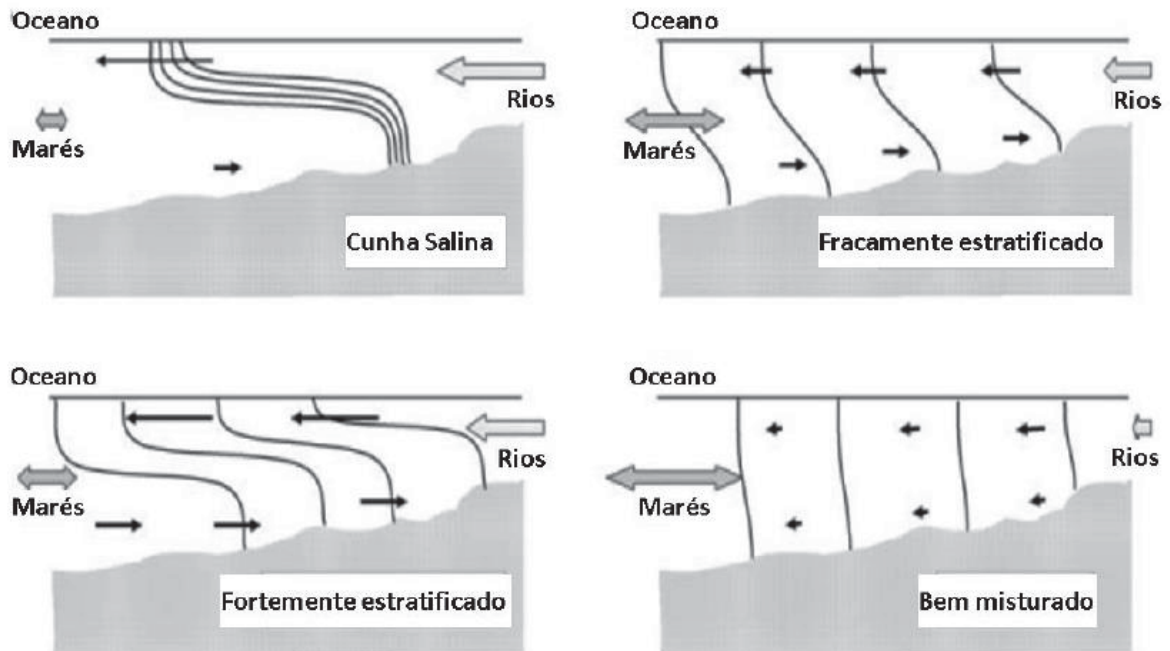
sobretudo nos estudos de Pritchard (1952; 1955; 1989), Stommel (1951; 1953) e Dyer (1997).

Em relação a estratificação salina, a sua classificação considera a quão acentuada é a cunha salina, o que implica num maior ou menor grau de mistura entre a água marinha e a água proveniente de rios, conforme exposto na FIGURA 7. Utilizando este critério, os estuários podem ser classificados em (BARBOSA, 2006; ROSÁRIO, 2016):

- a) Estuário tipo cunha salina: são os estuários que apresentam baixo grau de mistura entre água marinha e água dos rios, o que acarreta na existência de uma considerável variação de salinidade ao longo da coluna d'água. Geralmente são estuários que possuem razão largura/profundidade elevada;
- b) Estuário parcialmente misturado: são estuários que apresentam uma cunha salina menos acentuada, o que indica a existência de uma maior mistura, geralmente proveniente da existência de vórtices turbulentos próximos as regiões de desembocadura;
- c) Estuário verticalmente homogêneo: são os estuários que apresentam pouca estratificação salina ao longo da coluna d'água, geralmente associados a estuários que apresentam baixa descarga fluvial.

A FIGURA 7 apresenta a representação gráfica dos estuários considerando diferentes configurações de cunhas salinas.

FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE TIPOS DE CUNHAS SALINAS



FONTE: Rosário (2016).

Portanto, o entendimento dos dados de salinidade colabora para compreender os esforços físicos dominantes em determinado estuário, indicando inclusive a possibilidade de existência de vórtices em suas desembocaduras.

## 2.2 LEVANTAMENTOS COSTEIROS

Esta seção objetiva apresentar aspectos que merecem consideração quando são executados levantamentos de dados em ambientes costeiros. Neste ínterim, serão abordadas questões referentes aos procedimentos essenciais para a execução de campanhas para obtenção de dados primários, em especial considerando os aspectos analisados neste estudo. Por este motivo, a subseções seguintes versaram sobre o posicionamento georreferenciamento dos levantamentos, os levantamentos batimétricos e de fluxos de corrente, e a relevância dos parâmetros físicos sobretudo no contexto de levantamentos utilizando equipamentos acústicos.

### 2.2.1 Posicionamento Georreferenciado

Para quaisquer levantamentos de campo, sejam aqueles aplicados a recursos hídricos, sejam aqueles aplicados a outros campos da ciência, demandam obrigatoriamente um rastreamento adequado da sua posição geográfica.

Em relação aos métodos de posicionamento, Krueger (1996) afirma que estes podem ser divididos em métodos absolutos e relativos. No caso dos métodos absolutos, estes se baseiam na adoção de um único receptor para determinação do posicionamento georreferenciado, enquanto que os métodos relativos adotam ao menos dois receptores para esta finalidade.

O método absoluto estático consiste na utilização de um único receptor estático para rastrear determinado posicionamento, empregando um único receptor GPS (BRICEÑO, 2000). Os dados coletados pelo método absoluto podem ser processados pelo IGS (*Internacional GNSS Service*) dentre outros bancos de dados para realizar correções de posicionamento, sendo que esta etapa de pós-processamento é chamada de Posicionamento por Ponto Preciso. Segundo Nakao (2020), a adoção deste método de pós-processamento confere ao georreferenciamento uma melhor precisão, com redução de custos e automatização do processamento de dados georreferenciados.

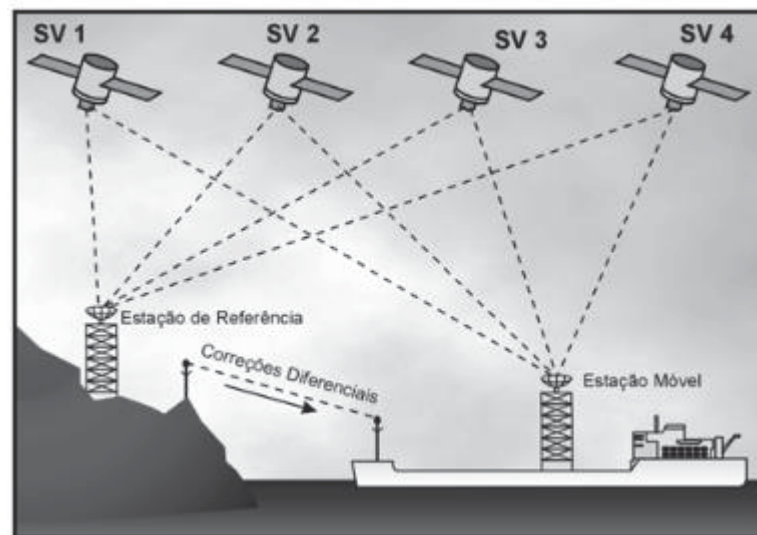
O método relativo estático consiste na adoção de uma estação de base em conjunto com a estação localizada na posição cujas coordenadas se desejam determinar. A adoção de mais de um receptor potencializa na determinação das ambiguidades existentes na observável da fase de onda portadora, o que alavanca a sua precisão. Para uma linha de base inferior a 10 km em locais sem obstruções naturais, cerca de 20 minutos de rastreamento são necessários para obter uma solução adequada das ambiguidades (NAKAO, 2020).

Já o posicionamento pelo método relativo cinemático consiste na adoção de uma estação base fixa num ponto de coordenadas conhecidas, associada a uma estação móvel cujas coordenadas se desejam determinar, que acompanha a trajetória do equipamento de medição. Julga-se adequado que sejam adotados pelo menos cinco satélites para execução deste método, o que, segundo Nakao (2020), possibilita que “haja a redundância e a solução seja passível de ser obtida”. A mesma autora ainda sugere que seja adotado um procedimento de inicialização consistente na estacionariedade do receptor estático por alguns minutos para rastreamento dos satélites, para que então inicie a trajetória a ser descrita. Em relação ao método de

posicionamento relativo cinemático, dois conceitos de posicionamento se destacam: o DGPS e o RTK.

O conceito de posicionamento DGPS (*Differential Global Positioning System*), consiste na premissa de que, quando duas estações rastreiam os mesmos satélites, existem erros de posicionamento relativo. Todavia, como a estação base está fixa em um ponto de coordenadas conhecidas, estes erros podem ser quantificados e transmitidos para a estação móvel (chamado de correções diferenciais), permitindo que esta seja posicionada relativamente em relação à estação base, conforme apresentado na FIGURA 8 (PRADO & KRUEGER, 2001).

FIGURA 8 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO DGPS



FONTE: Prado & Krueger (2001).

Com as correções promovidas pelo este método, a precisão do posicionamento georreferenciado adotando a observável de pseudodistância varia de 1 a 3 metros, enquanto que para a fase de onda portadora, a precisão chega a ser inferior a um metro (KRUEGER, 1996).

Já o conceito de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*) possui um princípio de funcionamento semelhante ao DGPS, sendo que a principal diferença consiste no fato de que o RTK opera exclusivamente a partir da observável fase de onda portadora (PRADO & KRUEGER, 2001).

O posicionamento da técnica RTK repousa na transmissão de medições puras da fase da portadora ou de suas correções diferenciais. Segundo Prado & Krueger (2001), no primeiro caso, as medições puras da fase da portadora formam duplas

diferenças de fase (DDF), cuja vantagem principal consiste em fornecer uma “modelagem mais adequada ao levantamento, bem como da eliminação dos relógios dos satélites e receptores”. Já a correção diferencial adota procedimento análogo ao DGPS. Os mencionados autores aconselham que sejam aplicadas ambas as técnicas para potencializar a acurácia e precisão do método RTK, todavia, esta operação enfrenta obstáculos decorrentes dos atrasos entre o cálculo das correções diferenciais e da medição pura da fase da portadora.

Outro fator limitante, segundo Nakao (2020), consiste no fato de que o RTK convencional adota ondas de rádio para a transmissão entre estação base e estação móvel, limitando a sua operação em função da potência do rádio e a existências de obstáculos físicos no trajeto da estação móvel.

### 2.2.2 Levantamentos Batimétricos

Dentre os possíveis levantamentos costeiros existentes, o mapeamento do leito marinho representa um dos maiores desafios tecnológicos contemporâneos, haja vista a dificuldade inerente na obtenção de informações robustas do perfil morfológico de ambientes imersos.

O objetivo da realização de levantamentos batimétricos é a descrição do perfil topográfico do leito de rios, lagos, mares ou reservatórios, com a determinação da variação do nível da coluna d'água (CORREA, 2019). Segundo Gagg (2016), o principal intuito dos levantamentos batimétricos é a obtenção de informações atinentes a morfologia de fundo destes ambientes aquáticos.

Para Krueger (2005), as medições podem ser feitas de forma direta, com a utilização de estádias ou prumos a mão, bem como de forma indireta, com a utilização de sensores acústicos, eletromagnéticos, dentre outros que utilizem de outros fenômenos físicos para obtenção da profundidade batimétrica.

Em levantamentos batimétricos hodiernos, constata-se a adoção de ecobatímetros com a solução técnica mais recorrente, cujo princípio de funcionamento consiste em determinar a profundidade considerando o tempo de deslocamento de ondas acústicas. Neste contexto, o transdutor é responsável por converter energia elétrica em energia mecânica para emitir o pulso acústico, cujo tempo de reflexão no leito e retorno ao transdutor é medido por um sensor, gravado e convertido em medição batimétrica (NAKAO, 2020):

A partir deste princípio de funcionamento, a obtenção da profundidade batimétrica, segundo Ribeiro *et. al.* (2005), é obtida a partir da Equação 1.

$$p = 0,5 * v * t \quad (1)$$

Onde:

$p$  é a profundidade batimétrica [L];

$v$  é a velocidade do som na água [LT<sup>-1</sup>];

$t$  é o intervalo de tempo entre emissão e recepção do sinal acústico [T].

Por se basearem no princípio físico da propagação de ondas acústicas, os principais parâmetros dos ecobatímetros são a frequência do pulso sonoro, a largura de banda, a largura do feixe e o comprimento do pulso. Em relação especificamente a frequência a IHO (2011) define que determinadas faixas de frequências são mais adequadas a depender da profundidade batimétrica a ser analisada, sendo que quanto menor a profundidade, maior deve ser a frequência. Nos casos de regiões com profundidades inferiores a 100 metros, é recomendada a adoção de frequências sonoras superiores a 200 kHz, entre 100 e 1500 metros, recomenda-se a adoção de frequências entre 50 e 200 kHz, e para profundidades superiores a 1500 metros, recomenda-se a adoção de frequências entre 12 e 50 kHz.

Levantamentos hidrográficos, tais como os batimétricos, são regulados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) nas chamadas Águas Jurisdicionais Brasileiras, a qual editou a NORMAN-25/DHN, compreendendo os protocolos autorizativos e operacionais relativos a este tipo de levantamento. Neste contexto, a NORMAN-25/DHN define duas categorias distintas de levantamentos hidrográficos: a Categoria A, destinada aos levantamentos cujas especificações técnicas permitam que os dados obtidos possam ser aproveitados na atualização de documentos náuticos, e a Categoria B, cujo objetivo não compreende a atualização dos referidos documentos.

Para que um levantamento hidrográfico possa ser enquadrado como de Categoria A, é imprescindível que este cumpra integralmente as especificações técnicas previstas na Publicação Especial nº 44 (S-44) – “Especificações da Organização Hidrográfica Internacional para Levantamentos Hidrográficos”, disponível no sítio da IHO (APÊNDICE 2). Já para a Categoria B, não é necessário o

atendimento da supramencionada publicação, todavia, é aconselhável que esta sejam adotados os seus respectivos procedimentos técnicos.

A IHO, por sua vez, é uma das mais conceituadas entidades internacionais relacionadas a levantamentos hidrográficos. Dentre seu rol de documentos técnicos, a S-44 representa um referencial teórico de enorme relevância, haja vista que foi adotado pela Marinha Brasileira na edição da NORMAN-25/DHN. No escopo da S-44, são definidas ordens relativas a levantamentos batimétricos segundo critérios de segurança para a navegação, sendo elas:

- Ordem Especial: corresponde a ordem mais rigorosa, destinada a locais onde o pé-de-piloto é crítico, motivo pelo qual é necessário um levantamento extremamente detalhado e integral do leito. Como o requisito para enquadramento nesta ordem é a existência de um pé-de-piloto crítico, como em áreas de berços de atracação, portos e canais de navegação;
- Ordem Exclusiva: corresponde a casos específicos da Ordem Especial onde as particularidades da localidade apresentam áreas críticas específicas para o tipo de atividade de navegação executada. Nestes casos, é exigido um levantamento batimétrico de 200% da área, bem como um levantamento de 200% da existência de feições;
- Ordem 1a: esta ordem é destinada a localidades que possuem, em geral, de 40 a 100 metros de profundidade, as quais são consideradas rasas o suficiente para gerar potenciais dificuldades a depender do tipo de navegação a ser operada na região, mas sem serem tão críticas quanto profundidades inferiores a 40 metros, permitindo, assim, a execução de levantamentos menos detalhados, ainda que devendo compreender integralmente o leito marítimo;
- Ordem 1b: esta ordem é destinada a localidades com profundidades inferiores a 100 metros cujas atividades de navegação é considerada adequada para esta profundidade. Nestes casos, não é necessário executar um levantamento integral do leito marítimo. Todavia, esta ordem somente pode ser aplicada em regiões onde o pé-de-piloto não é considerado um fator de maior relevância na atividade de navegação executada;
- Ordem 2: esta é a ordem menos rigorosa, sendo destinada para regiões com profundidades superiores a 100 metros, por considerar que eventuais obstáculos naturais ou de origem antrópica que possam porventura afetar a



atividades de navegação são altamente improváveis de não serem detectados por um levantamento hidrográfico de Ordem 2. Nesta ordem, uma descrição mais genérica do leito marítimo é considerada adequada.

### 2.2.3 Fluxos de Corrente

Concomitantemente aos levantamentos batimétricos, foram executados levantamentos da velocidade dos fluxos de corrente na área de estudo. Atualmente, os métodos predominantemente adotados para esta finalidade consistem em obter velocidades de fluxos a partir de molinete, ou de equipamentos *Acoustic Doppler Current Profile* (ADCP).

O princípio de funcionamento do ADCP consiste na aplicação do efeito *doppler* (*Doppler Shift*), o qual consiste na mudança de frequência do sinal emitido e recepcionado por um transdutor, o qual é causado pelo contato desta energia acústica com qualquer material em suspensão presente na coluna d'água. Tendo em vista que as partículas em suspensão possuem a mesma velocidade de deslocamento da coluna d'água onde estão localizadas, a variação de frequência proveniente do efeito *doppler* será proporcional a esta velocidade. A partir da medição da frequência refletida, esta é comparada com a frequência emitida, sendo que esta diferença é utilizada para medir a velocidade das partículas em suspensão (TIAGO FILHO *et. al.*; 1999; NAKAO, 2020; TOMAS, 2018; RDI, 2011).

Numericamente, o efeito *doppler* pode ser representado pela Equação 2 (RDI, 2011).

$$Fd = Fs * \left(\frac{V}{C}\right) \quad (2)$$

Onde:

$Fd$  corresponde a diferença entre a frequência emitida e recebida [ $L^{-1}$ ];

$Fs$  é a frequência emitida [ $L^{-1}$ ];

$V$  é a velocidade relativa das partículas em suspensão [ $LT^{-1}$ ];

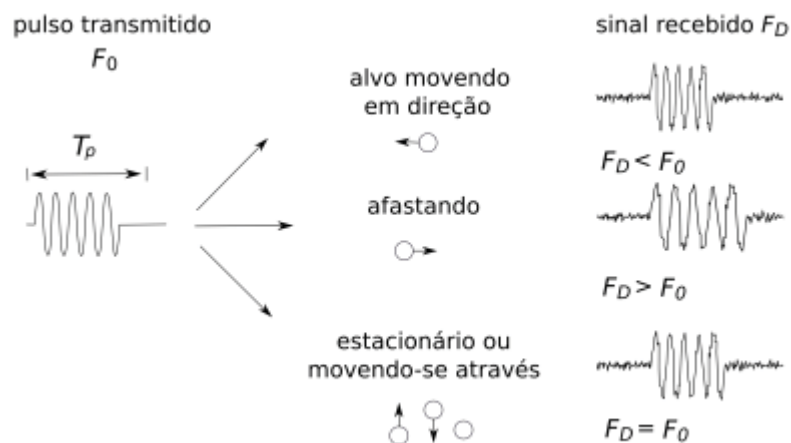
$C$  é a velocidade de propagação do som [ $LT^{-1}$ ].

A variação da frequência do efeito *doppler* apresenta diferentes comportamentos a depender da direção de movimento das partículas:

- Caso a partícula suspensa se mova na direção do emissor, a frequência do receptor aumenta;
- Caso a partícula suspensa se mova na direção do receptor, a frequência do receptor diminui;
- Caso a partícula apresente um movimento estacionário ou transversal em relação ao pulso sonoro emitido, a frequência do receptor se mantém igual a frequência emitida.

A representação gráfica deste fenômeno pode ser observada na FIGURA 9.

FIGURA 9 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO EFEITO *DOPPLER*



FONTE: Nakao (2020).

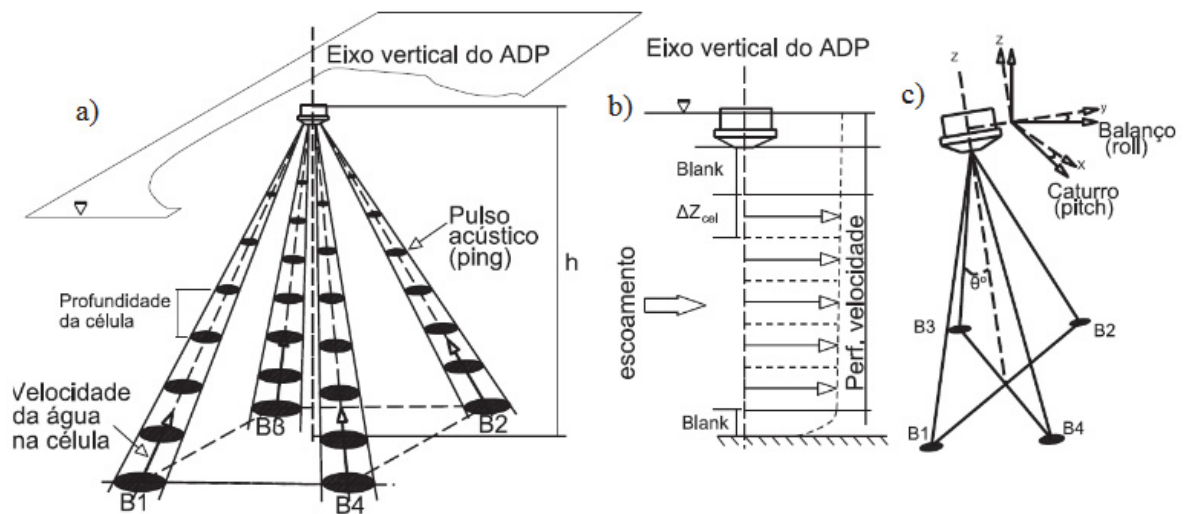
Os ADCPs utilizam o mesmo transdutor para emissão e recepção do sinal acústico, motivo pelo qual são definidos como um medidor de corrente *doppler* monoestático (NAKAO, 2020). Por este motivo, o efeito *doppler* ocorre quando o pulso acústico atinge as partículas suspensas, e quando este retorna ao transdutor, motivo pelo qual o seu respectivo cálculo apresentado na Equação 3 deve ser dobrado (FDI, 2011).

Segundo Tomas (2018), o ADCP necessita somente de três transdutores para medir velocidades, todavia, alguns equipamentos podem possuir quatro ou mais transdutores. Na hipótese de ADCPs com quatro transdutores, estes são operados na

configuração *Janus*, onde cada par de transdutores opostos opera o cálculo das velocidades nos eixos horizontal e vertical (RDI, 2011).

A FIGURA 10 representa o funcionamento da configuração Janus, onde a) representa a disposição dos feixes de cada par de transdutores, b) demonstra o perfil da velocidade ao longo da coluna d'água, e c) demonstra a variação do eixo vertical em decorrência do deslocamento da embarcação.

FIGURA 10 – FUNCIONAMENTO DA CONFIGURAÇÃO JANUS



FONTE: Tomas (2018).

Em relação a operação do ADCP, existem regiões onde não são detectadas medições, consideradas como ponto cegos (*blanks*), que são as seguintes (SONTEK, 2017):

- Região próxima ao transdutor, correspondente a 0,05 m, onde ocorre, segundo Nakao (2020), a recuperação do ruído em decorrência da reverberação do pulso acústico;
- Regiões próximas ao fundo, em decorrência de possíveis contaminações na última célula (NAKAO, 2020). Neste caso, segundo Tomas (2018), existe uma dimensão que é pré-definida em função da profundidade e frequência emitida;
- E próximo as margens, em virtude da reflexão das bordas (NAKAO, 2020).

Em que pese o fato de inexistirem medições nestas áreas específicas, são adotados métodos de extrapolação que permitem estimar as velocidades nestas regiões. Neste contexto, Nakao (2020) define que esta extrapolação utiliza a lei da potência, a qual é proposta por Chen (1991) e Simpson & Oltmann (1990).

O ADCP utilizado neste estudo corresponde ao modelo M-9, de fabricação da Sontek, que conta com oito transdutores laterais inclinados a 25° com a vertical, utilizados para a coleta de dados de fluxos de correntes e profundidades baseados no efeito *doppler*, além de um feixe vertical, que atua como ecobatímetro e coleta somente dados de profundidade (FIGURA 11).

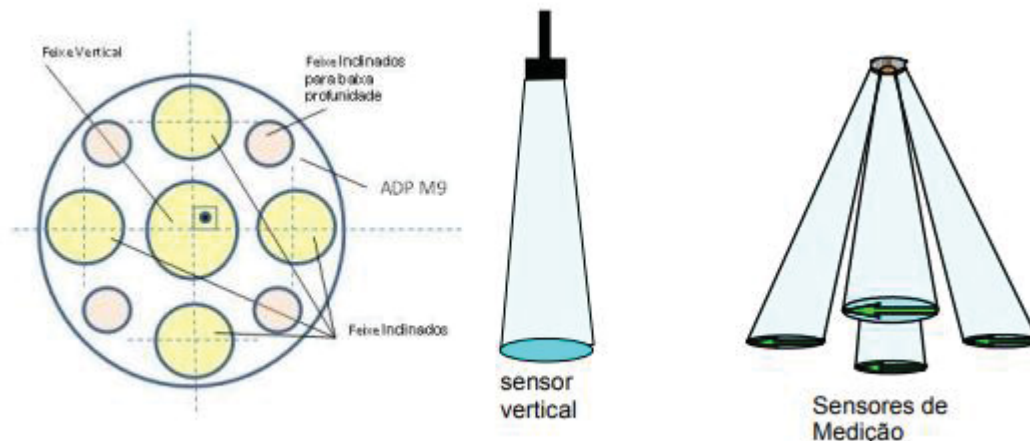
FIGURA 11 – ADCP MODELO M9 DA MARCA SONTEK



FONTE: Sontek (2021).

A FIGURA 12 apresenta a disposição dos transdutores do equipamento. Ressalta-se que os feixes laterais operam conforme a profundidade do local de levantamento, sendo que os feixes de baixa profundidade, inferiores a 5 metros, operam a uma frequência de 3 MHz, enquanto que os feixes de alta profundidade, superiores a 5 metros, operam a uma frequência de 1 MHz.

FIGURA 12 – SENSORES DO EQUIPAMENTO M9



FONTE: Tulio *et al* (2011).

#### 2.2.4 Parâmetros Físicos

A obtenção de dados relativos aos parâmetros físicos são fundamentais para compreender a influência das diferentes forçantes em um ambiente costeiro, haja vista que o diagnóstico destes parâmetros pode auxiliar na mensuração da influência do regime de marés e do grau de mistura da coluna d'água. Entretanto, dentro do contexto de levantamentos executados com equipamentos acústicos, estas informações são fundamentais para corrigir a velocidade de propagação do som na água.

Importante ressaltar que a velocidade do som sofre variações ao longo da coluna d'água em virtude de diversos parâmetros, tais como temperatura, salinidade e pressão.

Em relação ao parâmetro temperatura, foi constatado que esta apresenta uma considerável variabilidade, haja vista que este fato depende da localização geográfica da área de estudo, da estação do ano e da amplitude térmica diária. Segundo a Organização Hidrográfica Internacional (IHO, 2011), a variação de um grau celsius na temperatura da água implica numa alteração na ordem de 4,5 m/s na velocidade de propagação do pulso acústico, sendo a temperatura o fator mais relevante na variação da velocidade do som entre a superfície e o limite inferior da termoclina, que representa a seção da coluna d'água onde o gradiente negativo de temperatura é mais significativo.

Em relação ao parâmetro salinidade, este diferencia-se da temperatura por não apresentar elevada variabilidade nos oceanos. Em média, a salinidade nos oceanos varia de 33 a 37 psu, sendo em que regiões costeiras podem ser detectadas salinidades mais baixas (entre 28 e 29 psu). Algumas localidades específicas apresentam índices de salinidade particularmente baixos, como o Mar Báltico (20 psu), ou particularmente altos, como o Mar Mediterrâneo (38,5 psu) e o Mar Vermelho (40 psu) (GARCIA, 2015). Segundo a IHO (2011), a velocidade de propagação do som na água varia em aproximadamente 1,3 m/s para cada 1 psu de alteração salina.

Quanto ao parâmetro pressão, este fator possui maior influência quando a coluna d'água passa a exercer uma pressão suficientemente significativa para implicar em alterações na velocidade de propagação do som. Segundo a IHO (2011), a velocidade do som sofre uma variação de 1,6 m/s a cada 10 atm de acréscimo de pressão, o que equivale a, aproximadamente, 100 metros de coluna d'água. Por este motivo, infere-se que a pressão é um fato relevante em medições executadas em águas profundas, em contraposição com a temperatura, que é um fator mais relevante em águas rasas.

Para buscar corrigir as medições acústicas em decorrência destas variações da velocidade de propagação do som, foi adotado um equipamento chamado *Conductivity, Temperature and Depth* (CTD), que possui acoplado três sensores designados para a medição de condutividade (para a determinação indireta da salinidade), temperatura e profundidade (para a determinação indireta da pressão). Os dados obtidos por este equipamento são utilizados na etapa de pós-processamento, com o objetivo de obter as medições acústicas devidamente corrigidas.

Para a correção da velocidade de propagação do som, foram desenvolvidos métodos baseados em equações empíricas, dentre os quais se destaca a equação de Coppens, apresentada na Equação 3 (KINSLER *et. al.*, 1982 *apud* IHO, 2011):

$$C(Z, T, S) = 1449,05 + T[4,57 - T[0,0521 - 0,00023 * T]] + [1,333 - T(0,0126 - 0,000009 * T)](S - 35) + 16,32 * Z + 0,18 * Z^2 \quad (3)$$

Onde:

$C$  é a velocidade do som corrigida [m/s];

$Z$  é a profundidade [km];

$T$  é a temperatura [°C];

$S$  é a salinidade, em [psu].

A Equação 2 é válida para localidades com latitude de 45°. Em outros locais, o termo  $Z$  deve ser substituído por  $Z[1-0,026*\cos(2\alpha)]$ , sendo que  $\alpha$  é a latitude do local.

## 2.3 FERRAMENTAS DE PROCESSAMENTO

Com os dados coletados, é necessário proceder com o seu profícuo processamento, a fim de organizar as informações e isolar os resultados a serem apresentados. Para este estudo, serão detalhados os softwares de pós-processamento compatíveis com o ADCP-M9, bem como o interpolador *topo to raster*, adotado para obter a batimetria interpolada da área amostrada.

### 2.3.1 Softwares de pós-processamento

Para auxiliar na elaboração de um diagnóstico adequado de determinado levantamento de campo, é necessário que os dados coletados sejam organizados de tal forma que propicie o seu tratamento e avaliação para determinadas finalidades específicas. Com este objetivo, são desenvolvidos diversos softwares destinados a processar as coletas realizadas e organizar estes dados. O equipamento ADCP produzido pela Sontek é compatível com dois softwares desenvolvidos pela empresa: o *riversurveyor* e o *hydrosurveyor*.

Segundo informações fornecidas pela fabricante, a operação do equipamento em conjunto com o software *riversurveyor* implica na adoção do transdutor vertical para realizar o levantamento batimétrico a partir de pulsos acústicos, enquanto que os transdutores inclinados são utilizados para medir a velocidade de fluxo, a partir da aplicação do efeito *doppler* (SONTEK, 2017).

Alguns exemplos de utilização do equipamento M9 em conjunto com o software *riversurveyor* podem ser identificados nos estudos de Tomas (2018), Fey (2019) e Ratton (2021).

O estudo empreendimento por Tomas (2018) teve como objetivo principal avaliar a variação espacial da viscosidade cinemática em um cânion submerso

localizado na região do Pedral do Lourenço, localizado no Rio Tocantins. Para este trabalho, foram executadas medições em sete seções transversais em campanhas realizadas em abril a outubro de 2015, a fim de compreender diferentes condições sazonais do rio, as quais foram pós-processadas no referido software.

O estudo de Fey (2019) compreendeu a caracterização do estuário do Rio Guaratuba, localizado em Bertioga/SP, durante as marés de sizígia e quadratura<sup>1</sup> ao longo do ano. Para este objetivo, foram executadas medições de vazão em oito seções transversais ao longo deste rio nas proximidades do estuário, cujos dados foram, posteriormente, processados no software *riversurveyor*.

O estudo de Ratton (2021) objetivou realizar o mapeamento e a modelagem para estimar o transporte de sedimentos no leito do Rio Taquari, afluente do Rio Paraguai, localizado em Coxim/MS. Neste estudo, foram executados levantamentos de vazão em quatro seções transversais, cujos dados foram também processados no referido software.

Em síntese, a aplicação prática do *riversurveyor*, conforme exemplificado, compreende sobretudo levantamentos executados em seções transversais de corpos hídricos, para os quais são processadas informações atinentes ao perfil batimétrico, vazão e transporte de sedimentos.

Já o software *hydrosurveyor*, segundo informações da fabricante Sontek (2014), diferencia-se do *riversurveyor* por utilizar os feixes inclinados em conjunto com o feixe central para obter informações referentes ao perfil batimétrico do leito do corpo hídrico, sendo que os feixes inclinados também são utilizados para identificar velocidade e direção de fluxo mediante aplicação direta do efeito *doppler*. A profundidade medida pelos feixes laterais é estimada considerando a concentração de sedimentos existentes no leito, que potencializa a alteração da frequência proveniente do efeito *doppler*. A disponibilização de cinco feixes simultâneos para a realização dos levantamentos batimétricos permite a realização de um diagnóstico mais detalhado do perfil morfológico do leito de determinado corpo hídrico. Por outro lado, o *hydrosurveyor* não realiza a medição de vazão em seções transversais específicas.

---

<sup>1</sup> Marés de sizígia corresponde as marés que ocorrem nos períodos de luas cheia e nova, implicando em maiores amplitudes entre marés de enchente e vazante, enquanto que as marés de quadratura correspondem as marés que ocorrem em períodos de quarto crescente ou quarto minguante, implicando em menores amplitudes entre marés de enchente e vazante.

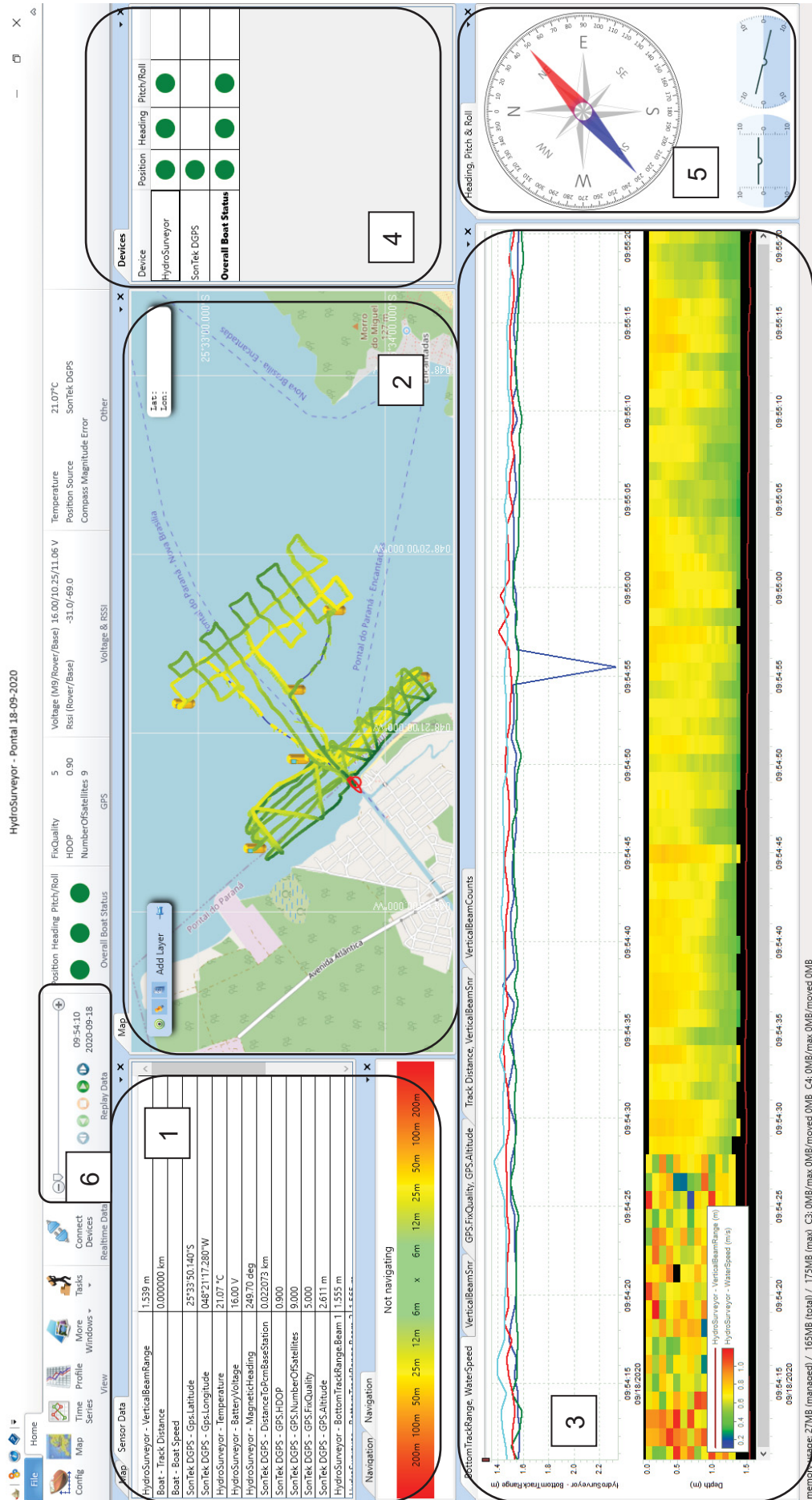


Exemplos de aplicações que utilizaram o *hydrosurveyor* podem ser identificados nos estudos de Ratton (2021) e Nakao (2020), ambos executados no Rio Taquari, afluente do Rio Paraguai, localizado em Coxim/MS. Nestes casos, ocorreu a aplicação do *hydrosurveyor* em conjunto com o *riversurveyor*. Em relação especificamente ao *hydrosurveyor*, a sua operação visou realizar um levantamento batimétrico mais detalhado do corpo hídrico, bem como do campo de velocidades atuante. O pós-processamento utilizando este software auxiliou na construção de um Modelo Digital do Terreno Submerso.

Os dados processados pelo *hydrosurveyor* são subdivididos em células de medição, com intervalos temporais sempre iguais a um segundo e espessura dimensionada automaticamente pelo software, com capacidade de medição sempre não superior a 85 células de profundidade.

A interface geral do *hydrosurveyor* pode ser observada na FIGURA 13.

FIGURA 13 – INTERFACE DO HYDROSURVEYOR



FONTE: Sontek (2021).

Segundo dados do manual fornecido pela fabricante Sontek (2014), o detalhamento das principais ferramentas deste software são:

1. Aba de navegação, contendo informações de cada medição realizada;
2. Aba do mapeamento do percurso realizado;
3. Reprodução gráfica das medições realizadas e dados do equipamento ao longo de toda a seção de medição;
4. Informações do *status* do equipamento (M9 ou GPS), sendo que verde significa que este se encontra calibrado e conectado, e vermelho significa que a conexão foi perdida;
5. Bússola para posicionamento do equipamento, medição do nível e da inclinação da embarcação;
6. Controle do *Replay* da seção de medição, permitindo análises individualizadas na etapa de pós-processamento;

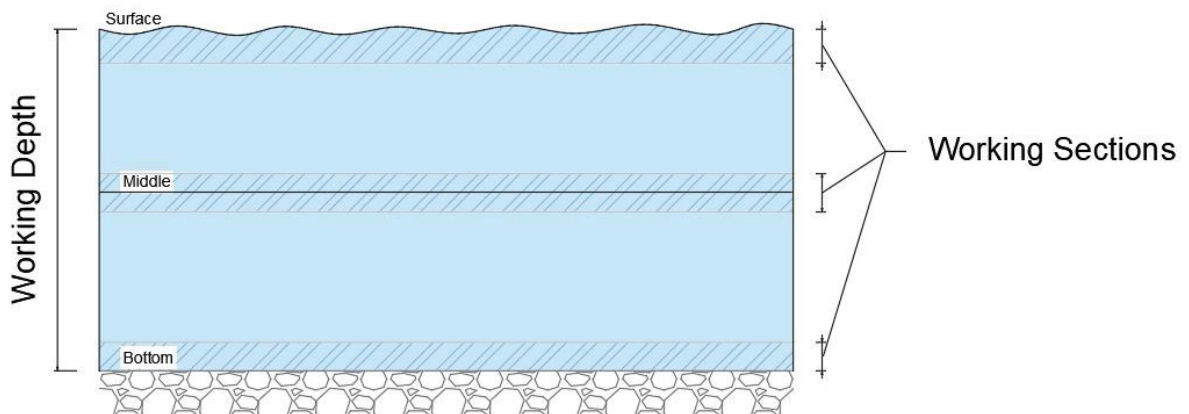
Este software oferece algumas opções de processamento de dados para análises técnicas. Para o presente trabalho, foram analisados dados de perfil batimétrico e, principalmente, informações relativas a fluxo de correntes. Em relação especificamente aos fluxos de corrente, o fornecimento dos dados pode ser apresentado na forma de médias ao longo da coluna d'água, bem como são fornecidos na forma de três seções definidas pelo *hydrosurveyor*, sendo elas a *Surface Section*, *Middle Section* e *Bottom Section*, doravante nominadas como seção superficial, seção intermediária e seção do leito. A delimitação destas seções é realizada partir do conceito do *Working Section*, definida pelo próprio software (SONTEK, 2014).

A definição de *Working Section*, segundo o manual de utilização do *hydrosurveyor*, corresponde a 10% da menor batimetria medida em um instante de medição. Neste diapasão, é necessário fazer uma importante consideração: conforme explanado anteriormente, o *hydrosurveyor* potencializa as capacidades de medição do equipamento M9, com a utilização de seus quatro feixes laterais para medição concomitante de profundidades e velocidades de fluxo, além do feixe vertical que atua como ecobatímetro, medindo exclusivamente a profundidade. Portanto, cada instante de mediação apresentará cinco diferentes medições advindas de cada feixe do equipamento. Assim, para determinação do valor do *Working Section*, o *hydrosurveyor* identifica a menor medição batimétrica obtida dentre as cinco realizadas em cada segundo de medição, aplica o percentual de 10% para seu cálculo.

Identificado o valor de *Working Section*, passa-se para a determinação das seções superficiais, intermediária e do leito. Em relação a seção superficial, esta corresponde a superfície da coluna d'água adicionada do valor correspondente ao *Working Section*. A seção intermediária é obtida a partir da identificação do ponto central correspondente a menor profundidade identificada em cada instante de medição, cuja seção é construída com a extensão de metade do *Working Depth* em direção a superfície e metade do *Working Depth* em direção ao leito. Por derradeiro, a seção de leito é definida a partir do leito da coluna d'água e uma distância vertical correspondente ao *Working Depth*.

Para melhor demonstrar a descrição supra detalhada, apresenta-se a FIGURA 14, na qual aborda a delimitação das seções superficiais, intermediárias e de leito fornecidas pelo software *hydrosurveyor*.

FIGURA 14 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS SEÇÕES DE PÓS-PROCESSAMENTO



Fonte: Adaptado de Sontek (2014).

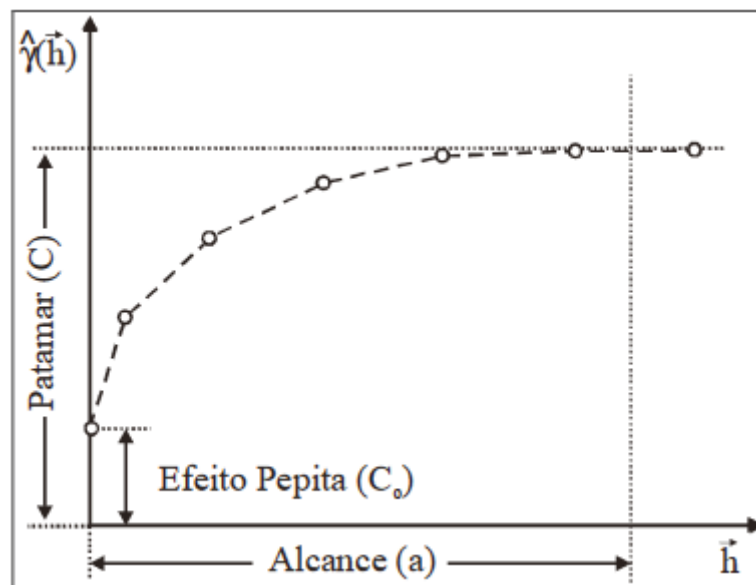
### 2.3.2 Interpolador topo to raster

Um dos principais desafios quando são realizados levantamentos de dados em ambientes aquáticos corresponde à obtenção de dados suficientes que descrevam a morfologia do leito submerso, afinal, os equipamentos acústicos mais acessíveis, como é o caso do ADCP-M9, coletam dados pontuais de profundidade. Portanto, a utilização de interpoladores é fundamental para que os pontos com profundidade medida passem a compor uma superfície que reflita, de forma fidedigna, a morfologia submersa. Diversos métodos interpoladores foram desenvolvidos, como o método de

krigagem, inverso ponderado da distância e o *topo to raster*, este último adotado no presente estudo.

Segundo Berveglieri *et.al.* (2011), a krigagem compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas fundamentadas numa análise de um conjunto de pontos. Por se tratar de uma interpolação estatística, é recomendado que seja aplicado em um conjunto de dados robustos, para aumentar o espaço amostral. Neste método, são atribuídos pesos, baseados através de um semivariograma experimental, conforme apresentado na FIGURA 15.

FIGURA 15 – PARÂMETROS DO SEMIVARIOGRAMA.



Fonte: Camargo *et. al.* (2004).

O eixo das ordenadas corresponde a semivariância e o eixo das abscissas corresponde a distância entre os pontos amostrados. A área de interesse do interpolador compreende a distância dentro da qual os pontos amostrados são correlacionados espacialmente, que é nominada alcance, sendo que o valor da semivariância que intercepta o alcance é chamado de patamar. Outro ponto relevante corresponde a intersecção do semivariograma com o eixo da semivariância, o qual é chamado de efeito pepita, que corresponde ao valor de semivariância para a distância zero, representando o componente da variabilidade espacial (CAMARGO *et. al.*, 2004).

Já o método de interpolação inverso ponderado da distância corresponde a uma interpolação determinística, onde o peso de relevância dos pontos estimados é inversamente proporcional à distância em relação ao ponto amostrado. É, portanto, indicado para regiões com alta densidade de amostras, a fim de potencializar a qualidade dos resultados. Em geral, é aconselhado que este interpolador seja utilizado com expoente dois para apresentação de resultados com qualidade (GARDIMAN JUNIOR *et.al.*, 2012).

O interpolador *topo to raster* foi desenvolvido por Hutchinson, adotado como base o algoritmo ANUDEM (*Australian National University's Digital Elevation Model*), que permite implementar diferentes tipos de dados de entrada para a construção da interpolação, como curvas de nível, pontos cotados e linhas de hidrografia (GIACOMIN *et. al.*, 2014). A interpolação é feita a partir da soma ponderada dos quadrados dos resíduos a partir dos dados de elevação da superfície. Assim, este método utiliza a eficiência computacional de interpolações locais, como o inverso ponderado da distância, sem perder a continuidade superficial de métodos globais como o de krigagem (GARDIMAN JUNIOR *et.al.*, 2012).

A concepção desta técnica de interpolação teve como objetivo principal a conversão de dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação de terrenos exatos. Desta forma, o método explora a eficiência computacional de uma interpolação local sem perder a continuidade superficial característica dos métodos globais de interpolação, como krigagem e spline (CARMO, 2014).

Estudos comparativos entre métodos de interpolação foram executados utilizando o método *topo to raster*. Neste interim, Giacomini *et. al.* (2014) realizou uma comparação com os métodos interpoladores Inverso Ponderado da Distância, Krigagem e Spline, concluindo que o método *topo to raster* deve ser recomendado para trabalhar com dados altimétricos, adotando uma resolução de interpolação de metade da resolução dos dados de entrada. Outro estudo relativo à avaliação de métodos de interpolação foi executado por Lima *et. al.* (2016), cuja área de estudo foi a Ilha Ponta do Tubarão, localizada no litoral setentrional do Rio Grande do Norte e sujeita intensa dinâmica costeira. Neste estudo, o interpolador *topo to raster* apresentou acurácia satisfatória, sobretudo em comparação com os métodos do Inverso Ponderado da Distância e o método de Krigagem, que apresentaram erros considerados elevados.

Por fim, outro exemplo de aplicação deste interpolador foi executado por Nogueira & Amaral (2009), cuja área de estudo também foi um ambiente costeiro, mais precisamente a área da folha Touros, no Rio Grande do Norte, onde o interpolador *topo to raster*, novamente, apresentou resultados mais consistentes em comparação com o método de Krigagem. Neste caso específico, os autores destacaram o diagnóstico de estruturas transversais a linha de costa, propiciado pelo interpolador *topo to raster*.

Desta forma, justifica-se a adoção deste interpolador no presente estudo, haja vista a existência de evidências científicas que pugnam pela sua qualidade e eficiência.

## 2.4 UTILIZAÇÃO DE DADOS DE ADCP PARA CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA

A adoção de ADCP para a caracterização hidrodinâmica é uma prática científica vastamente utilizada. A presente seção se prestará a apresentar exemplos de estudos de caracterização hidrodinâmica os quais lançaram mão do ADCP como ferramenta para operacionalizar este diagnóstico.

Uma das vantagens do equipamento ADCP é que este permite a execução de levantamentos batimétricos e de velocidade de fluxo de forma concomitante. Exemplos destas aplicações são os trabalhos elaborados por Tomas (2018), Tulio *et. al.* (2019), Nakao (2020), e Ratton (2021).

No trabalho de Tomas (2018), o ADCP foi utilizado para medir vazões em uma seção transversal que compreende um cânion submerso no Rio Tocantins. Já Tulio *et. al.* (2019) realizou um estudo comparativo no Rio Ivaí entre as batimetrias obtidas pelo feixe central e pelos feixes laterais do equipamento. Nakao (2020) realizou uma avaliação de desempenho do ADCP em relação aos dados de profundidade, em estudo de caso aplicado no Rio Taquari. Já Ratton (2021) utilizou o ADCP para obter tantos relativos ao transporte de sedimentos para aplicação em modelagem computacional, para um estudo também empreendido no Rio Taquari.

Os exemplos supramencionados compreendem a utilização do ADCP em rios. Todavia, a sua utilização em regiões costeiras para levantamentos marítimos também é comum. Neste contexto, podem-se elencar os estudos de Marone *et. al.* (2007), Veiga *et. al.* (2003), Soto (2004), Alves Júnior (2011), Jung (2015) e Dalbosco (2019).

O trabalho de Marone *et. al.* (2007) utilizou dados coletados com ADCP para analisar as medições de correntes e curva de vazão-maré em uma seção na saída da baía de Paranaguá, entre o balneário de Pontal do Sul e a Ilha do Mel. O trabalho de Veiga *et. al.* (2003) objetivou analisar as velocidades de corrente e vazão na plataforma continental interna paranaense, em um segmento compreendido entre o balneário de Pontal do Sul e o balneário de Matinhos.

O estudo empreendido por Soto objetivou realizar uma modelagem hidrodinâmica que auxilie em tomadas de decisões na hipótese de casos de derrame de óleo no interior do complexo estuarino Antonina-Paranaguá. Para este estudo, a coleta de dados de velocidades e direção de correntes foi executada com a utilização do ADCP. O estudo elaborado por Alves Júnior (2011) utilizou dados de direção e velocidade das correntes associado com as propriedades físicas da coluna d'água para avaliar a distribuição de sedimentos em suspensão na região entre a Baía Norte e Sul de Florianópolis. Em relação ao estudo de Jung (2015), foram coletados dados de fluxo de corrente para avaliar a viabilidade do aproveitamento energético do estuário do Maracanã, no Pará.

Por derradeiro, o estudo de Dalbosco (2019) objetivou realizar um diagnóstico dos padrões de escoamento na plataforma continental interna de Santa Catarina. Para tanto, foram coletados dados referentes a correntes, nível e temperatura entre as datas de 30/03/2014 e 29/04/2016, em uma profundidade média de 22 metros, numa área localizada entro dos limites da unidade de conservação Reserva Biológica Marinha do Arvoredo.

Assim, evidencia-se que a utilização de dados de ADCP para a caracterização hidrodinâmica dos diversos ambientes aquáticos, sejam fluviais, sejam marinhos, constitui de técnica amplamente adotada em estudos técnico-científicos.



### 3 LOCAL DE ESTUDO

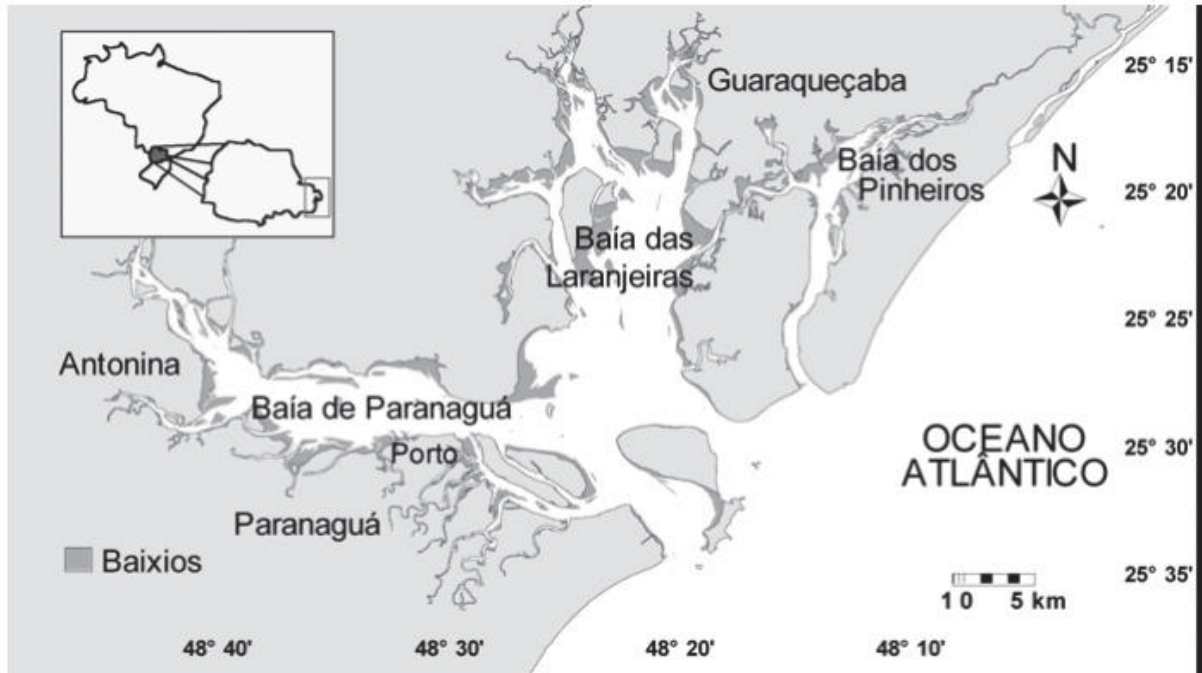
Neste capítulo, serão apresentadas informações relativas especificamente a área de estudo onde a presente pesquisa será executada. Inicialmente, serão abordadas as principais características do Complexo Estuarino de Paranaguá, para então focar na desembocadura do Canal DNOS em Pontal do Paraná. Por fim, será apresentado um breve compilado de estudos que já foram realizados nesta região, listando seus objetivos e principais resultados obtidos.

#### 3.1 COMPLEXO ESTUARINO DE PARANÁGUA

Segundo Lamour (2000), o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) está localizado na porção centro norte do litoral paranaense, sendo subdividido em dois eixos principais denominados baía de Paranaguá, com 56 km de extensão no eixo leste-oeste, e baía das Laranjeiras, com 30 km de extensão no eixo norte-sul, além de outros segmentos menores, como a baía dos Pinheiros. A localização da área de estudo é representada pela FIGURA 16. O estudo de Krug & Noernberg (2007) apresenta uma representação do CEP, conforme consta na FIGURA 17.



FIGURA 17 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ



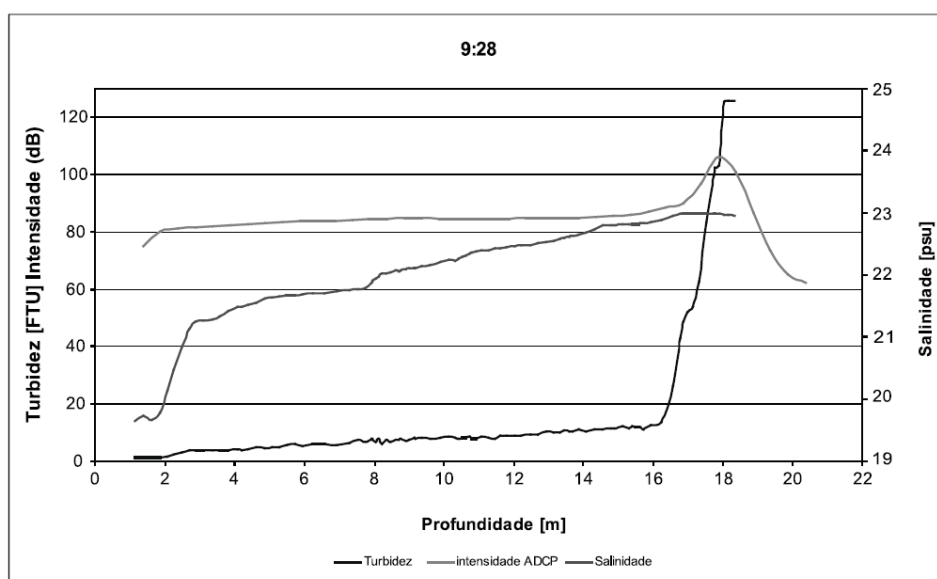
FONTE: Krug & Noernberg (2007).

As principais características desta localidade podem ser extraídas do Estudo de Impacto Ambiental referente às obras de ampliação e modernização da estrutura portuária da Administração do Portos de Paranaguá e Antonina (ENGEMIN, 2004). Segundo este estudo, o clima desta região, é classificado como Cfa dentro da classificação de Köppen, adotado para regiões de clima temperado úmido, com chuvas em todos os meses do ano, e temperatura média para o mês mais quente de 22 °C. O CEP possui um volume aproximado de 2.000.000.000 m<sup>3</sup>, distribuídos numa superfície líquida de 612 km<sup>2</sup>, o qual está compreendido numa área total de 677.000 km<sup>2</sup>. A profundidade média do CEP é de 5,40 m, podendo atingir uma profundidade máxima de até 33 m (ENGEMIN, 2004).

Em relação a estratificação térmica e salina, Angelotti (2008) realizou um estudo a respeito da variabilidade da estratificação termo-halina na desembocadura do canal de Paranaguá, onde concluiu que, nas estações próximas a área de estudo, não foram identificadas estratificações características tanto do fenômeno da termoclina quanto da haloclina, fato este atribuído a alta intensidade das correntes de maré de vazante que misturam a coluna d'água, impedindo a formação destes fenômenos.

Tal fato é relatado por Marone *et. al.* (2007), o qual adiciona a turbidez como outro fator de relevância. Neste estudo, o referido autor sugere que seja adotada uma calibragem específica para os equipamentos que se baseiam em efeitos acústicos utilizados em levantamentos de dados para cada local a partir da relação entre a intensidade do pulso acústico, a salinidade e a turbidez, conforme consta na FIGURA 18.

FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO CONFORME A PROFUNDIDADE



FONTE: Marone *et. al.* (2007).

Segundo Lamour (2000), a baía de Paranaguá possui um regime de marés semidiurno, caracterizado por duas preamares e duas baixa-mares em um dia, com amplitude inferior a dois metros em período de sizígia, o que é um indicativo de um regime de micromarés. Ademais, Noernberg (2001) afirma que as correntes residuais de maré são mais susceptíveis à modificação pelo vento, tanto no interior da baía quanto na zona costeiras.

Atualmente, os dados de maré das regiões costeiras brasileiras estão armazenados em vastos bancos de dados com ampla disponibilidade para toda a população. Neste contexto, especial destaque merece o sítio eletrônico “Tábua de Marés”, o qual conta com a disponibilização de dados históricos robustos do comportamento das marés para diversas regiões, incluindo a Baía de Paranaguá.

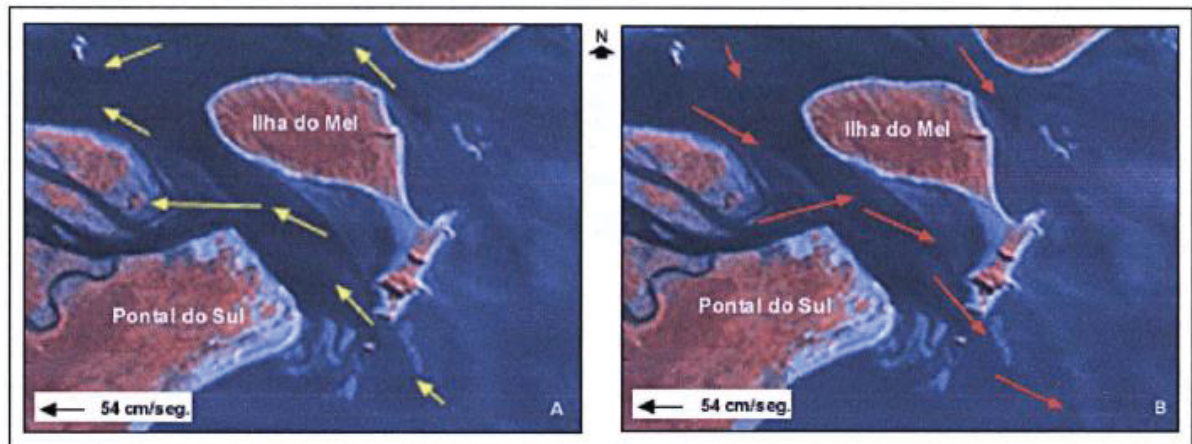
Lamour (2000) complementa afirmando que os dados de marés demonstram a existência de uma grande assimetria no comportamento da dinâmica de marés ao longo deste complexo estuarino, sendo que em canais estreitos as correntes de marés se caracterizam por uma corrente de enchente e outra de vazante, em direções opostas, enquanto que em áreas de mar aberto, o fluxo de marés apresenta um comportamento rotacional, cujo período corresponde a metade de um dia.

O CEP possui um desague no mar através de três canais: Galheta, Sueste e Superagui. A área do presente estudo está localizada no canal da Galheta, motivo pelo qual esta será especialmente detalhada.

Inicialmente, o canal da Galheta é a via de entrada das ondas no CEP, com pouca variabilidade na direção de chegada considerando a sazonalidade anual, uma vez que a direção preferencial durante o verão é a sudeste, e durante o inverno é a direção sul-sudeste (LAMOUR, 2000). A altura e período de ondas também é consideravelmente uniforme ao longo do ano, sendo que durante o verão as alturas significativas são menores que 0,5 m com períodos de aproximadamente 7 segundos, enquanto que durante o inverno, as alturas significativas são inferiores a 0,3 m, com períodos aproximados de 5 segundos. O predomínio de ondas no quadrante sul-sudeste gera uma deriva litorânea orientada para norte (NOERNBERG, 2001).

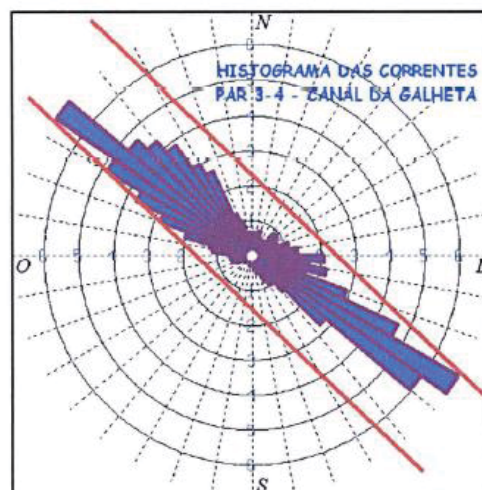
Em relação à dinâmica de marés incidente especificamente no canal da Galheta, Lamour (2000) identificou que a vazão máxima de enchente corresponde a uma velocidade de 59 cm/s, formando um ângulo de 320° em relação ao eixo norte, quanto que a vazão máxima de vazante corresponde a uma velocidade de 97 cm/s, formando um ângulo de 140° com o eixo norte, conforme representado na FIGURA 19. Este comportamento coincide com uma dinâmica de canal estreito, conforme identificado no histograma apresentado na FIGURA 20.

FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS FLUXOS DE MARÉS NO CANAL DA GALHETA



FONTE: Lamour (2000).

FIGURA 20 – HISTOGRAMA DAS CORRENTES DE MARÉ NO CANAL DA GALHETA



FONTE: Lamour (2000).

Ainda sobre a dinâmica de marés incidente nesta região, Marone & Camargo (1995) empreenderam um estudo sobre a influência das marés meteorológicas na Baía de Paranaguá especificamente para um evento ocorrido em 18 e 19 de agosto de 1993, quando ocorreu uma maré meteorológica categorizada como excepcional pelos mencionados autores, quando atingiu 3,5 metros (80 cm acima do previsto).

A partir deste estudo, concluiu-se que não são todos os sistemas frontais são capazes de gerar marés meteorológicas significativas na região. Na verdade, a ocorrência marés meteorológicas relevantes depende de uma conjuntura de fatores, sendo eles (MARONE & CAMARGO, 1995):

- a) Rápida intensificação de uma frente ao alcançar o oceano, experimentando forte ciclogênese devido ao maior suprimento de umidade, cujos ventos associados podem causar empilhamento de água na costa, ou;
- b) Combinação dos efeitos de um centro de baixa pressão sobre o mar e um centro de alta pressão sobre o continente, criando uma pista de ventos de quadrante sul sobre o oceano, os quais tendem a acumular água contra a costa pelo transporte de Ekman<sup>2</sup>.

### 3.2 CANAL DO DNOS

O município de Pontal do Paraná está compreendido no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), e possui cerca de 23 km de praias, divididos em 8 balneários, sendo que a área do estudo compreende o balneário localizado mais ao norte do município, chamado de Pontal do Sul, onde está localizado a desembocadura do Canal DNOS. Este canal é amplamente explorado como rota turística para a Ilha do Mel, desta forma, é evidente que a expansão urbana das adjacências do canal está com consonância com o crescimento do setor turístico local.

O Canal DNOS é assim chamado devido ao fato de ter sido construído pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento, o qual realizou diversas obras de criação de canais artificiais com o objetivo de drenagem local e navegação. No caso do Canal DNOS localizado em Pontal do Paraná, este apresenta um comprimento de 20,11 km, sendo responsável pela drenagem de diferentes balneários, bem como recebe a vazão de diversos afluentes, como o Rio Perequê e do Rio Perequê Mirim, compreendendo a maior bacia hidrográfica da região, com uma área de 27,38 km<sup>2</sup>. A navegabilidade do Canal DNOS somente é viável desde sua desembocadura até a Ponte da PR-412, Av. Atlântica, a qual possui pouca altura, o que impossibilita a passagem de embarcações para os segmentos mais internos deste canal (FUPEF, 2021).

Sua desembocadura está localizada no Complexo Estuarino de Paranaguá, desaguando no Canal da Galheta, conforme apresentado na FIGURA 16, sendo que

---

<sup>2</sup> Melo (2010) apresenta o conceito de transporte de Ekman corresponde a um vetor de 90° em sentido anticiclônico da direção de circulação dirigida pelos ventos na camada superior dos oceanos.

esta apresenta duas estruturas que influenciam no comportamento dos fluxos marítimos nesta região, sendo eles um molhe, localizado à direita, e um guia-corrente, localizado à esquerda, conforme apresentado na FIGURA 21.

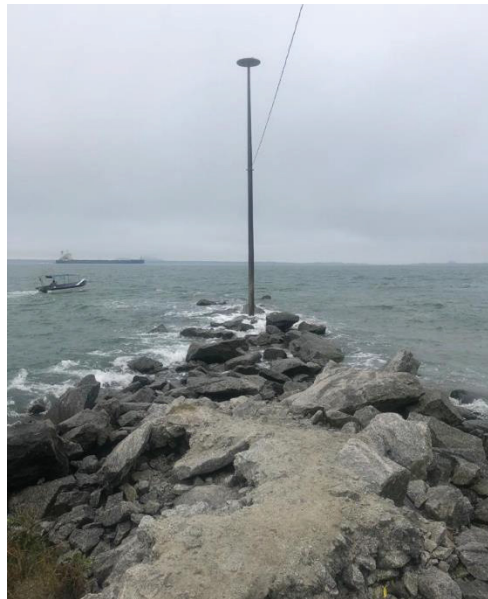
FIGURA 21 - ESTRUTURAS LOCALIZADAS NA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS



FONTE: FUPEF (2021).

Primeiro, o molhe localizado à direita da desembocadura do canal apresenta uma estrutura de maior porte, com aproximadamente 100 metros de comprimento e posicionada a 45° do eixo norte. Sua construção data de mais de 30 anos, a qual foi executada com enrocamentos e núcleos de praia, e vem sofrendo constantemente com erosões provenientes das variações de maré e do fluxo de correntes. A ausência de manutenção adequada vem prejudicando a integridade estrutural deste molhe, sobretudo no que concerne a sua composição de finos, os quais são mais susceptíveis a serem transportados pelos fluxos de correntes e pela variação de marés (FUPEF, 2021). A FIGURA 22 apresenta as condições atuais deste molhe.

FIGURA 22 – SITUAÇÃO ATUAL DO MOLHE LOCALIZADO NA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS EM PONTAL DO PARANÁ



FONTE: FUPEF (2021).

Conforme depreende-se da imagem supra apresentada, além dos problemas estruturais narrados, o molhe não conta com nenhuma estrutura de segurança para abrigar visitantes, os quais são consideravelmente frequentes.

A segunda estrutura, localizada à esquerda da desembocadura do canal, é um guia-corrente de pequeno porte, construído com pedras e pneus, o qual, diferente do molhe, não permite a visitação de pessoas. O seu objetivo, associado ao molhe, é o de promover um melhor direcionamento das correntes, com a conseqüente facilitação da navegabilidade.

A região da desembocadura do Canal DNOS possui profundidade inferior a 100 metros, cuja atividade de navegação compreende somente o trânsito de embarcações de pequeno porte que realizam principalmente atividades de finalidade turística, operando o trânsito de pessoas entre Pontal do Paraná e a Ilha do Mel (FUPEF, 2021). Portanto, o pé-de-piloto não é significativo para este tipo de atividade, podendo categorizar esta área como de Ordem 1b dentro da classificação da Organização Hidrográfica Internacional.



### 3.3 ESTUDOS REALIZADOS SOBRE O LOCAL DE ESTUDO

A presente seção será dedicada a apresentar um compilado de estudos já realizados nesta região, em especial no Complexo Estuarino de Paranaguá. A lista que será apresentada possui o objetivo de apresentar um excerto de estudos técnicos realizados, não tendo o condão de exaurir as possibilidades científicas de estudos empreendidos nesta região, tampouco tem a intensão de representar uma seleção de estudos de maior relevância.

Algumas das publicações realizadas sobre este local de estudo são apresentadas no QUADRO 1. Numa análise conjunta destes estudos, o que se nota é uma limitação tecnológica presente à época da elaboração dessas pesquisas que demandaram a execução de levantamentos de dados primários, haja vista que a coleta dos dados que subsidiam a caracterização hidrodinâmica foi realizada, obrigatoriamente, de forma assíncrona, exigindo uma compatibilização das informações em etapas de pós-processamento. Na presente, como o mesmo equipamento foi empregado para a coleta de dados batimétricos e de fluxos de corrente, esta dificuldade foi eliminada.

QUADRO 1 – PUBLICAÇÕES DE ESTUDOS REALIZADOS NA ÁREA DE ESTUDO

Autor/ano	Título	Objetivo	Principais resultados
Yatsen Jephthe Maldonado Soto (2004)	A modelagem hidrodinâmica como apoio a tomada de decisão em caso de derramamento de óleo na parte interna do Complexo Estuarino Antonina-Paranaguá-PR	Utilizar da modelagem numérica de plumas de hidrocarbonetos na baía de Antonina-Paranaguá e suas limitações como sistema de apoio à tomada de decisão.	Os dados fornecidos pelo sistema de modelagem se mostraram profícuos para sua utilização para treinamento de equipes de contingência e planejamento de ações emergenciais, em virtude do conhecimento antecipado da pluma de contaminantes.
Eduardo Marone Maurício Noemberg Luiz Fernando Lautert Irani dos Santos Heinz Dieter Fill Homero Buda Amauri Mareda (2007)	Medições de Correntes e Curva Vazão-Maré na Baía de Paranaguá-PR	Comparar valores de velocidade e direção das correntes durante o ciclo de maré obtidos por dois equipamentos com princípios de funcionamento distintos: ADCP e correntômetro eletromagnético.	Os resultados por ambos os equipamentos foram quantitativamente equivalentes, com a vantagem de que o ADCP fornece grandes possibilidades de estudo de circulação estuarina em virtude da opção de cálculo de vazão, enquanto que os equipamentos baseados em correntômetro eletromagnético, por possibilitarem a inclusão de outros sensores, podem detectar nativamente parâmetros de salinidade, temperatura e turbidez. Numa perspectiva dinâmica, a característica mais salutar identificada na circulação da Baía de Paranaguá se refere a heterogeneidade lateral das seções, com seções usadas principalmente pelas correntes de enchente e outras pelas correntes de vazante.
Marcelo Renato Lamour (2000)	Dinâmica sedimentar do Canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá-PR	Caracterizar os sedimentos de fundo da desembocadura sul da baía de Paranaguá, caracterizar a evolução da batimetria dos setores críticos de assoreamento no canal da Galheta em 1972 e 1998, com determinação de taxas de assoreamento, caracterizar a morfologia de fundo do canal nestes setores, compreender os processos de transporte e deposição de sedimentos, especificamente em setores críticos do canal, e sugerir medidas para minimizar os problemas de assoreamento no canal.	Os sedimentos de fundo da desembocadura sul da baía de Paranaguá se mostraram predominantemente compostos por areias finas, moderadamente à bem selecionadas. O trecho crítico de assoreamento do setor externo do canal da Galheta foi escavado no lobo terminal do delta de maré vazante, sendo que este trecho era retilíneo quando foi realizada a abertura do canal em 1975. Com a alteração das correntes de maré, ocorreu a diminuição da área de abrangência das formas de fundo, entre 1972 e 1998. Com a abertura do canal, criaram-se áreas mais profundas propensas a sedimentação. O fluxo sedimentar proveniente de sudoeste (deriva litorânea) divide-se em duas porções principais, uma que continua transportando os sedimentos no sentido nordeste e outra que adentra o estuário. No setor externo, o fluxo de sedimentos atravessa o lobo terminal do

Autor/ano	Título	Objetivo	Principais resultados
Rangel Angelotti (2008)	Variabilidade da pluma e da estratificação termo-halina na desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá e plataforma continental adjacente	Descrever a analisar a dinâmica da pluma de estratificação termo-halina do Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá.	delta de maré vazante, depositando sedimentos no canal e criando uma frente preferencial de sedimentação, enquanto que no setor interno, o fluxo sedimentar contorna a costa do balneário Pontal do Sul até a desembocadura do canal da Continga, sendo redirecionado para o Canal da Galheta. Existe uma forte dependência entre a dinâmica da pluma de estratificação termo-halina e a dinâmica de marés, de ventos e, principalmente, da vazão dos rios. Especificamente na localização do Canal da Galheta, o fluxo de correntes é bastante intenso, gerando uma maior mistura da coluna d'água nesta região, o que é um indicativo de maior uniformidade termo-halina ao longo da coluna d'água.
Eduardo Marone Ricardo Camargo (1994)	Marés meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993.	Identificar os fatores de relevância para o evento de 18 e 19 de agosto de 1993, quando foi identificada uma maré meteorológica excepcional. Na região do Porto de Paranaguá	A excepcionalidade da maré meteorológica decorreu de uma conjunção de fatores, sendo eles: rápida intensificação de uma frente fria ao alcançar o oceano, gerando uma forte ciclogênese em virtude da maior disponibilidade de umidade, cujos ventos podem causar empilhamento de água na costa, ou então a combinação dos efeitos de um centro de baixa pressão sobre o mar e um centro de alta pressão sobre o continente, o que geraria uma pista de ventos de quadrante sul, com tendência de acumulação de água.
Liliane Anne Krug Maurício Almeida Noernberg (2007)	O sensoriamento remoto como ferramenta para determinação de batimetria de baixios na Baía das Laranjeiras, Paranaguá-PR	Avaliação do potencial de uso de imagens Landsat para geração de mapas batimétricos em águas rasas.	O estudo foi executado na região da Baía das Laranjeiras, em profundidades variando entre 0,36 e 4,5 metros. O erro médio obtido foi inferior a 0,65 m. Foi identificado que os locais com maior incidência de erros correspondem aos locais com profundidades variando entre 1 e 3,5 metros, sendo atribuído estes erros ao efeito de reflectância proveniente do material particulado em suspensão. Tendo em vista que os dados batimétricos disponíveis a época para a região se encontrava desatualizados, é sugerido, para estudos futuros, que sejam comparados mapas batimétricos obtidos por sensores orbitais com mapas construídos através de métodos tradicionais de obtenção de dados batimétricos.
Fernando Alvim Veiga Rodolfo José Angulo Eduardo Marone Frederico P. Brandini	Medidas de velocidade de corrente e vazão na plataforma continental interna paranaense	Investigar as correntes e vazão na costa paranaense, segmentando-a em cinco perfis.	Em relação aos perfis A e B, localizados nas proximidades da desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá, apresentaram uma vazão preferencial para sul, o que seria resultado da influência de descarga desta desembocadura,

Autor/ano	Título	Objetivo	Principais resultados
João Carlos Carrilho (2003)	utilizado perfilador de corrente acústico <i>doppler</i> – ADCP.		haja vista que as correntes de fluxo são mais intensas quanto mais próximo o perfil está da baía de Paranaguá.
Thais Nogueira Rezende Tobias Bernard Bleninger (2019)	Interferência de dragagens na hidrodinâmica e salinidade de estuário.	Analisar, através da aplicação de modelos numéricos, a interferência de dragagens na hidrodinâmica e salinidade de estuários a partir da comparação entre um cenário base e um cenário dragado, aplicado em um estudo de caso no Complexo Estuarino de Paranaguá.	Variações de velocidade média mais significativas foram identificadas nas proximidades do porto de Antonina e na bacia de evolução do porto de Paranaguá, com reduções de aproximadamente 20% da velocidade base, ou 0,1 m/s. Já nas demais áreas, essa redução foi, em média, de 0,03 m/s. Quanto à salinidade, as variações médias indicaram um aumento de 1 ppt de concentração salina, sendo mais significativa em camadas inferiores da coluna d'água, em especial na região de Antonina, onde esta diferença atinge 3 ppt.
Ricardo de Camargo Joseph Harari (2002)	Resultados de modelagem numérica hidrodinâmica no complexo estuarino de Paranaguá (PR)	Apresentar resultados sobre estudos de circulação marítima da baía de Paranaguá considerando efeitos de maré e meteorológicos.	Foi identificada uma grande variabilidade das correntes na área modelada, a qual é intensificada em regiões de canais interiores, com valores ultrapassando 100 cm/s em situações de marés de sizígia. Em relação ao vento, concluiu-se que este responde por aproximadamente 10% da variação total observada.
Marcelo Renato Lamour Maurício de Almeida Noernberg Clécio J. L. de Quadros Lydio L. R. Odriski Carlos R. Soares (2003)	Erosão na desembocadura sul da Baía de Paranaguá e sua relação com o assoreamento do canal da Galheta	Apresentar as relações entre os processos erosivos ocorridos no balneário Pontal do Sul e o acréscimo nos volumes assoreados na via de acesso aos terminais portuários localizados na baía de Paranaguá.	Foi identificado a ocorrência de taxas acentuadas de assoreamento no canal da galheta concomitantemente ao início do assoreamento no balneário Pontal do Sul. Foi identificado, ainda, que a ocorrência de ressacas influencia consideravelmente na estabilidade da linha de costa, haja vista que as taxas de assoreamento se apresentaram 10 vezes superiores nestes períodos.
Maurício Almeida Noernberg (2001)	Processos Morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná – Brasil: Um estudo a partir de dados <i>in situ</i> e landsat-tm	Identificar e contribuir na compreensão dos processos morfodinâmicos atuantes no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) e zona costeira adjacente, bem como determinar a magnitude e frequência dos processos mais relevantes.	A energia proveniente das marés de sizígia é suficiente para provocar a movimentação de sedimentos do leito, enquanto que em marés de quadratura este fenômeno é menos frequente, com maior incidência para marés de vazante, o que implica numa resultante de movimentação de sedimentos no sentido costa afora. A deriva litorânea é orientada preferencialmente para o norte, e a sua capacidade de movimentar sedimentos está atrelada a energia das ondas, geralmente atreladas a sistemas frontais provenientes do sul, gerando um transporte de sedimentos

Autor/ano	Título	Objetivo	Principais resultados
			<p>predominantemente voltado para a direção norte. Além disso, foram identificados dois processos costeiros relevantes: o primeiro diz respeito as correntes de retorno verificadas no arco praial entre Matinhos e Pontal do Sul, sendo que as correntes de maior magnitude foram identificadas nas proximidades do Balneários Gaivotas, apresentando características erosivas. Um segundo processo diz respeito a evolução de uma frente de superfície, a qual é regulada pela maré de sizígia e pela ação das ondas, a qual se mostrou de fundamental relevância para o balanço do transporte de sedimentos na região, por realizar o transporte tanto transversalmente quanto ao longo da linha de costa, voltada para a direção Norte.</p>

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, serão detalhados os procedimentos adotados nos levantamentos de campo, considerando o planejamento da execução dos levantamentos e detalhes operacionais adotados nos demais aspectos assessórios utilizados na campanha realizada, bem como as metodologias adotadas para o processamento destes dados.

### 4.1 PLANEJAMENTO PARA EXECUÇÃO DOS LEVANTAMENTOS

Os levantamentos de campo foram realizados nas datas de 17 e 18 de setembro de 2020. O objetivo foi executar medições utilizando o equipamento ADCP modelo M9 da marca *Sontek*, cujas medições seriam salvas e processadas no software *hydrosurveyor*, o qual permite a execução de medições de batimetria e fluxos de corrente de forma concomitantemente.

Segundo dados da fabricante, o transdutor vertical possui uma frequência de 500 kHz, o qual atua como ecobatímetro fornecendo somente dados de profundidade, enquanto que os oito transdutores laterais, que funcionam a partir do efeito *doppler*, operam em dois conjuntos de quatro feixes, sendo um conjunto destinado para medições em profundidades inferiores a cinco metros, com frequência de 3 MHz, e outro conjunto para profundidades superiores a cinco metros e inferiores a 40 metros, com 1 MHz.

Ademais, a *Sontek* apresenta as seguintes especificações técnicas para este equipamento, quando utilizado em conjunto com o software *hydrosurveyor*, apresentadas no QUADRO 2.

QUADRO 2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS ADCP-M9 EM CONJUNTO COM *HYDROSURVEYOR*

Acurácia de profundidade	0,02 m (com correção da velocidade do som)
Resolução de profundidade	0,001 m
Largura da faixa	50°
Faixa de perfil – distância	0,06 m até 40 m
Faixa de perfil – velocidade	± 10 m/s
Acurácia de velocidade	Até ± 0,25%, ± 0,2 cm/s
Resolução de velocidade	0,001 m/s
Número de células	Até 128
Tamanho das células	0,02 m até 4 m
Rastreamento acústico inferior – alcance	± 10 m/s
Rastreamento acústico inferior – altitude	0,2 – 40 m

SonTek RTK GRPS – Previsão horizontal (repetibilidade)	< 0,03 m
SonTek DGPS – SBAS GPS Acurácia Horizontal	< 1,0 m
Configuração do transdutor	8 feixes Janus (4 x 1 MHz; 4 x 3 Mhz) e 1 feixe vertical (0,5 Mhz)
Sensor de temperatura – resolução	± 0,01°C
Sensor de temperatura – acurácia	± 0,1°C
Bússola – tipo	Tipo fixo, com inclinômetro embutido
Bússola – alcance	360°
Bússola – precisão do rumo	± 2°
Bússola – precisão de inclinação	± 1°
Parâmetros de funcionamento	12-18 VDC
Temperatura operacional	-5°C até 45 °C
Temperatura de armazenamento	-20°C até 70°C

FONTE: Sontek (2021a).

Para que levantamentos batimétricos sejam executados de forma profícua, é indispensável que a aplicação de quaisquer métodos de medição seja associada ao posicionamento georreferenciado da embarcação na qual o equipamento encontra-se acoplado (GAGG, 2016), a qual pode ser obtida com a utilização de equipamentos DGPS.

Portanto, associado ao ADCP M-9, foi utilizado um equipamento para medição da salinidade e temperatura da coluna d'água, bem como um sistema de georreferenciamento RTK.

Em relação ao planejamento de levantamentos batimétricos, Gagg (2016) recomenda que sejam adotados alguns procedimentos para fortalecer as medições a serem realizadas, os quais são:

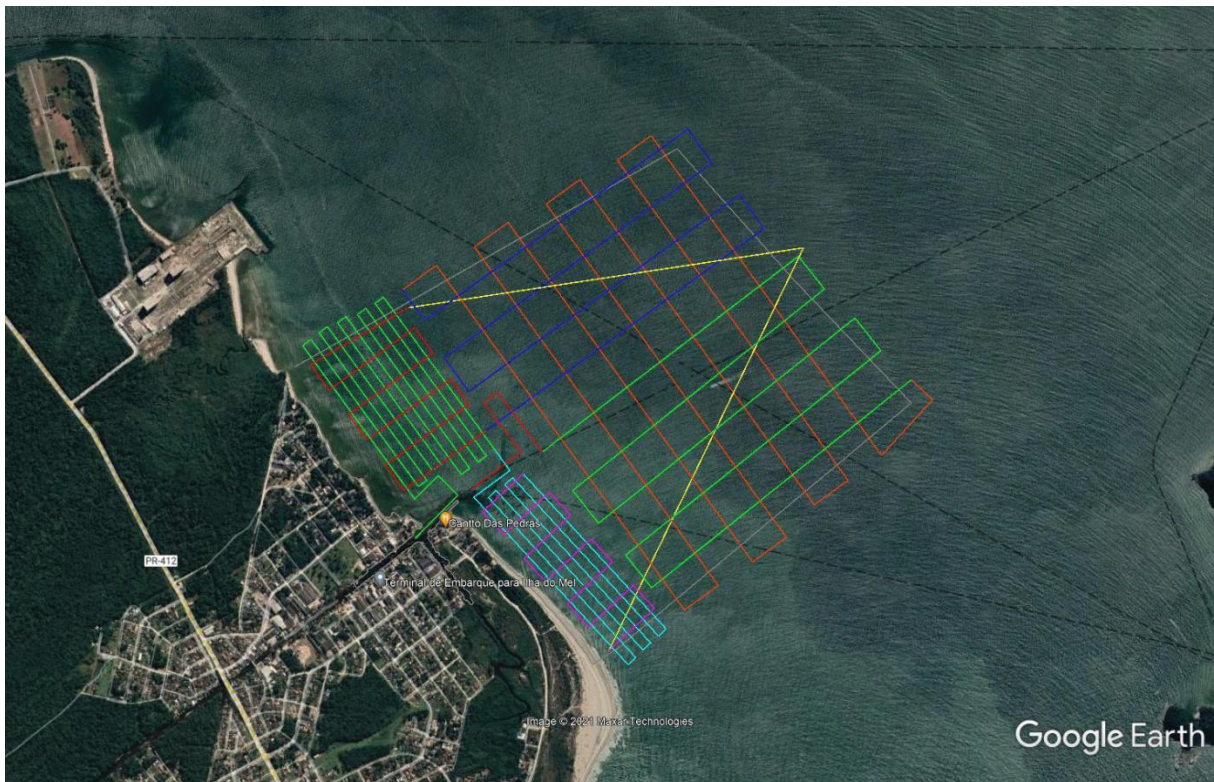
- a) As linhas de medição deve ser posicionadas segundo a precisão pretendida, portanto, em áreas de maior interesse, devem ser adotadas linhas mais próximas, enquanto que em regiões de menor interesse, podem ser adotadas linhas mais espaçadas;
- b) Buscar posicionar as linhas de medição de forma transversal a direção predominante do perfil morfológico do leito analisado;
- c) Disposição das linhas de medição de forma regular, as quais podem ser paralelas, circulares, radiais, dentre outras convenções.

Com a adoção destas instruções, pode-se potencializar a qualidade dos resultados obtidos nas sessões de medição.

A área de medição utilizada corresponde a 4 km<sup>2</sup>, com maior grau de detalhamento na região próxima a desembocadura do canal DNOS, com linhas

paralelas distantes de 50 metros, diminuindo este detalhamento para locais mais distantes da desembocadura, realizando medições com linhas paralelas distantes de 150 metros. A representação gráfica do planejamento prospectado de medições de campo é apresentada na FIGURA 23.

FIGURA 23 – PLANEJAMENTO PROSPECTADO PARA AS MEDIÇÕES DE CAMPO



O objetivo de prospectar uma maior precisão na região próxima à desembocadura do canal DNOS é a de obter dados mais robustos a fim de que possam subsidiar um diagnóstico mais fidedigno das causas da erosão costeira identificada nesta região, que constitui do principal objetivo do contrato firmado entre o Município de Pontal do Paraná e a FUPEF, bem como auxiliar na proposição de soluções adequadas à mitigação ou eliminação deste problema.

A velocidade do som varia segundo parâmetros de salinidade e temperatura, o que influencia diretamente no funcionamento de equipamentos acústicos, como é o caso do ADCP-M9. Por este motivo, é aconselhável que os dados obtidos sejam corrigidos considerando estes parâmetros. Assim, a Sontek desenvolveu outro equipamento que possui a finalidade de obter estas informações, chamado *Castway*, o qual é apresentado na FIGURA 24.



FIGURA 24 – EQUIPAMENTO CASTWAY



FONTE: Sontek (2021).

As especificações técnicas do equipamento *castway* são apresentadas no QUADRO 3.

QUADRO 3 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO EQUIPAMENTO CASTWAY

Comunicação	Radio interno Bluetooth (classe 2), com alcance de até 10 m.
Dimensões – Diâmetro	7,11 cm
Dimensões – Comprimento	20,32 cm
Dimensões – Massa	0,45 kg
Parâmetros de funcionamento	2 pilhas tipo AA para aproximadamente 40 horas de operação.
Armazenamento	15 MB, suficiente para aproximadamente 750 medições.
Taxa de frequência	5Hz

FONTE: Sontek (2021b).

Este equipamento foi projetado para obtenção dos dados de temperatura, condutividade (utilizada para o cálculo da salinidade) e pressão (utilizada o cálculo da profundidade). As especificações técnicas relativas aos parâmetros medidos pelo equipamento *castway* são apresentadas no QUADRO 4.

QUADRO 4 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS PARÂMETROS MEDIDOS OU CALCULADOS PELO EQUIPAMENTO CASTWAY

Parâmetro	Intervalo	Resolução	Acurácia	Método de obtenção
Condutividade	0 a 100.000 $\mu\text{S/cm}$	1 $\mu\text{S/cm}$	0,25% $\pm$ 5 $\mu\text{S/cm}$	Medido
Densidade <sup>3</sup>	990 a 1.035 $\text{kg/m}^3$	0,04 $\text{kg}^*\text{m}^3$	$\pm$ 0,02 $\text{kg/m}^3$	EOS80 <sup>4</sup>
Profundidade	0 a 100 m	0,01 m	$\pm$ 0,25% FS	EOS80
GPS	-	-	10m	-
Pressão	0 a 100 dBar	0,01 dBar	$\pm$ 0,25% do FS	Medido
Salinidade	Até 42	0,01	$\pm$ 0,1	PSS-78 <sup>5</sup>
Velocidade do som	1.400 a 1.730 m/s	0,01 m/s	$\pm$ 0,15 m/s	Chen-Millero <sup>6</sup>
Condutividade específica <sup>7</sup>	0 a 250.000 $\mu\text{S/cm}$	1 $\mu\text{S/cm}$	0,25% $\pm$ 5 $\mu\text{S/cm}$	EOS80
Temperatura	-5 a 45°C	0,01°C	$\pm$ 0,05 °C	Medido

FONTE: Sontek (2021b).

Tendo em vista a integração entre os equipamentos e ferramentas da fabricante Sontek, o software *hydrosurveyor* já possui as configurações nativas para processamento dos dados obtidos pelo equipamento *castway* com a finalidade de corrigir os dados de batimetria e velocidades de fluxo segundo os parâmetros existentes em cada região.

Para realizar o monitoramento do posicionamento georreferenciado dos levantamentos executados, foi utilizado o método RTK, o qual consiste do monitoramento da observável fase de onda portadora com a adoção do método de posicionamento relativo, com uma base instalada em um ponto de coordenadas conhecidas e um *rover*, que é acoplado ao ADCP-M9 e acompanha as medições realizadas.

Preliminarmente ao início da campanha de medições, foi selecionado um ponto no molhe localizado na desembocadura do Canal DNOS para instalação da base do RTK. Portanto, para este ponto, foi realizado o seu rastreamento por 30 minutos para obtenção de uma coordenada georreferenciada, caracterizando o método absoluto estático.

Novamente, em virtude da integração entre os equipamentos e ferramentas da fabricante Sontek, o software *hydrosurveyor* já possui as configurações nativas

<sup>3</sup> Baseado na resolução e acurácia da temperatura.

<sup>4</sup> Equação Internacional do Estado para águas marinhas (EOS-80).

<sup>5</sup> Escala de salinidade prática de 1978.

<sup>6</sup> Chen-Millero, 1977. Velocidade do som em águas marinhas em altas pressões.

<sup>7</sup> Baseado em 100.000  $\mu\text{S/cm}$  à -5°C.

para processamento dos dados de georreferenciamento para o posicionamento das medições executadas.

Ademais, foi executado um levantamento aerofotogramétrico da parte emersa da área de estudo por meio da utilização de drone. A nuvem de pontos das imagens obtidas pelo drone passam por uma correção de posicionamento considerando os pontos de apoio definidos na área levantada, os quais, por sua vez, foram obtidos através do método de levantamento relativo estático e pós-processado através do Processamento por Ponto Preciso disponível no IBGE. Estes dados, posteriormente geraram um Modelo Digital de Elevação, utilizado para complementar o perfil morfológico da área de estudo associado aos dados batimétricos.

#### 4.2 VARIAÇÃO DE NÍVEL DE MARÉ

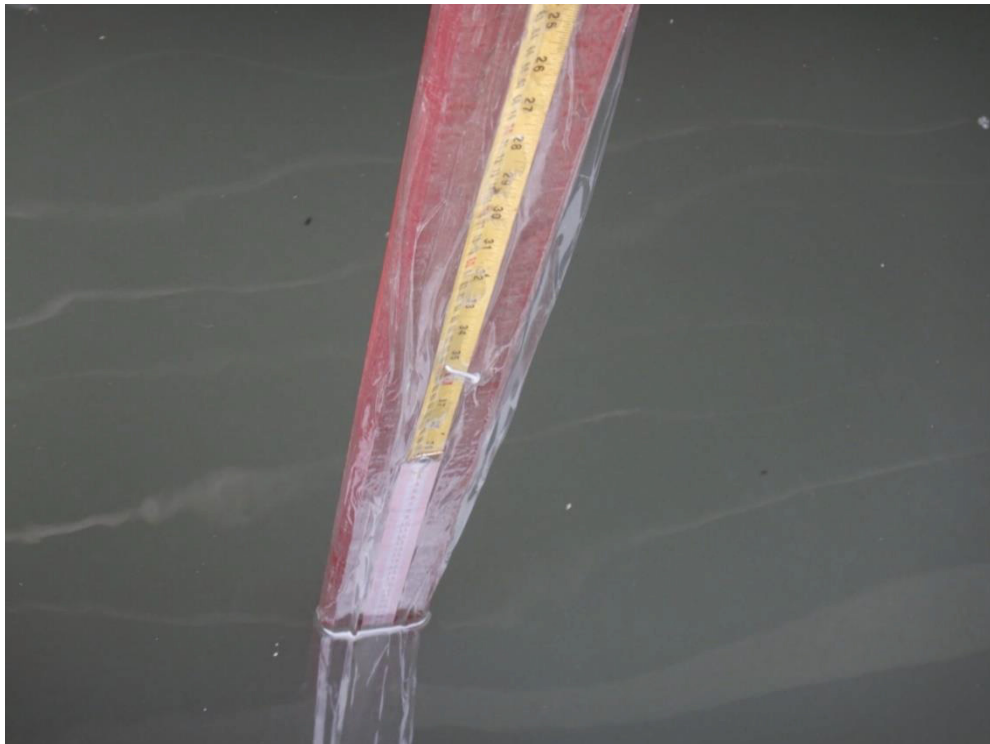
Outro fator que necessita ser monitorado ao longo da campanha de medições é a variação de nível de maré, uma vez que estes dados são fundamentais para o entendimento do comportamento hidrodinâmico desta localidade. Para tanto, foi instalada uma régua linimétrica próxima à desembocadura para verificação da variação do nível d'água ao longo das medições, bem como outra régua para simples conferência na marina de atracação da embarcação, conforme consta na FIGURA 25 e FIGURA 26, respectivamente.

O monitoramento da variação do nível d'água ocorreu através de medições de nível com intervalos de 15 minutos, executadas paralelamente na régua linimétrica e na régua localizada na marina de atracação, no período entre 13:30 e 16:45 no dia 17/09/2020, e entre 06:45 e 17:15 no dia 18/09/2020. O ponto de medição da régua linimétrica possui ré no ponto georreferenciado adotado para o posicionamento da estação base do RTK.

FIGURA 25 – RÉGUA LINIMÉTRICA UTILIZADA PARA MEDIR AS VARIAÇÕES DE MARÉ NO MOLHE



FIGURA 26 – RÉGUA DE CONFERÊNCIA UTILIZADA PARA MEDIR AS VARIAÇÕES DE MARÉ NO CAIS DE ATRACAÇÃO



O monitoramento dos dados de maré foi referenciado segundo o nível de redução atuante na região, o qual corresponde ao nível da baixa maré de sizígia. Neste contexto, a área de estudo se encontra compreendida pela Carta Náutica F41 1821, nominada Barra de Paranaguá – Canal da Galheta, cujo monitoramento da variação do nível de maré foi efetuado de 01/01/1997 a 31/12/1997, conforme consta na descrição da Estação Maregráfica (DHN, 2022). Durante este monitoramento, foi detectado que o nível de redução corresponde a 73,41 cm acima do zero desta régua.

A régua maregráfica desta estação está localizada a aproximadamente 2 km da área de estudo, conforme consta na FIGURA 27.



A Diretoria de Hidrografia e Navegação disponibiliza os horários e alturas das marés máximas e mínimas previstas para cada dia, na forma de dados de marés, sendo que estas alturas são referenciadas em relação ao nível de redução. Especificamente para os dias 17/09/2020 e 18/09/2020, a fase lunar correspondeu aos primeiros dois dias de Lua Nova, e os ciclos de marés se apresentaram como semidiurnos, cujos ciclos são apresentados conforme a TABELA 1.

TABELA 1 – MARÉS MÁXIMAS E MÍNIMAS PREVISTAS, EM RELAÇÃO AO NÍVEL DE REDUÇÃO

	17/09/2020		18/09/2020	
	Horário	Altura (m)	Horário	Altura (m)
<b>Marés máximas</b>	02:51	1,6	03:28	1,6
	15:41	1,6	16:17	1,6
<b>Marés mínimas</b>	09:23	0,0	09:32	0,1
	21:28	0,3	21:21	0,3

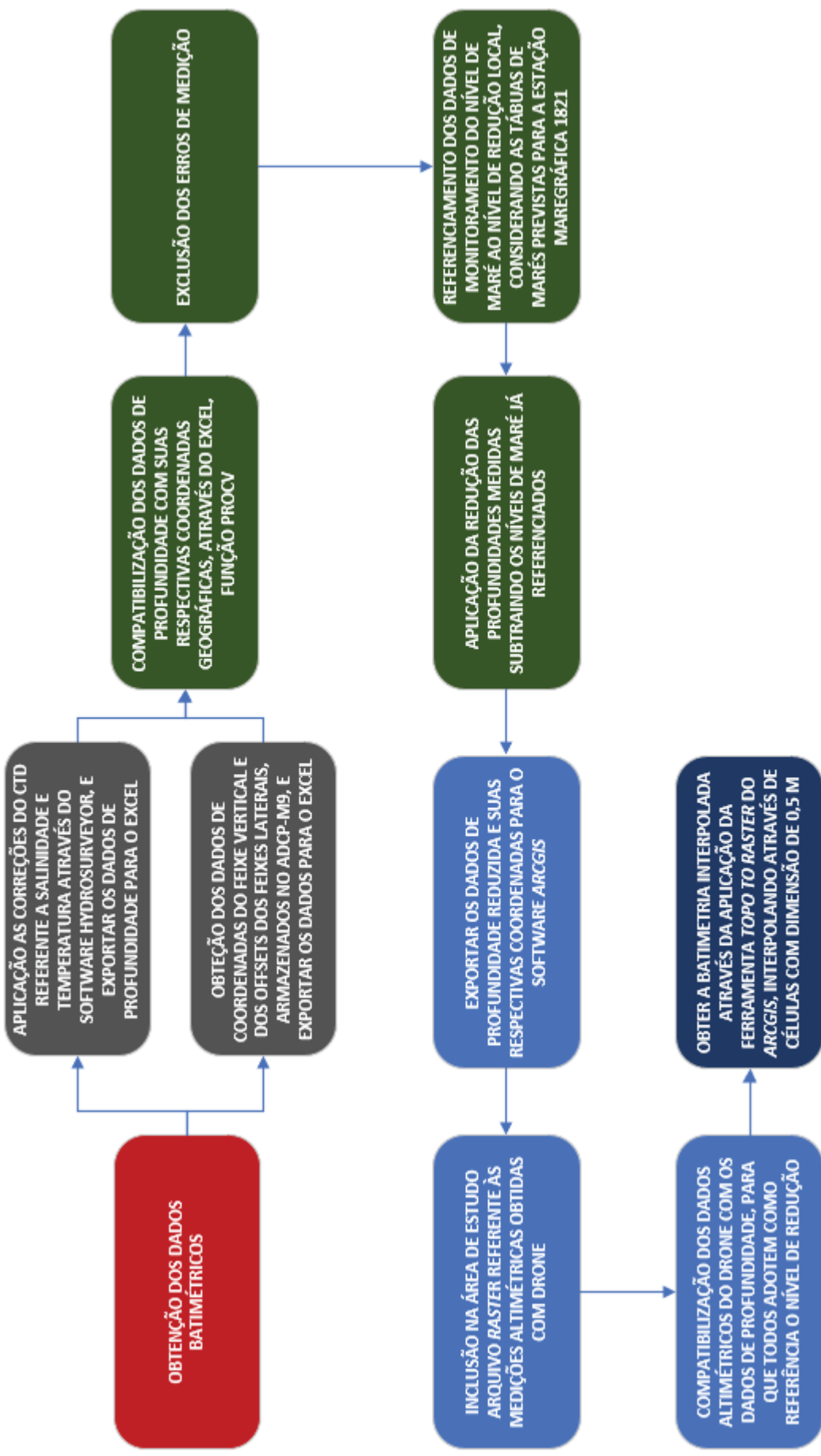
FONTE: CPTEC (2020).

Desta forma, a variação do nível de maré monitorada foi referenciada em relação a estes dados, sendo que estes virão a ser subtraídos das profundidades batimétricas medidas, a fim de manter um nível de referência uniforme para toda a área de estudo, o qual corresponderá, portanto, ao nível de redução.

#### 4.3 BATIMETRIA

A metodologia empregada para o processamento dos dados de batimetria é devidamente apresentada na FIGURA 28.

FIGURA 28 – FLUXOGRAMA METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS DE BATIMETRIA



Uma vez coletados os dados de batimetria, estes foram armazenados e processados no software *hydrosurveyor*, com o objetivo principal de aplicar a correção dos dados medidos considerando os parâmetros físicos de salinidade e temperatura medidos pelo CTD. Todavia, ao exportar os dados de batimetria, as coordenadas fornecidas pelo software correspondem apenas ao posicionamento do feixe central. Portanto, foi necessário obter os *offsets* dos feixes laterais, os quais ficam armazenados no próprio ADCP-M9, e aplica-los na coordenada do feixe central para obtenção do posicionamento individualizado de cada um dos quatro feixes relativos à profundidade medida.

Após, estes dados foram processados no software Microsoft Excel com o intuito inicial de excluir os erros de medição, identificados como “NaN”, bem como os *outlayers* porventura existentes. Após, com o conjunto de dados remanescentes, foi procedida a sua redução, considerando o monitoramento do nível de maré devidamente referenciada, conforme consta na Seção 4.2.

Com os dados de profundidade referenciados ao nível de redução, estes foram exportados para o software *ArcGis*, onde foi aplicado o interpolador *topo to raster* em conjunto com dados altimétricos da superfície emersa obtidos a partir de levantamento de drone. A partir da aplicação deste método de interpolação, foram produzidos os resultados, a serem apresentados no Capítulo 5 deste trabalho.

#### 4.4 PERFIS DE VELOCIDADE

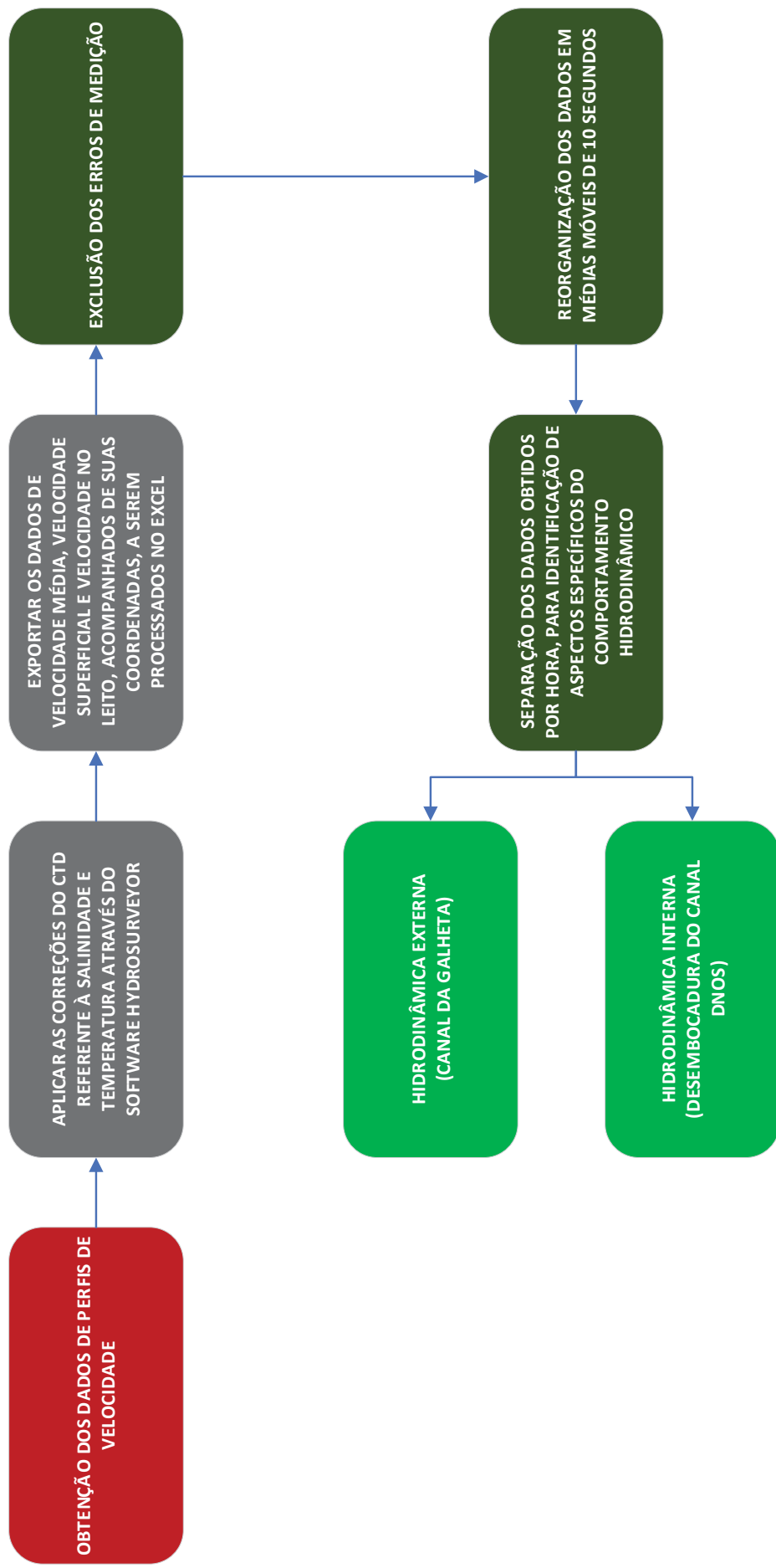
Concomitantemente à obtenção de dados batimétricos, também foi executado o levantamento de perfis de velocidade a partir da aplicação do efeito *doppler* do ADCP-M9. Este levantamento apresentou dados relativos aos componentes tridimensionais da velocidade das correntes de fluxo para cada célula de medição ao longo da coluna d'água, que permitem a construção de vetores de velocidade, com magnitude e direção.

Para arquivar e processar estes dados, foi utilizado o software *hydrosurveyor*, o qual se presta a obter perfil batimétrico e de velocidades de fluxo. O maior mérito deste software, conforme já explanado, é explorar os cinco feixes do equipamento ADCP-M9 para o levantamento de dados, potencializando a área de abrangência e o volume de medições realizadas.



A metodologia empregada para a obtenção e processamento dos dados de perfis de velocidade é devidamente apresentada na FIGURA 29.

FIGURA 29 – FLUXOGRAMA METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS DE PERFIS DE VELOCIDADE



Com os dados obtidos, a primeira etapa corresponde a aplicação das correções atinentes aos parâmetros físicos de temperatura e salinidade, para que os dados sejam exportados para pós-processamento no Microsoft Excel. Neste contexto, a apresentação das informações de fluxos de velocidade considera os segmentos superficial, intermediária e no leito da coluna d'água, bem como o fluxo médio detectado em determinado ponto.

Após, a exemplo do procedimento adotado para o processamento dos dados batimétricos, as informações relativas aos fluxos de corrente foram processadas no software Microsoft Excel com o intuito inicial de excluir os erros de medição, identificados como "NaN", bem como os *outlayers* porventura existentes.

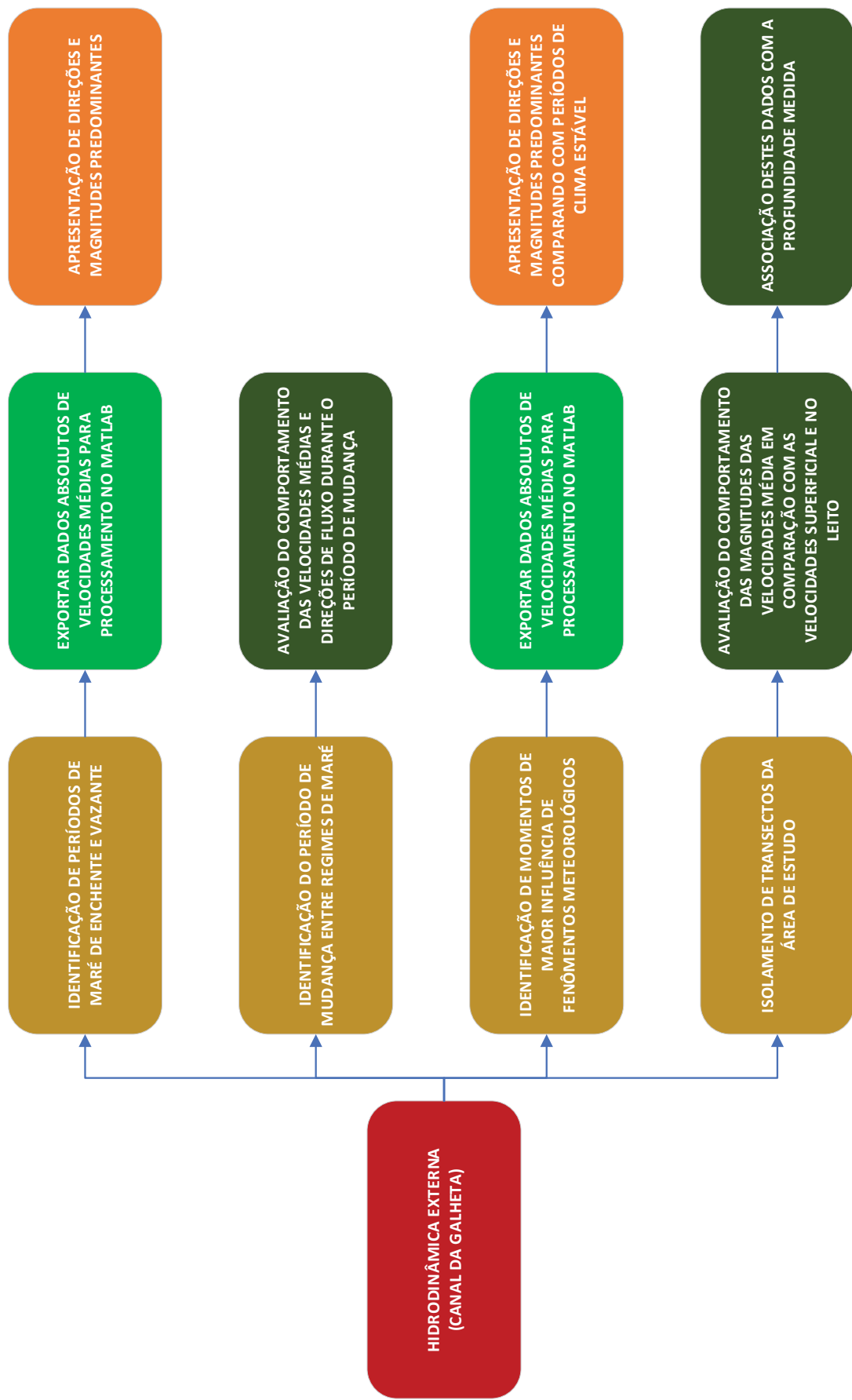
Para um melhor entendimento das informações, optou-se por adotar a ferramenta de análise de dados corresponde à média móvel, disponível no próprio Microsoft Excel, a fim de organizar as informações em conjuntos de dez medições, correspondendo, portanto, a dez segundos de levantamento de campo. Esta solução foi implementada quando o objetivo é analisar o comportamento hidrodinâmico ao longo do tempo, permanecendo a adoção dos valores absolutos nos casos de análise de magnitudes e direções predominantes.

Com os dados organizados, foram segmentadas as análises referentes à hidrodinâmica externa, correspondentes as informações coletadas ao longo do Canal da Galheta, e a hidrodinâmica interna, correspondente aos dados coletados na área da desembocadura do Canal DNOS.

#### 4.4.1 Hidrodinâmica Externa

A metodologia empregada para a obtenção e processamento dos dados relativos à hidrodinâmica externa é devidamente apresentada na FIGURA 30.

FIGURA 30 – FLUXOGRAMA METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS ATINENTES À HIDRODINÂMICA EXTERNA



Em relação à hidrodinâmica externa, a apresentação dos resultados focou nas análises efetuadas para a identificação dos períodos de maré de enchente e maré de vazante, da análise do período de alteração do regime de maré, a identificação da influência das condições meteorológicas. A título de análise complementar, foram abordados transectos específicos ao longo da área de estudo.

A identificação do comportamento hidrodinâmico em períodos específicos de maré de vazante e de enchente corresponde à comparação do comportamento hidrodinâmico em dois períodos de igual duração. Desta forma, foram analisados e comparados os dados obtidos entre 07:00 e 08:00, correspondente a fase de maré de vazante, e entre 11:00 e 12:00 para a fase de maré de enchente. Tais resultados serão apresentados na forma de análise da preponderância das velocidades médias e das direções de fluxos. Por este motivo, estas informações foram extraídas do Microsoft Excel e processadas no software *matlab*, que é instrumentalizado com ferramentas mais robustas para a apresentação deste tipo de resultado.

Em relação à análise do período de alteração do regime de marés, a apresentação dos resultados considerou o isolamento do período corresponde a mudança na direção dos fluxos de corrente, associando com a mudança do comportamento das magnitudes de velocidade no mesmo período. O interstício identificado como de variação de maré, na data de realização desta campanha, ocorreu entre 08:00 e 08:50.

Quanto à identificação da influência das condições meteorológicas, foi empreendida uma análise que compreende, especificamente, um período de instabilidade meteorológica, identificada entre 15:45 e 16:30. Assim, estes resultados objetivaram abordar as diferenças entre as magnitudes médias de velocidade em período de tempo bom (06:54 até 12:51) e o supramencionado período de maior instabilidade meteorológica.

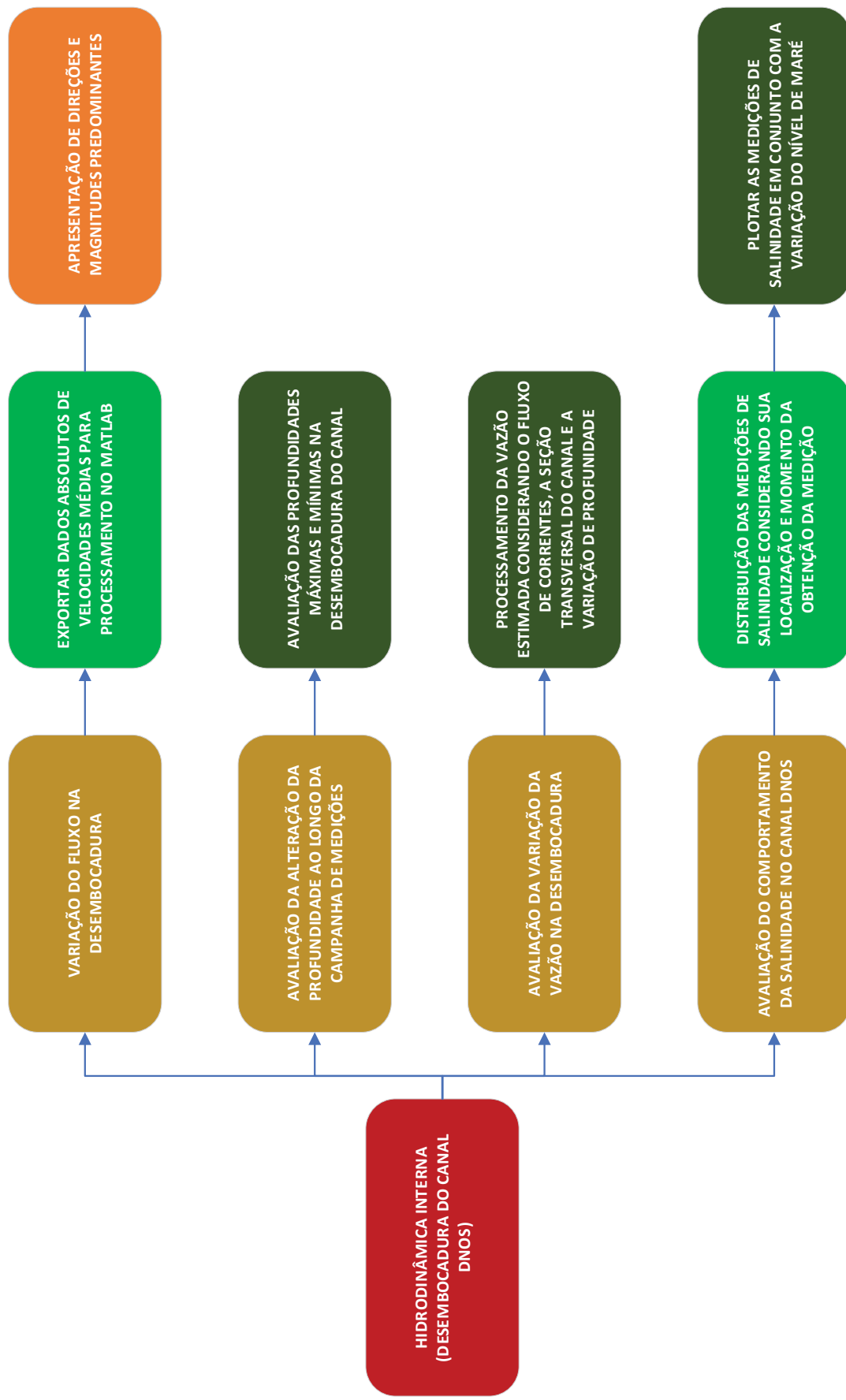
Por fim, o isolamento de transectos específicos teve por objetivo averiguar o comportamento hidrodinâmico em diferentes segmentos da área de estudo, com características distintas em relação a profundidade da coluna d'água. Desta forma, foram selecionados três transectos latitudinais, ou seja, com baixa variabilidade da profundidade batimétrica, dois transectos longitudinais, que refletem a variação da profundidade desde a costa até o canal dragado da Galheta, e dois transectos transversais, que refletem a variação da profundidade em áreas rasas. Para esta

análise específica, foram comparadas as magnitudes identificadas nas seções superficial e do leito da coluna d'água em conjunto com a velocidade média. Os resultados da análise dos transectos são apresentados no APÊNDICE 3.

#### 4.4.2 Hidrodinâmica Interna

A metodologia empregada para a obtenção e processamento dos dados relativos à hidrodinâmica interna é devidamente apresentada na FIGURA 31.

FIGURA 31 – FLUXOGRAMA METODOLOGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS ATINENTES À HIDRODINÂMICA INTERNA



Em relação à hidrodinâmica interna, a apresentação dos resultados versou sobre as análises efetuadas na variação do fluxo na desembocadura, na avaliação da variação da profundidade na desembocadura, na variação da vazão atuante na desembocadura, finalizando com a avaliação do comportamento da salinidade no interior do canal DNOS.

Quanto à variação do fluxo na desembocadura, esta análise objetivou isolar os dados obtidos em todos os momentos em que a embarcação atravessava o canal DNOS, sobretudo nos períodos de início e encerramento das seções de medição, comparando as velocidades medidas e direções de fluxo predominantes. Para tanto, com estas informações destacadas, procedeu-se a exportação dos dados para o software *matlab* que, conforme supramencionado, possui ferramentas adequadas para a apresentação de resultados desta natureza.

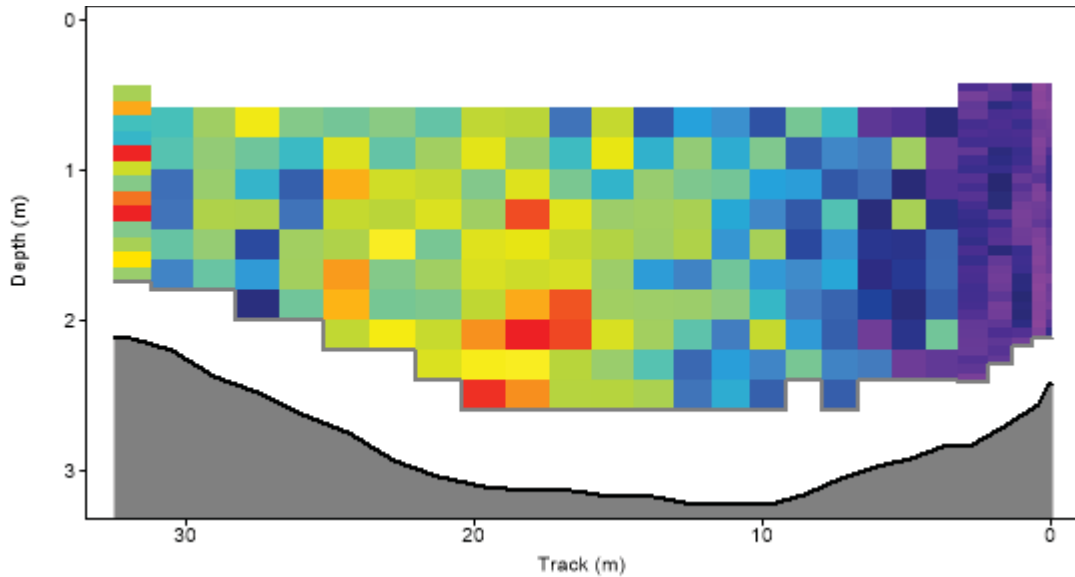
Ao passo que são destacados os dados de fluxos de corrente existentes na área de desembocadura, também foram isolados os dados de profundidade, os quais foram igualmente analisados, isolando informações atinentes às profundidades mínima e máxima identificadas nesta localidade.

Sobre a variação da vazão ao longo da desembocadura, foi efetuado um cálculo comparativo considerando as vazões atuantes na desembocadura ao longo da campanha de campo. Para tanto, é preciso adicionar a esta análise o perfil da seção transversal da desembocadura e a variação da altura da coluna d'água existente em cada instante de medição.

Em relação ao perfil da seção transversal, o seu perfil foi identificado por intermédio de uma medição executada através do software *riversurveyor*, às 08:21, com vazão de 16,12 m<sup>3</sup>/s, cujo perfil é apresentado na FIGURA 32.



FIGURA 32 – PERFIL DA SEÇÃO TRANSVERSAL NA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS



A largura da desembocadura do canal correspondeu a 38,39 m, sendo que a profundidade sofreu uma variação de 2 a 2,90 m nas adjacências da seção, precisamente entre 0 e 10 m e entre 20 e 38,39 m. Assim, conclui-se que o leito da desembocadura do Canal DNOS apresenta um formato trapezoidal, com base maior medindo aproximadamente 40 m, a base menor medindo aproximadamente 10 m e a sua altura medindo 0,90 m. Desta forma, a área do leito da desembocadura corresponde a 22,5 m<sup>2</sup>. A obtenção da vazão em uma seção transversal depende do perfil geométrico da seção e do fluxo de corrente que transpassa por ela, a qual é obtida a partir da Equação 4.

$$Q = [(p - 0,9) * 40 + 22,5] * v \quad (4)$$

Onde:

Q corresponde à vazão [L<sup>3</sup>T<sup>-1</sup>]

p corresponde a altura da coluna d'água medida em determinado momento [L];

v corresponde à velocidade de fluxos medida em determinado momento [L<sup>2</sup>T<sup>-1</sup>].

Por derradeiro, a avaliação do comportamento do parâmetro físico de salinidade objetivará associar os dados de salinidade obtidos com o monitoramento da variação do nível de maré, a fim de averiguar qual a influência que a variação da maré pode promover no interior do Canal DNOS em termos de concentração salina.

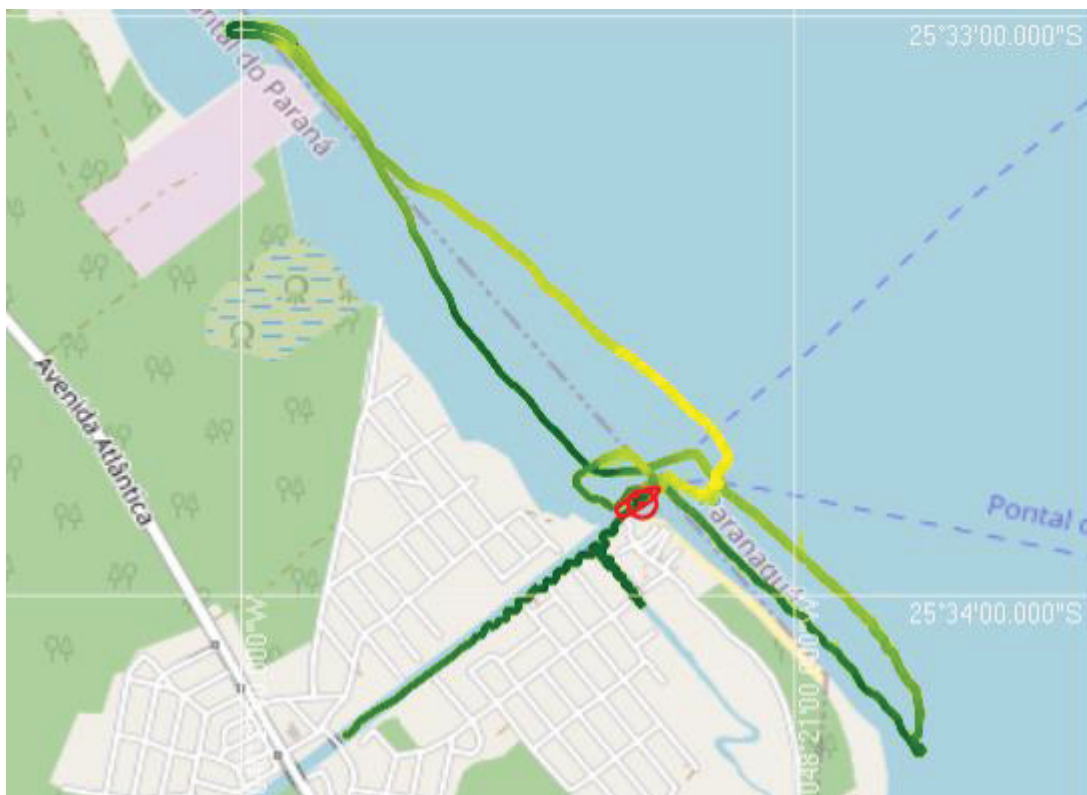
## 5 RESULTADOS

### 5.1 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

O presente capítulo será dedicado a apresentar o registro das atividades de campo executadas nas datas de 17 e 18 de setembro de 2020, o qual foi desenvolvido no escopo dos trabalhos realizados pela contratação celebrada entre o Município de Pontal do Paraná e a FUPEF.

O dia 17/09/2020 foi dedicado à coleta de dados no interior do Canal DNOS e realização de testes no Canal da Galheta, enquanto que o dia 18/09/2020 foi dedicado ao cumprimento do cronograma de medições ao longo da desembocadura do Canal DNOS e no interior do Canal da Galheta. Para esta data, as medições se iniciaram às 17:56 e se encerraram às 19:25, cujo registro das medições é apresentado na FIGURA 33.

FIGURA 33 – REGISTRO DAS MEDIÇÕES, DIA 17/09/2020



Já para o dia 18/09/2020, as atividades foram iniciadas às 06:54, sendo finalizadas às 17:51, conforme diário apresentado no APÊNDICE 1, compreendendo

dez seções realizadas. Ao todo, foram executadas 30.212 medições subdividas em dez seções, conforme consta na TABELA 2.

TABELA 2 – MEDIÇÕES EXECUTADAS

Seção	Período	Quantidade de medições realizadas
1	06:54 às 8:28	3.703
2	8:28 às 9:05	3.370
3	9:05 às 9:45	2.463
4	9:53 às 10:50	1.569
5	10:50 às 11:50	3.310
6	11:50 às 13:00	3.721
7	13:00 às 14:10	3.312
8	14:10 às 15:10	3.333
9	15:36 às 16:36	3.085
10	16:36 às 17:51	2.346
Total		30.212

Para o dia 18/09/2020, os levantamentos executados pelo ADCP-M9 foram subdivididos em dois arquivos de projeto, cujo caminhamento é apresentado na FIGURA 34 e na FIGURA 35.

FIGURA 34 – REGISTRO DAS MEDIÇÕES, DIA 18/09/2020, PROJETO 1



FIGURA 35 – REGISTRO DAS MEDIÇÕES, DIA 18/09/2020, PROJETO 2



Com relação as condições meteorológicas, estas foram favoráveis durante praticamente toda a campanha de medições, com tempo ensolarado e baixa incidência de ventos até aproximadamente às 15:45, quando ocorreu uma intensificação das rajadas que perduraram aproximadamente até às 16:30.

Ademais, foram executadas medições utilizando o equipamento *castway* para obtenção de informações atinentes aos parâmetros físicos de salinidade e temperatura. Ao todo, foram executadas doze medições de salinidade e temperatura, sendo três medições ao longo do Canal DNOS, duas medições na área de desembocadura, e sete medições distribuídas ao longo da área de levantamento, no Canal da Galheta. O posicionamento destas medições é apresentado na FIGURA 36 e no QUADRO 5.

FIGURA 36 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA E SALINIDADE



QUADRO 5 – DATA E HORÁRIOS DOS LEVANTAMENTOS REALIZADOS

Número da medição	Local	Dia	Horário	Salinidade média (psu)
1	Canal DNOS	17/09/2020	14:19	33,95
2	Desembocadura	17/09/2020	14:44	33,87
3	Desembocadura	17/09/2020	15:50	33,79
4	Canal DNOS	17/09/2020	16:27	33,67
5	Canal DNOS	17/09/2020	16:34	33,69
6	Canal da Galheta	18/09/2020	7:29	32,80
7	Canal da Galheta	18/09/2020	7:57	32,36
8	Canal da Galheta	18/09/2020	8:34	32,64
9	Canal da Galheta	18/09/2020	11:30	32,52
10	Canal da Galheta	18/09/2020	12:38	33,10
11	Canal da Galheta	18/09/2020	12:44	33,25
12	Canal da Galheta	18/09/2020	14:53	33,69

As próximas seções se prestarão a apresentar um breve registro fotográfico das atividades realizadas, bem como pontuar as principais dificuldades enfrentadas sobretudo nos levantamentos executados em 18/09/2020, acompanhadas das proposições para sua solução.

#### 5.1.1 Registro das seções de medição

Os registros fotográficos das medições de campo podem ser verificados na FIGURA 37 até a FIGURA 40.

A FIGURA 37 foi registrada no interior da embarcação utilizada para os levantamentos executados, com foco no suporte de fixação do equipamento ADCP-M9 com a embarcação. A haste vertical é utilizada para fixação do receptor *rover* do sistema RTK adotado para o georreferenciamento dos dados obtidos.

A FIGURA 38 registrou o ponto de localização da base do sistema RTK, o qual foi instalado no molhe localizado na desembocadura do canal DNOS.

A FIGURA 39 registra o funcionamento do software *hydrosurveyor*, o qual está registrado e armazenando as medições executadas pelo equipamento ADCP-M9 para processamento posterior.

A FIGURA 40 registra a utilização do equipamento *castway* para obtenção de informações relativas à salinidade, temperatura e profundidade, os quais influenciam em medições executadas por equipamentos que adotam o princípio acústico e que, portanto, devem ser consideradas para fins de correção dos dados obtidos.

FIGURA 37 – SUPORTE DE FIXAÇÃO DO EQUIPAMENTO M9 A EMBARCAÇÃO



FIGURA 38 – POSICIONAMENTO DA BASE DO RTK

FIGURA 39 – SOFTWARE *HYDROSURVEYOR* REGISTRANDO AS MEDIÇÕES

FIGURA 40 – UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO CASTWAY



### 5.1.2 Dificuldades detectadas

A execução dos trabalhos enfrentou algumas dificuldades que demandaram ajustes imediatos de cronograma. Os dois principais percalços enfrentados correspondem ao fato da sétima e oitava seções de medição terem sido registradas, mas não armazenadas no software *hydrosurveyor*, responsável pelo processamento de dados, bem como as constantes alterações da qualidade do sinal DGPS. Os motivos que levaram a tais fatos e as eventuais simplificações ou soluções a serem adotadas serão objeto de abordagem das seções subsequentes.

#### 5.1.2.1 Ausência de registro de seções de medição

Inicialmente, será abordada a dificuldade relativa ao registro da sétima e oitava seções de medição. O fato destas seções não terem sido salvas no arquivo de projeto do *hydrosurveyor* impediu que fossem empregadas as ferramentas de pós-processamento, sobretudo em relação correção das medições realizadas a partir dos dados coletados com o equipamento *castway*.

Ao todo, foram processadas 23.567 medições, as quais são apresentadas na TABELA 2, sendo que as medições registradas nas seções não processadas



contabilizam 6.645 medições, portanto, as seções não processadas corresponderiam a 22% das medições realizadas.

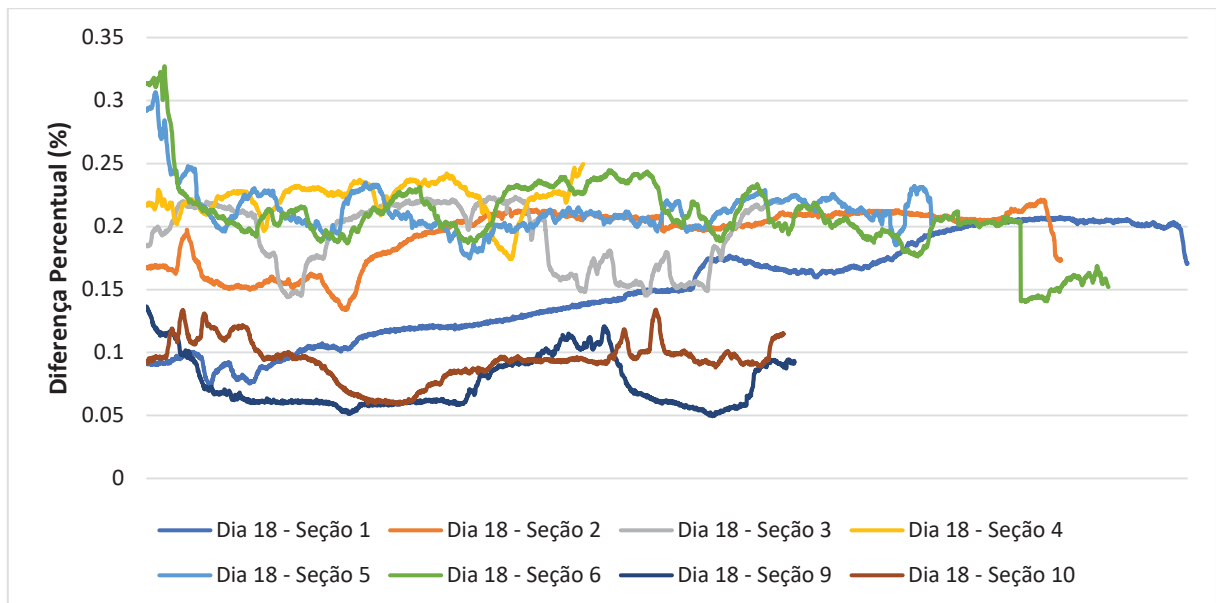
Assim, um dos pontos relevantes a serem avaliados seria a possibilidade de utilização destes dados, haja vista que um acréscimo de 22% de dados pode ser potencialmente significativo para os diagnósticos que se pretendem realizar, a depender o parâmetro analisado.

Neste contexto, verificou-se a viabilidade de se reaproveitar os dados de batimetria obtidos pelo feixe vertical. Diferentemente dos feixes laterais, o feixe vertical atua como ecobatímetro, sendo que, segundo o manual do software, o valor armazenado no equipamento M9 corresponde exatamente ao valor armazenado no *hydrosurveyor*, em contrapartida com os dados obtidos pelos feixes laterais, os quais passam por processamentos mais refinados em decorrência do efeito *doppler*.

Desta forma, o único processamento necessário para recuperar as profundidades medidas pelo feixe vertical do ADCP seria a aplicação das correções decorrentes dos parâmetros físicos presentes na coluna d'água, notadamente a temperatura e salinidade. Importante salientar que se trata de um ajuste fino, uma vez que estas medições já são previamente corrigidas segundo a temperatura detectada na camada superficial da água medida por um sensor térmico acoplado ao M9, e em decorrência do valor de salinidade fixado nas configurações do software, a qual foi fixado em 35 psu.

Comparando os dados medidos e processados pelo *hydrosurveyor*, a diferença entre as profundidades batimétricas das medições obtidas pelo eixo vertical e corrigidas segundo os dados do CTD foi de até 0,3% aproximadamente, conforme apresentado no GRÁFICO 1.

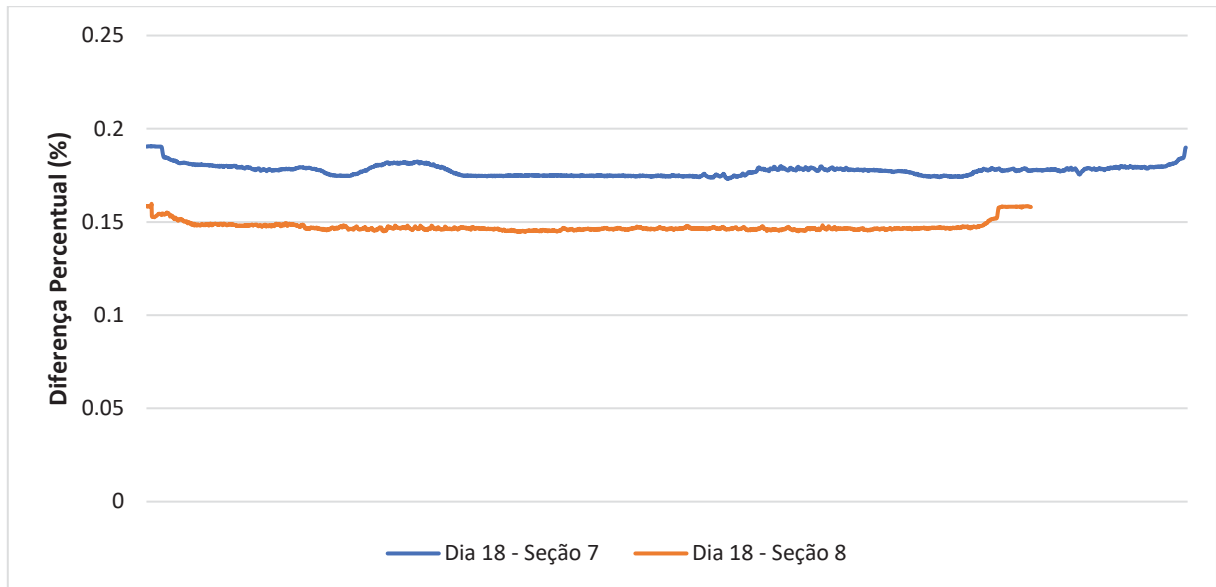
GRÁFICO 1 – DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE MEDIÇÕES DE PROFUNDIDADE SEM CORREÇÕES E COM CORREÇÕES DO CTD, COM CORREÇÕES OPERADAS PELO SOFTWARE *HYDRODURVEYOR*



Para os dados recuperados no equipamento, foram calculadas as profundidades corrigidas com a aplicação dos dados do CTD nas medições número 11 e 12, por terem sido coletadas às 12:44 e 14:53, respectivamente, representando as medições mais próximas do horário das sétimas e oitava seções de medição, compreendidas entre 13:00 e 15:30.

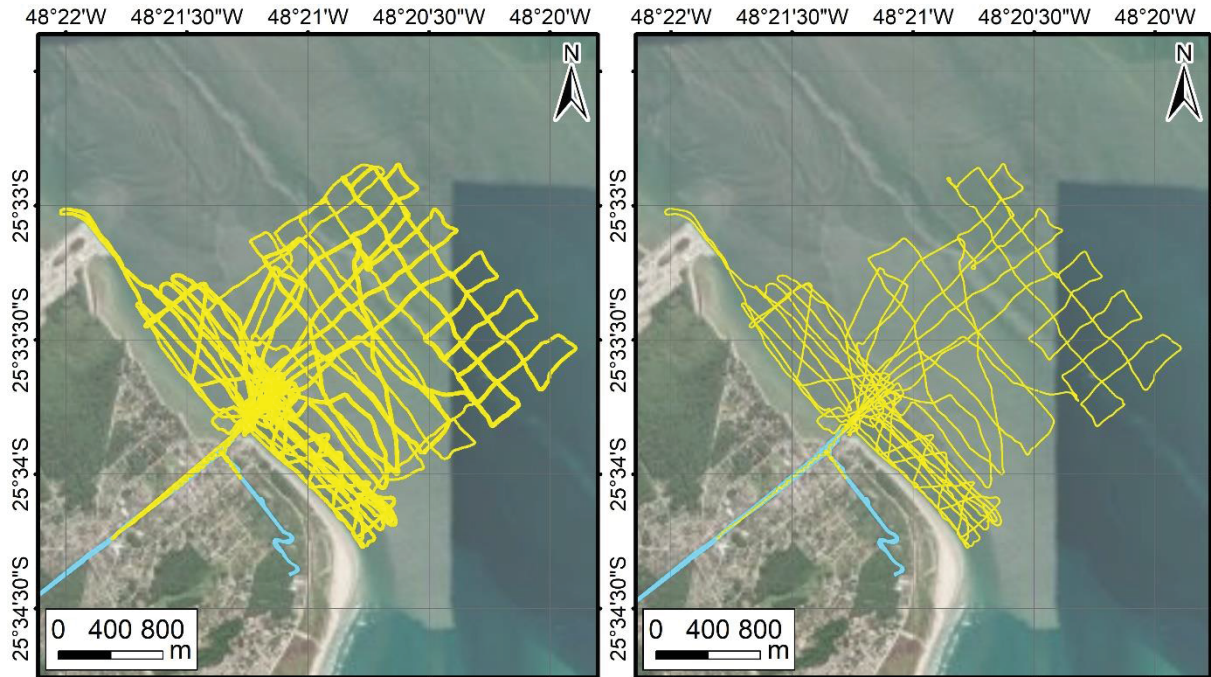
Para tanto, foi necessária a aplicação da equação de Coppens (Equação 3), inserindo os dados de salinidade, profundidade e temperatura para obtenção da velocidade do som corrigida, considerando a temperatura medida pelo próprio M9 e a variação da salinidade medida em relação ao valor fixado de 35 psu, para posterior cálculo da profundidade batimetria a partir da Equação 1. A diferença entre os valores obtidos e corrigidos por este procedimento também ficou na ordem de 0,2%, conforme apresentado no GRÁFICO 2.

GRÁFICO 2 – DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE MEDIÇÕES DE PROFUNDIDADE SEM CORREÇÕES E COM CORREÇÕES DO CTD, COM CORREÇÕES REALIZADAS PELA APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DE COPPENS



Desta forma, foi possível incorporar o volume de dados batimétricos para a execução da interpolação pelo método *topo to raster*, colaborando por uma melhor acurácia desta interpolação. Uma comparação entre a cobertura dos dados armazenados pelo *hydrosurveyor* e esta abrangência considerando também os dados recuperados é apresentada na FIGURA 41.

FIGURA 41 – COMPARAÇÃO ENTRE DADOS COLETADOS (À ESQUERDA) E DADOS REGISTRADOS NO *HYDROSURVEYOR* (À DIREITA)



#### 5.1.2.2 Alterações na qualidade do sinal DGPS

A representação gráfica do funcionamento do método relativo foi apresentada na FIGURA 8, bem como um maior detalhamento do método relativo e do método absoluto cinemático encontram-se detalhadas na Seção 2.3.2 deste estudo.

A qualidade do sinal do sistema RTK tanto em relação aos satélites rastreados quanto em relação a conexão entre a estação base e o *rover* (estação móvel) é representada pelo software *hydrosurveyor* como “Sontek DGPS FixQuality”, o qual, segundo consta do manual de utilização do software, pode apresentar cinco níveis diferentes que possuem os seguintes significados apresentados no QUADRO 6.

QUADRO 6 – SIGNIFICADOS OS NÍVEIS DE QUALIDADE DO “SONTEK DGPS FIXQUALITY”

Nível de qualidade	Significado
5	Conexão entre base e <i>rover</i> ativa, com rastreamento de cinco satélites.
4	Conexão entre base e <i>rover</i> ativa, com rastreamento de quatro satélites.
3	Conexão entre base e <i>rover</i> ativa, com rastreamento de três satélites.
2	Perda da conexão da base e <i>rover</i> , início da contagem de 45 minutos para reconexão e utilização da última correção diferencial transmitida.
1	Decurso do prazo de 45 minutos sem reconexão entre <i>rover</i> e base, conversão automática do método de posicionamento relativo para absoluto cinemático, utilizando somente o <i>rover</i> como único receptor do sinal GNSS.

Fonte: Sontek (2021)

Em síntese, quando ocorre a perda de conexão entre *rover* e base, o método relativo continua sendo empregado utilizando a última correção diferencial transmitida pela base ao *rover*. Todavia, a utilização desta última correção diferencial somente é adotada pelos próximos 45 minutos após a desconexão, sendo que após este prazo, o posicionamento georreferenciado passa a ser obtido através do método absoluto cinemático, com uma precisão inferior à precisão do método relativo.

Conforme consta do diário de medições apresentado (APÊNDICE 1), todo o momento em que ocorria a conversão do método de posicionamento georreferenciado de relativo para absoluto cinemático, era procedida imediatamente o retorno da embarcação para as proximidades da base, com o intuito de reconectar o equipamento, e iniciar uma nova seção de medições.

Assim, a dúvida seria se os dados obtidos nestes momentos deveriam ser descartados ou se existiria alguma possibilidade de aproveitamento, em que pese a utilização temporária de um método de posicionamento georreferenciado menos preciso. Para auxiliar na tomada desta decisão, é necessário averiguar a magnitude quantitativa dos dados obtidos nestes, o qual é apresentado na TABELA 3.

TABELA 3 – QUANTIFICAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS POR MÉTODO DE GEORREFERENCIAMENTO

Seção de medição	Dados obtidos com método relativo	Dados obtidos com método absoluto cinemático
1	2.908	795
2	2.826	544
3	2.463	0
4	1.569	0
5	2.657	653
6	2.745	976
7	Dados indisponíveis	Dados indisponíveis
8	Dados indisponíveis	Dados indisponíveis
9	2.663	422
10	2.346	0
Total	20.177	3.390

Em relação aos dados processados pelo *hydrosurveyor*, das 23.567 medições executadas, 14% foram obtidas com georreferenciamento executado com a aplicação do método absoluto cinemático. Portanto, sua significância não é irrelevante, até em virtude das seções não processadas pelo software. Assim, pugna-se relevante discutir a necessidade e possibilidade de correção destes dados.

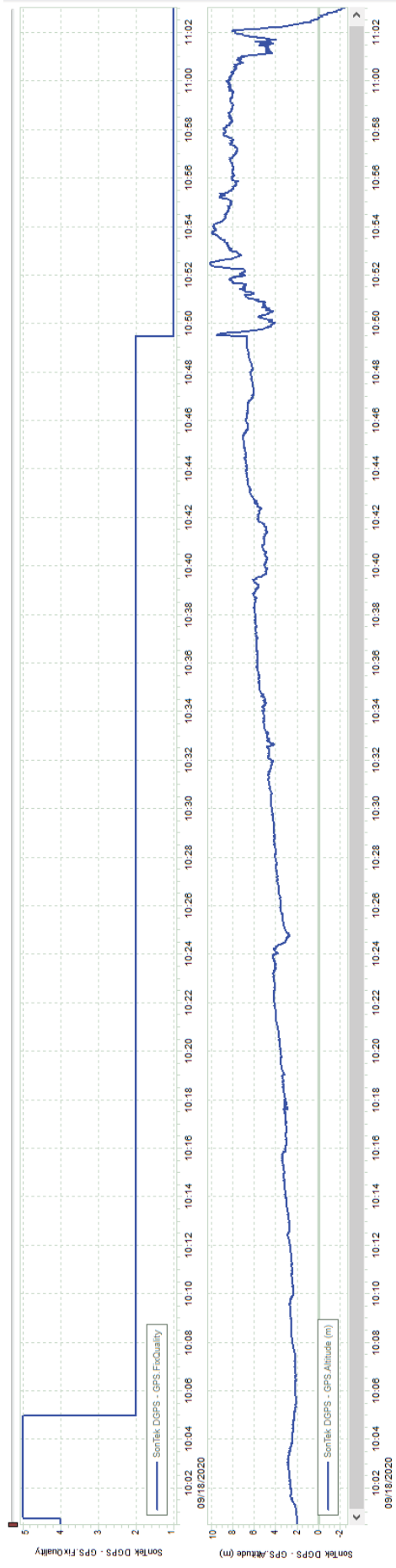
Inicialmente, em relação ao posicionamento georreferenciado planimétrico, correspondente aos eixos leste e norte, destaca-se que uma imprecisão métrica não

implica em um prejuízo operacional muito significativo. Importante ressaltar que, na etapa de planejamento, as linhas de medição foram planejadas com distância de 50 metros para a região próxima à linha de costa e 150 metros para a área do Canal da Galheta. Assim, uma variação de até 2,5 metros implicaria num erro de posicionamento de 5% na região com a maior resolução adotada nesta campanha de medições. Portanto, a eventual ocorrência de erros de ordem métrica é relativamente pouco significativa em decorrência da resolução adotada na campanha realizada.

Entretanto, em relação ao posicionamento altimétrico, o que se observou foram variações relativamente significativas, em decorrência especialmente da baixa profundidade desta região, atingindo valores máximos entre 25 e 30 metros. Esta ocorrência pode ser observada na FIGURA 42.

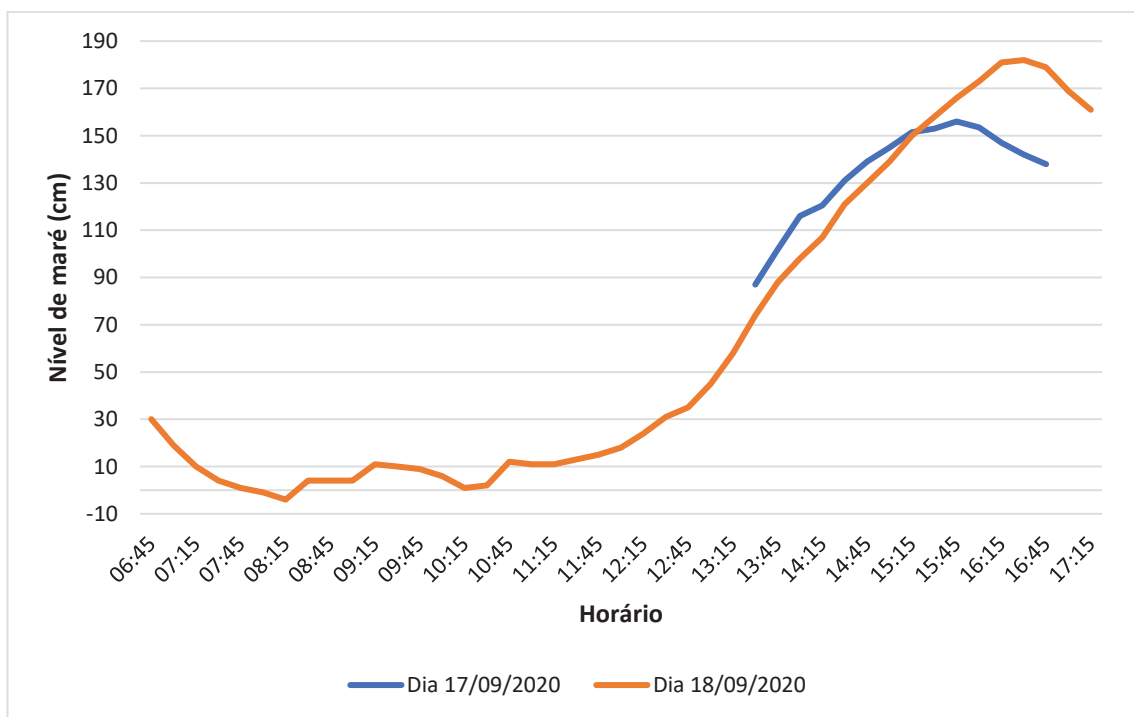
O comportamento da FIGURA 42 representa um período inicial com a plena conexão entre estação base e móvel, a qual é representada pelo “Sontek DGPS FixQuality” superior a 3, sucedida pela perda de conexão entre ambas as estações, implicando na indicação do “Sontek DGPS FixQuality” em 2, representando o início da contagem do temporizador de 45 minutos, período em que a estação móvel aplicará a última correção enviada pela estação base. Inexistindo reconexão entre a estação base e a estação móvel no período mencionado, ocorre a queda do “Sontek DGPS FixQuality” para 1, o que significa que o posicionamento dos pontos de medição está considerando unicamente a estação móvel, sem a aplicação de nenhuma correção diferencial. Neste instante, nota-se consideráveis erros de precisão em relação ao posicionamento altimétrico.

FIGURA 42 – COMPORTAMENTO DO POSICIONAMENTO ALTIMÉTRICO DO GPS CONFORME VARIA O SINAL DE QUALIDADE DGPS



Como esta campanha foi realizada em ambiente costeiro, a variação do posicionamento altimétrico está diretamente sujeito à variação do nível de marés, o qual também estava sendo monitorado através de medições executadas com as réguas apresentadas na FIGURA 25 e na FIGURA 26. Ademais, os dados foram referenciados ao nível de redução, conforme metodologia detalhada na Seção 4.5, cujos resultados são apresentados no GRÁFICO 3.

GRÁFICO 3 – VARIAÇÃO DE MARÉS REGISTRADAS EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE REDUÇÃO (DIA 17/09/2020)



Para conferência da adequabilidade deste método de referenciamento dos dados de maré, foram comparados os dados de altura de marés previstas na Tábua de Marés, que apresentam a previsão de nível de maré astronômica (CPTEC, 2020). Quanto aos resultados, o nível máximo medido às 15:50 do dia 17/09/2020 apresentou uma diferença de somente 3 cm em relação ao nível previsto. Para o dia 18/09/2022, esta variação atingiu 22 cm às 16:15, decorrente das condições meteorológicas, conforme exemplificado no comportamento hidrodinâmico identificado entre 15:45 e 16:30, momento em que ocorreu uma maior incidência de ventos.

Assim, a amplitude de maré no período de medição foi de, aproximadamente, 1,80 m. Portanto, foi possível zerar o posicionamento altimétrico nas configurações do



software *hydrosurveyor*, e adotar o posicionamento altimétrico considerando o monitoramento do nível de maré supramencionado.

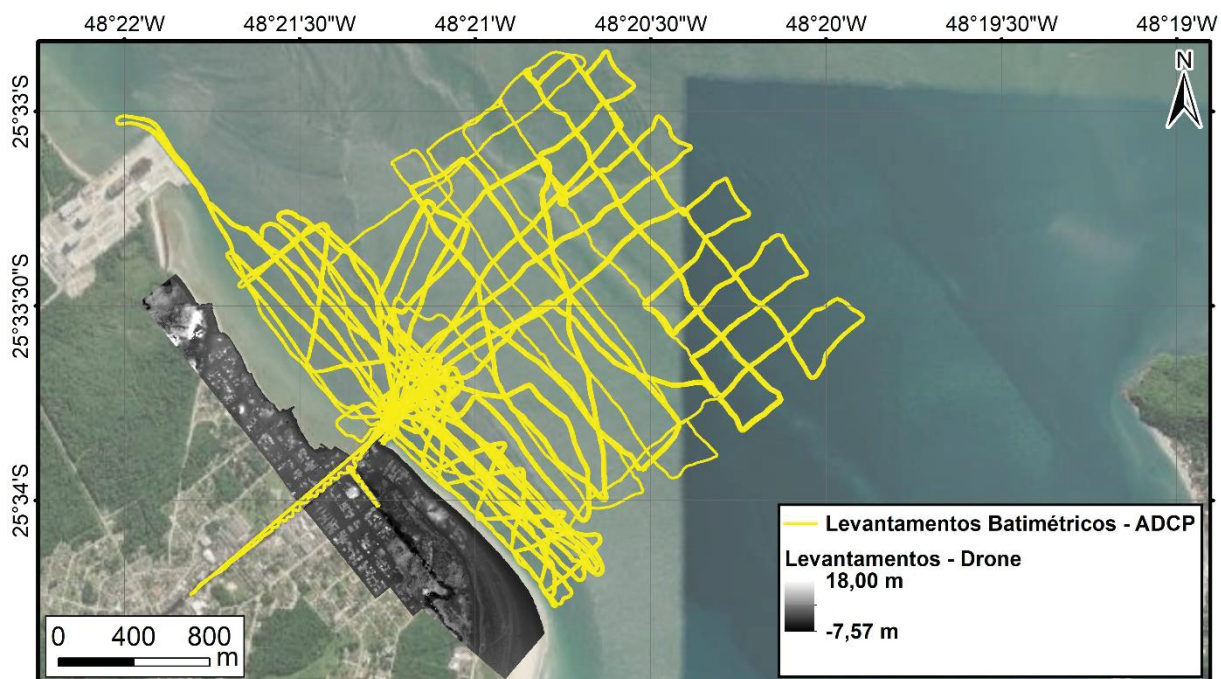
## 5.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS

Considerando a campanha realizada e os dados obtidos, foram executados processamentos a fim de se apresentar resultados que evidenciem o comportamento hidrodinâmico monitorado nesta região. Estes resultados foram replicados em artigo submetido ao XXX Congresso Latino-americano de Hidráulica (APÊNDICE 4). Para tanto, serão apresentados os resultados em três seções específicas, destinadas a abordar a batimetria da região, a hidrodinâmica externa e hidrodinâmica interna, cujo objetivo será analisar, de forma integrada, os dados de profundidade, fluxos de corrente, temperatura e salinidade obtidos na região.

### 5.2.1 Batimetria

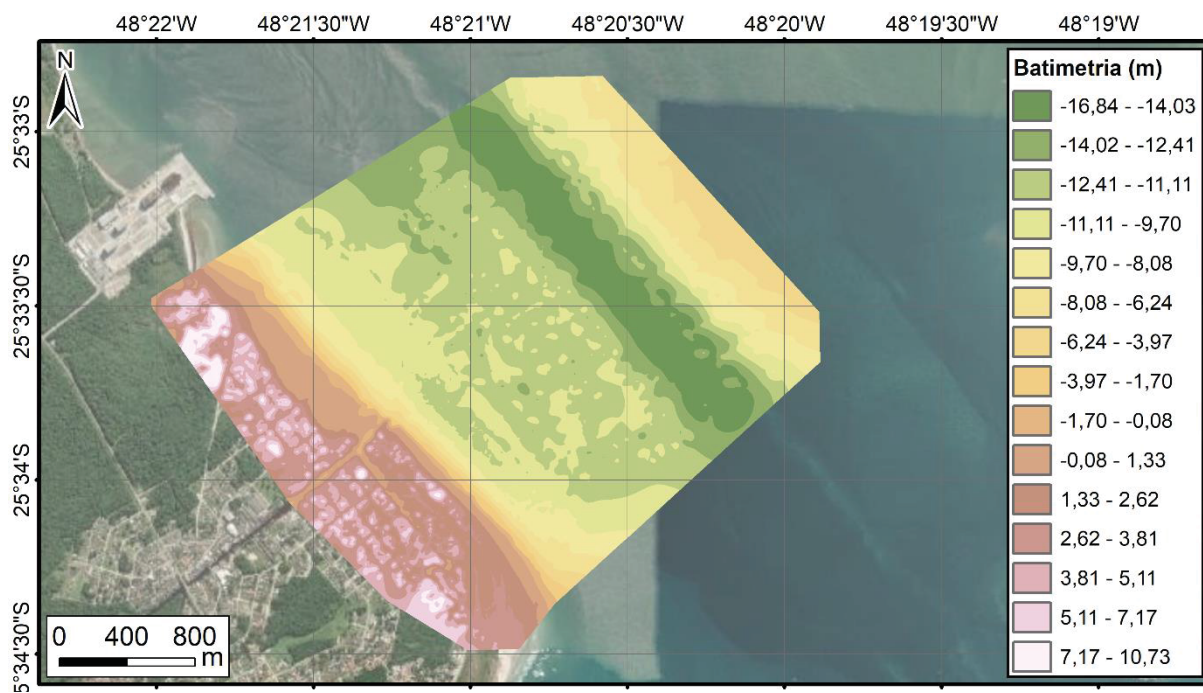
Para a análise da batimetria na área de estudo, foram utilizados todos os dados de profundidade processados pelo *hydrosurveyor*, bem como os dados provenientes do feixe vertical para a sétima e oitava seções de medição, o qual foi corrigido conforme procedimento detalhado na Seção 5.2.1, o que implicou em um incremento da cobertura amostrada da área de estudo. Ademais, para um diagnóstico que compreendesse tanto a área imersa quanto emersa, foram incorporados dados altimétricos da superfície emersa coletados com drone. A totalidade dos dados utilizados para o diagnóstico altimétrico da região são apresentados na FIGURA 43.

FIGURA 43 – DADOS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO DA INTERPOLAÇÃO



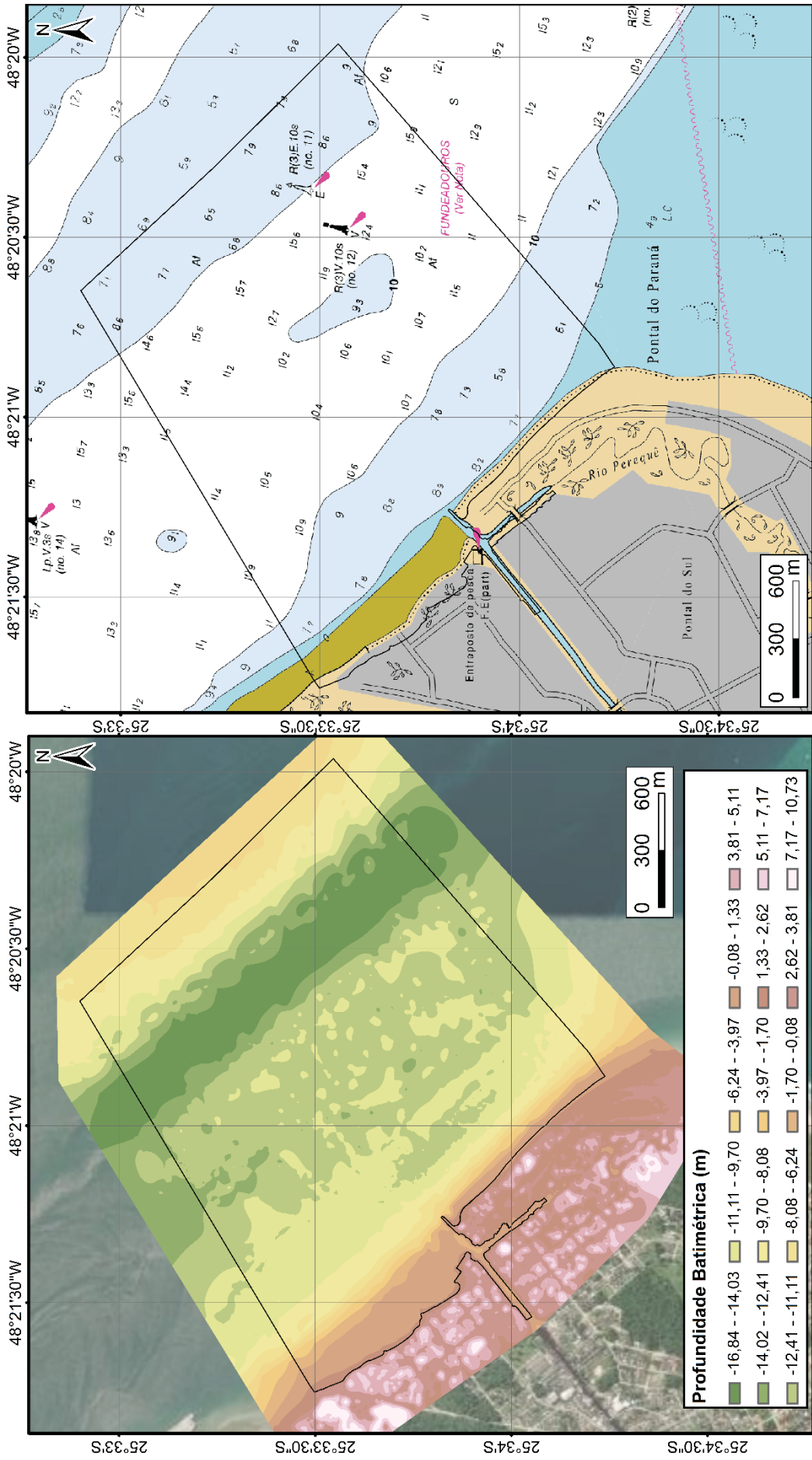
Posteriormente, estas amostras foram referenciadas para o nível de redução atuante nesta região, em conformidade com o método detalhado na Seção 4.2. O método de interpolação empregado foi do *topo to raster*. Para a execução da batimetria, foi utilizado o software *ArcGis*, o qual possui a ferramenta de interpolação pelo método supramencionado. Foi definida uma malha de 0,5 metros para execução da interpolação. O resultado deste procedimento é apresentado na FIGURA 44.

FIGURA 44 – BATIMETRIA INTERPOLADA



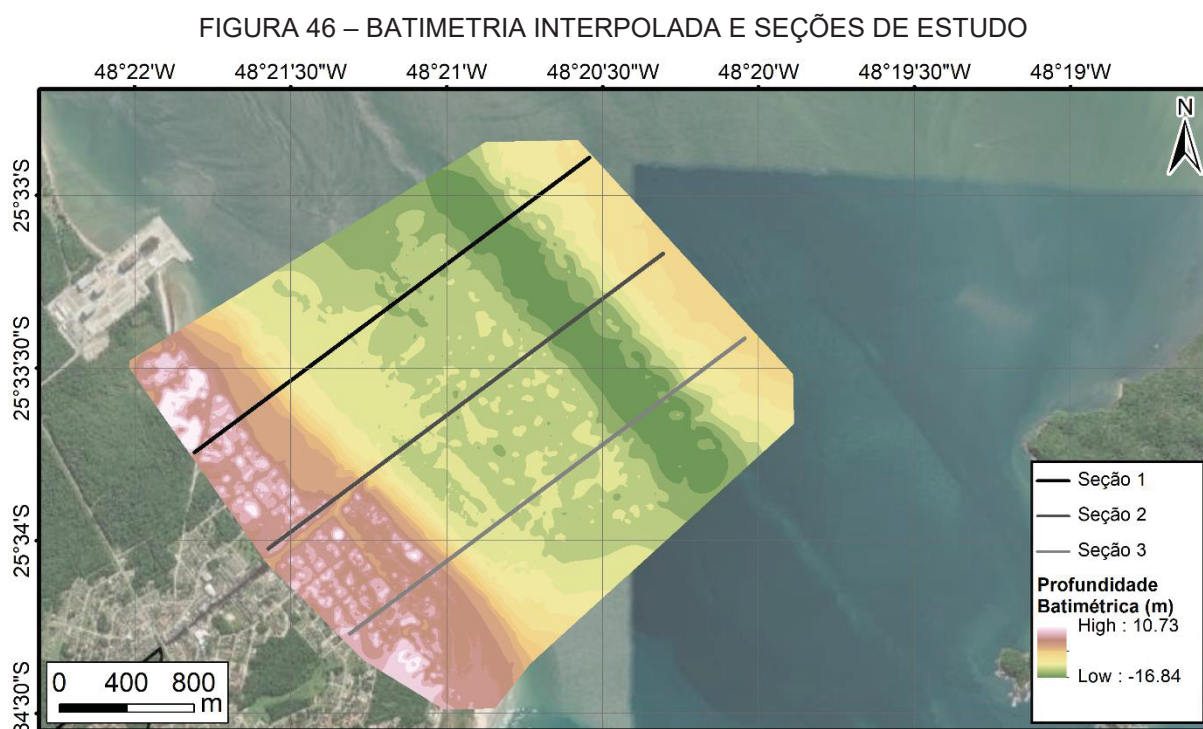
Com o objetivo de comparar resultados e validar a interpolação executada, é apresentada uma comparação entre a batimetria interpolada e a carta náutica 1821, a qual é apresentada na FIGURA 45.

FIGURA 45 – COMPARAÇÃO ENTRE A BATIMETRIA INTERPOLADA E A CARTA NÁUTICA ATUALIZADA PARA 01/06/2022



Nota-se que, em ambos os casos, identifica-se uma área com profundidade inferior a 10 m a partir da linha de costa, numa distância perpendicular de aproximadamente 300 m, até atingir a região central da área de estudo, com profundidades variando sobretudo entre 10 e 12 m. Na área do canal da Galheta, nota-se que a carta náutica registra valores entre 15,5 e 16 m, enquanto que a interpolação registra que, nesta área, o intervalo de profundidades varia de 14,03 até 16,84 m. Após a região do canal dragado, as profundidades sofrem uma redução gradativa, até a ordem de 6 m.

Para melhor demonstrar este perfil morfológico foram analisados transectos ao longo da área de estudo, os quais foram posicionados à noroeste da desembocadura do Canal DNOS, interceptando a saída do canal e à sudeste do Canal DNOS, conforme disposto na FIGURA 46.



A representação gráfica das três seções é apresentada do GRÁFICO 4 até o GRÁFICO 6.

GRÁFICO 4 – SEÇÃO 1 – NOROESTE DA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS

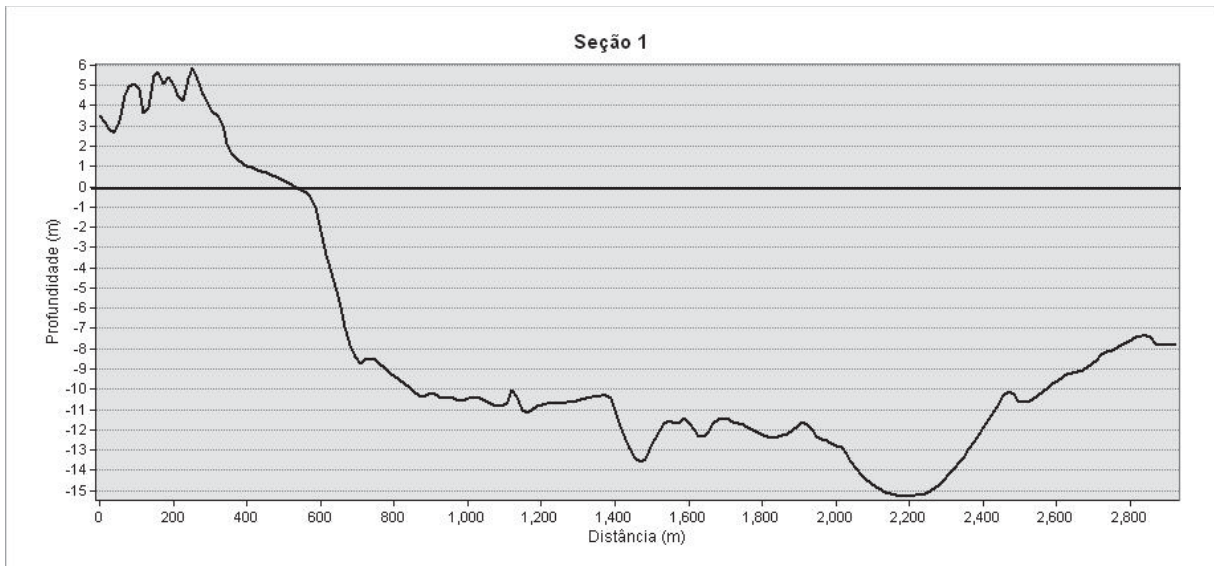


GRÁFICO 5 – SEÇÃO 2 – DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS

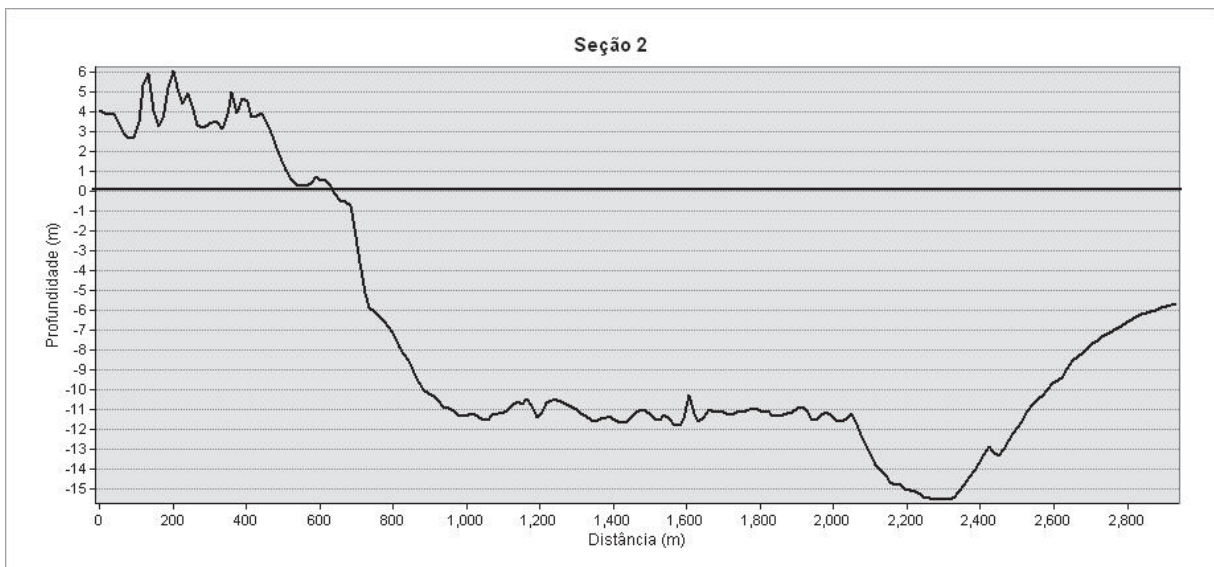
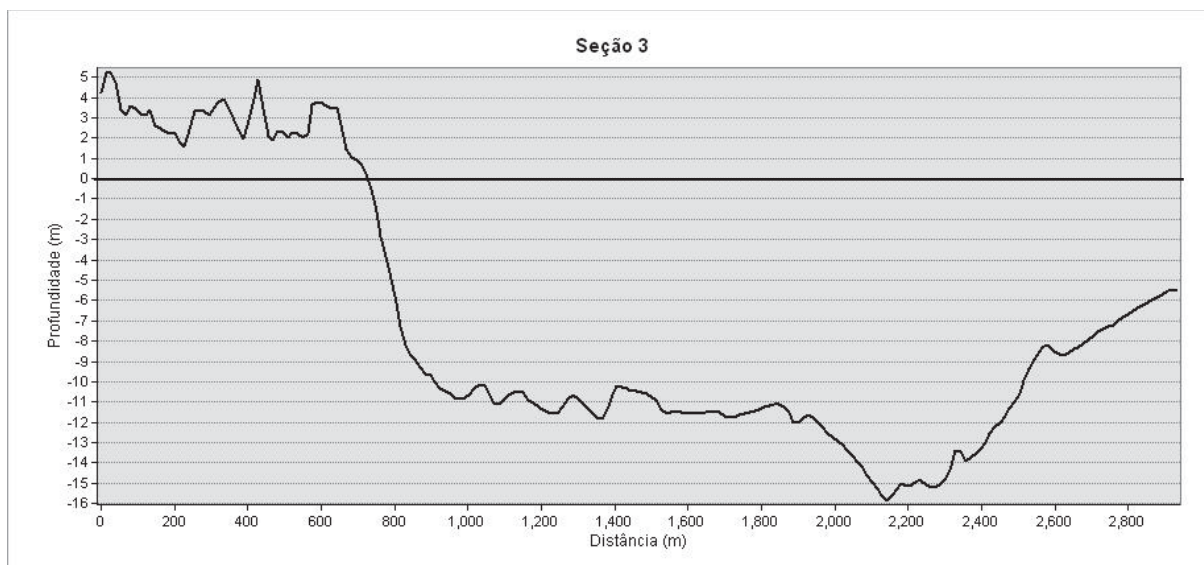


GRÁFICO 6 – SEÇÃO 3 – SUDESTE DA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS



Verifica-se que o segmento emerso apresenta altitudes variando até 10,7 m, decorrentes, sobretudo, da existência de edificações e vegetação arbórea na região. Em relação ao segmento submerso, verifica-se uma extensão da linha de costa com profundidades variando em até 1,70 m, a qual se desenvolve numa direção aproximadamente perpendicular ao Canal DNOS.

Ocorre, então, um gradativo aumento da profundidade, com uma declividade de 6% incidente numa distância entre 400 m e 600 m do ponto inicial de cada seção, até atingir profundidades entre 10 e 12 m, o qual prevalece por uma extensão aproximada de 1000 m de extensão até o canal dragado da galheta, onde as profundidades chegam a atingir 16 m. Importante consignar que, conforme noticiado pela própria administração pública estadual, a profundidade dragada do Canal da Galheta corresponde a 16 m (PORTOS DO PARANÁ, 2017).

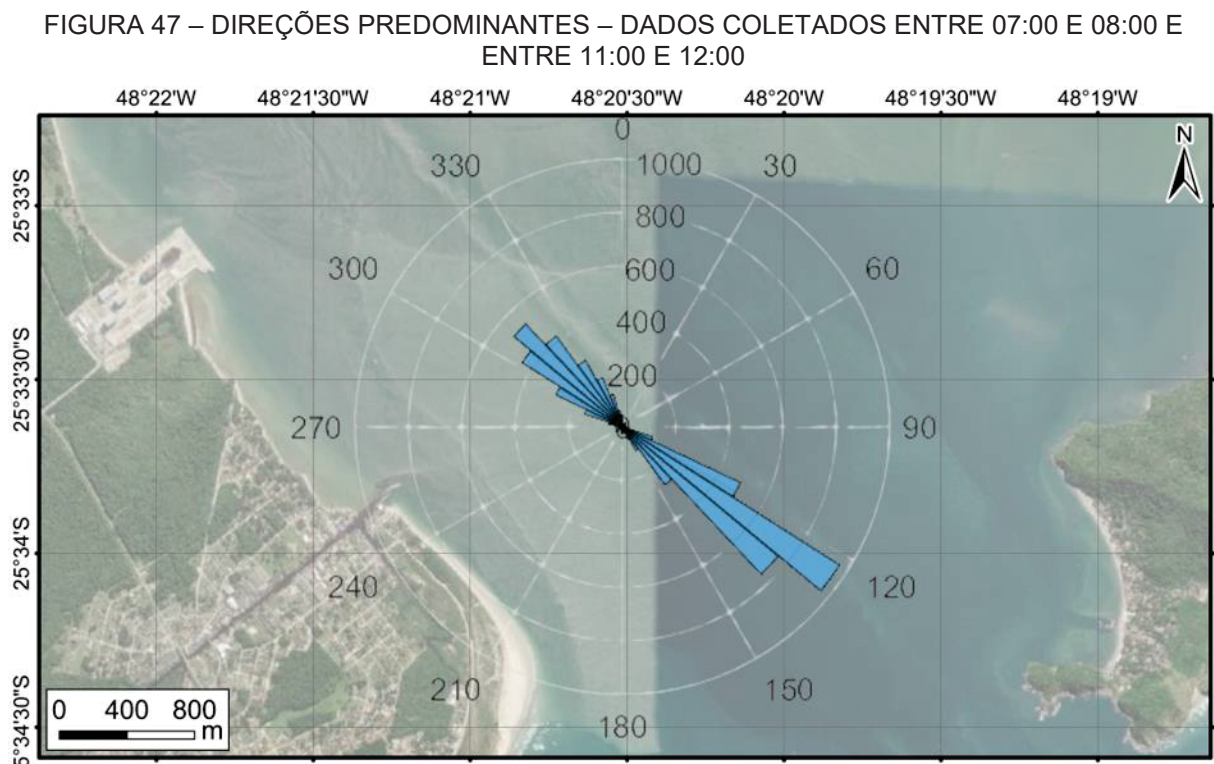
Por fim, a região do canal dragado é sucedida por uma área com redução de profundidade, na medida que ocorre a aproximação com a Ilha do Mel, atingindo até 6 m nos limites da área de estudo.

### 5.2.2 Hidrodinâmica externa

Para a análise da hidrodinâmica externa, os resultados apresentados correspondem a: direções e magnitude de velocidades predominantes, influências meteorológicas e períodos de mudança do fluxo de marés.

Quanto as direções e magnitudes de velocidades predominantes, foram analisados conjuntos de dados que refletissem períodos de maré de vazante e maré de enchente em tempo bom, para privilegiar a influência da maré astronômica. Para tanto, este diagnóstico versou sobre os dados compreendidos entre 07:00 e 08:00 e entre 11:00 e 12:00 do dia 18/09/2020, por corresponderem aos períodos de maré de vazante e enchente, respectivamente.

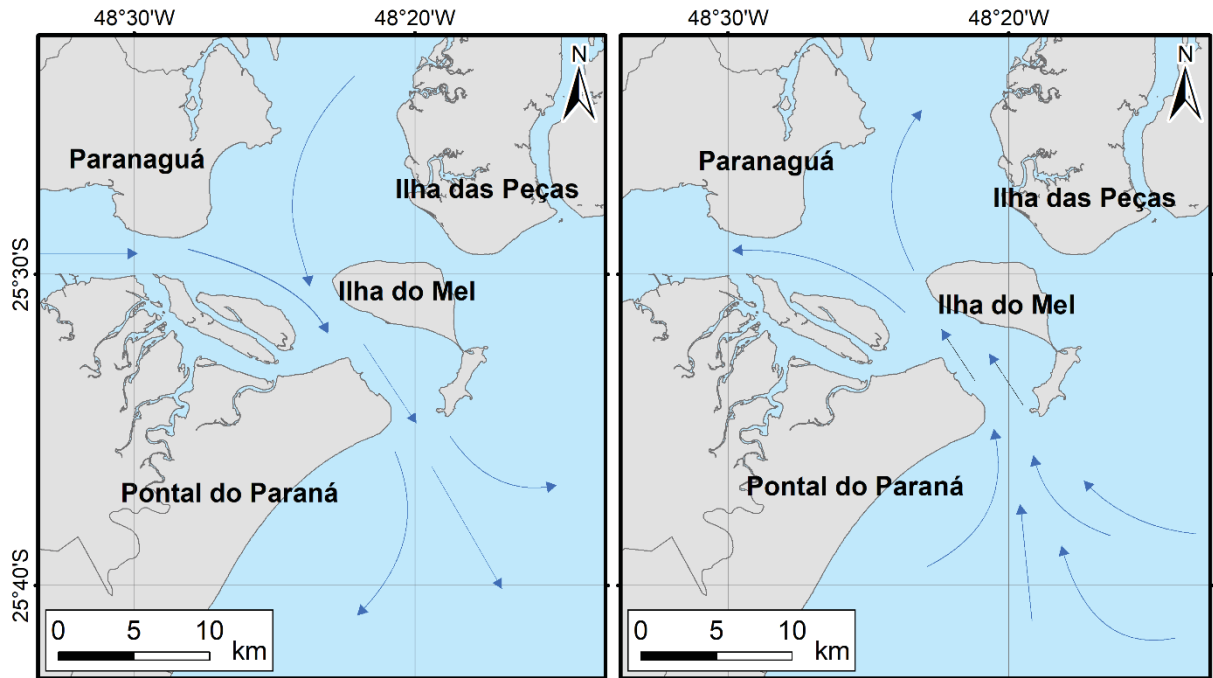
As direções predominantes considerando estes dois conjuntos de dados são apresentados na FIGURA 47.



A partir deste resultado, infere-se que a região do Canal da Galheta é caracterizada por fluxos de marés bem definidos para as direções sudeste (para marés de vazante) e noroeste (para marés de enchente). Estes fluxos preferenciais decorrem do afunilamento existente no Canal da Galheta, entre a Ilha do Mel e o balneário Pontal do Sul, o qual já foi identificado por Lamour (2000) e cujo comportamento é apresentado na FIGURA 48.



FIGURA 48 – AFUNILAMENTO DOS FLUXOS DE MARÉS NO CANAL DA GALHETA



Quanto as magnitudes predominantes, estas são apresentadas no GRÁFICO 7 e no GRÁFICO 8 para os períodos de maré de vazante e enchente, respectivamente.

GRÁFICO 7 – MAGNITUDES PREDOMINANTES – DADOS COLETADOS ENTRE 07:00 E 08:00 (MARÉ DE VAZANTE)

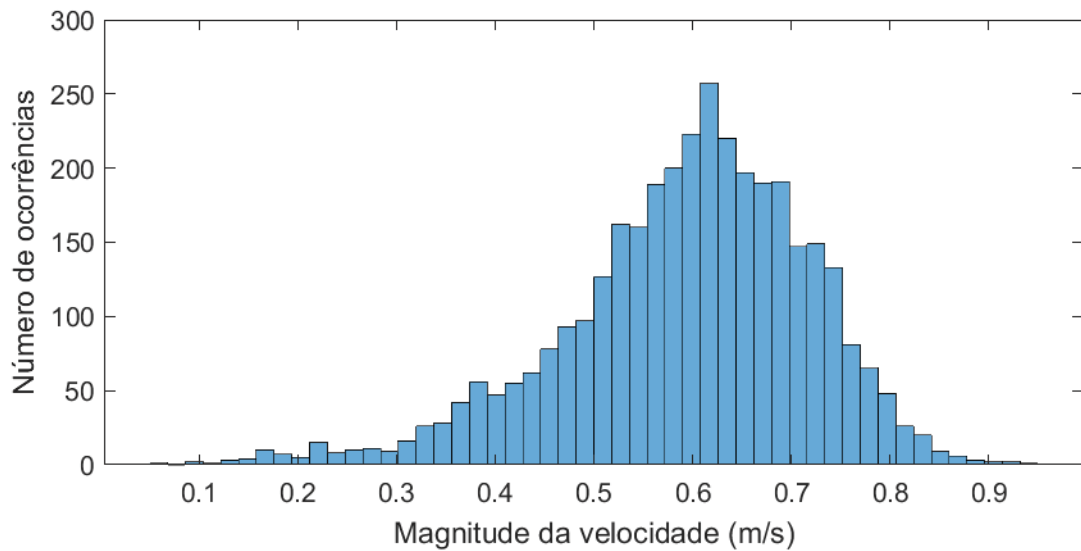
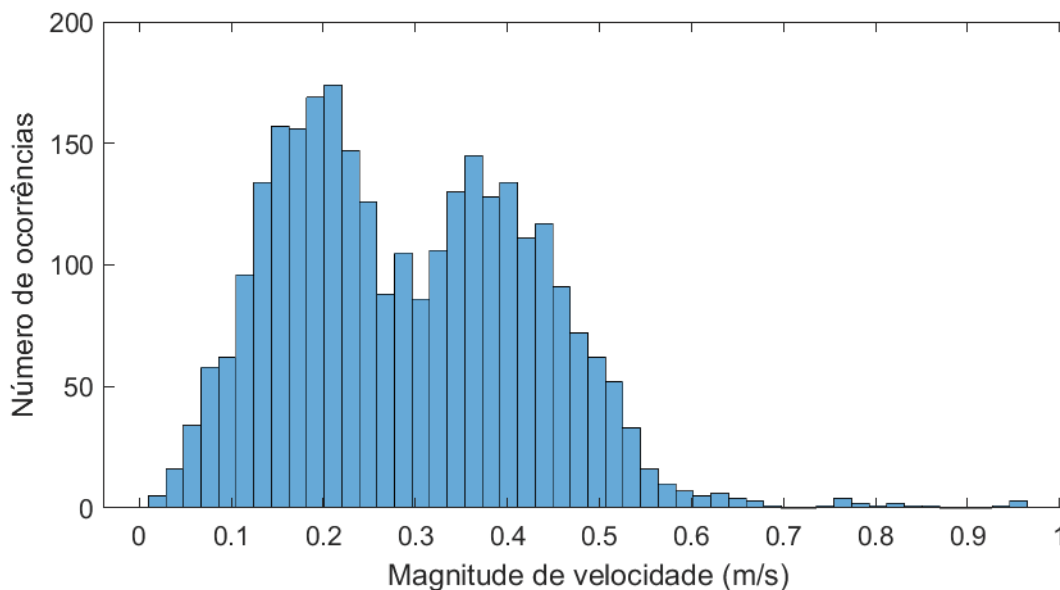


GRÁFICO 8 – MAGNITUDES PREDOMINANTES – DADOS COLETADOS ENTRE 07:00 E 08:00 (MARÉ DE ENCHENTE)



Nota-se que as marés mínima e máxima, para ambos os períodos, foi próxima de zero e de 100 cm/s, respectivamente. Entretanto, o período de maré de vazante apresentou uma frequência de magnitudes de marés superior ao período de maré de enchente, com o predomínio de velocidades de aproximadamente 60 cm/s durante o período de vazante e de 30 cm/s na fase de maré de enchente. Precisamente, a magnitude média em ambos os períodos foi, respectivamente, de 59,3 cm/s e 29,2 cm/s. Logo, conclui-se que a intensidade dos fluxos de corrente durante o período de maré de vazante foi mais significativa do que o fluxo de maré de enchente, precisamente na área estudada.

Quanto ao período de variação de maré, foram isoladas as medições realizadas no interstício de 07:30 à 09:45, cujos resultados referentes a variação da magnitude dos vetores de velocidade e a direção das correntes de fluxo são apresentadas no GRÁFICO 9 e no GRÁFICO 10, respectivamente. Neste momento, a transição do fluxo de maré ocorreu com a influência exclusiva da maré astronômica, haja vista que as condições meteorológicas eram de tempo bom, com baixa intensidade de ventos.

GRÁFICO 9 – MAGNITUDE DOS VETORES DE VELOCIDADE DURANTE A TRANSIÇÃO DE MARÉ DE VAZANTE PARA ENCHENTE

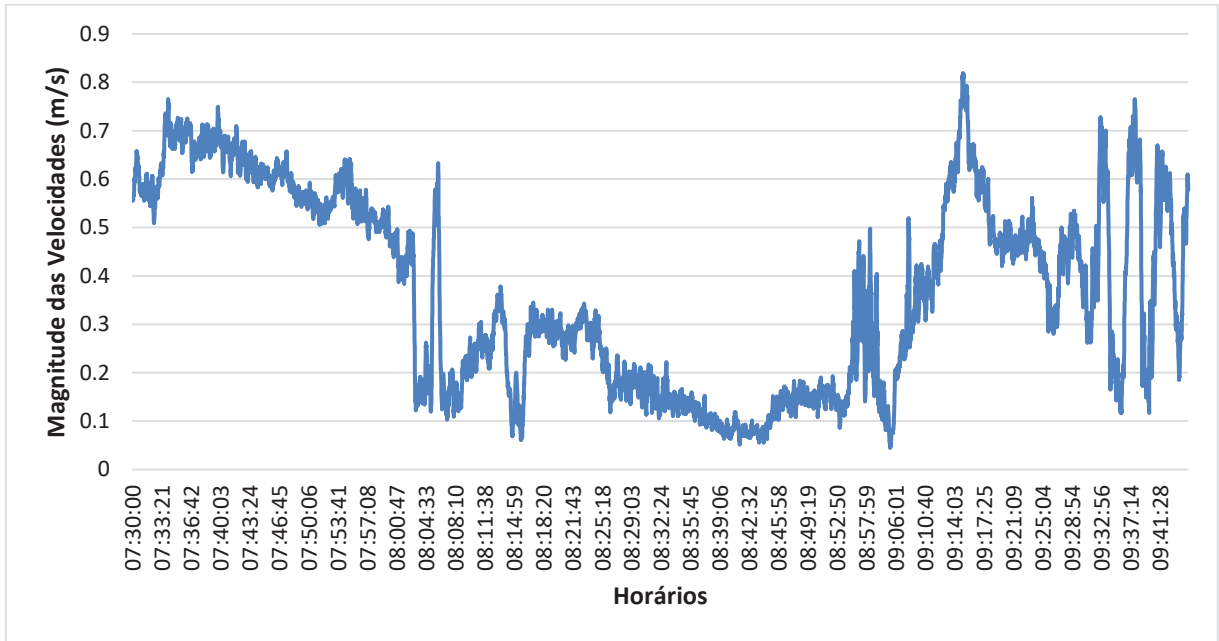
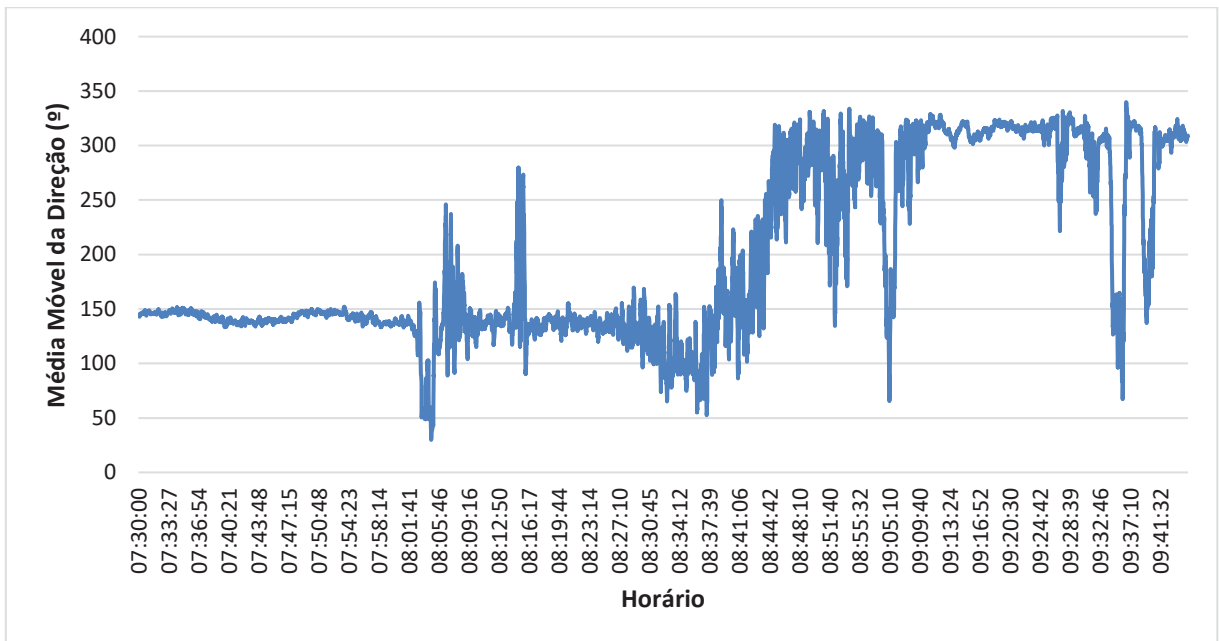


GRÁFICO 10 – DIREÇÕES DE FLUXO DURANTE A TRANSIÇÃO DE MARÉ DE VAZANTE PARA ENCHENTE



Neste contexto, foi observado que, antes da transição da direção do fluxo de maré, ocorre inicialmente um decréscimo gradual da magnitude de velocidade. Na campanha realizada, este decréscimo da magnitude da velocidade é perceptível a partir das 07:30, momento em que a magnitude dos vetores diminuíra de 70 cm/s para 50 cm/s até às 08:00, quando as velocidades diminuem consideravelmente, oscilando

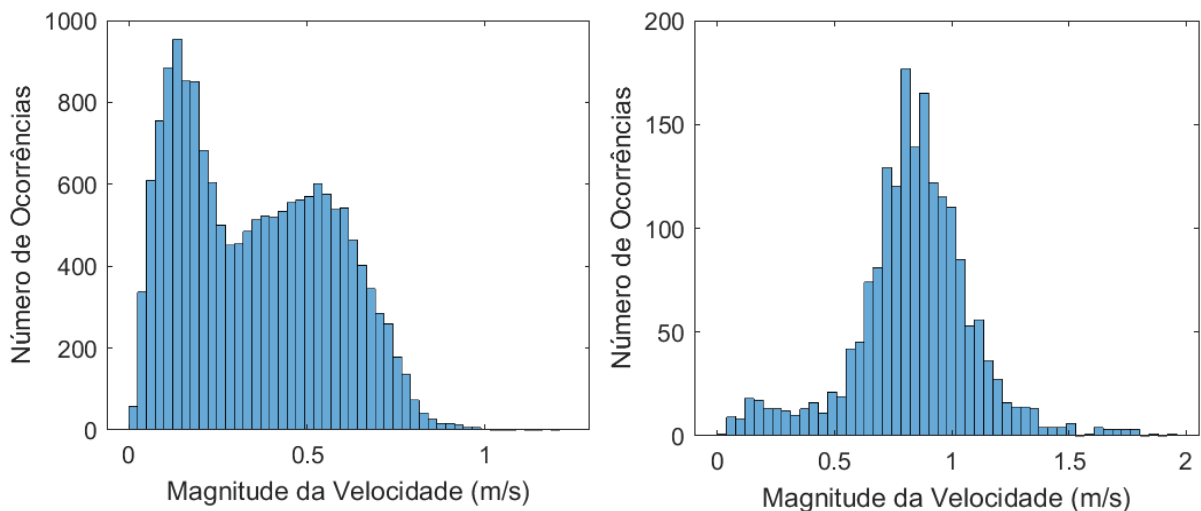
entre 10 e 30 cm/s até 08:50, instante em que a magnitude dos vetores de velocidade passa a apresentar uma média de 40 cm/s, já em regime de maré de enchente.

Em relação as direções de fluxo, relevante destacar que a oscilação característica da alteração do regime de marés ocorreu a partir das 08:25, ou seja, cerca de 25 minutos após a redução proeminente da magnitude das velocidades, e se encerra às 08:50, no mesmo instante em que ocorre um reestabelecimento do fluxo de velocidades em regime de maré de enchente, às 09:00.

Assim, considerando os dados obtidos, o período de variação do regime de maré de vazante para enchente que perpez 50 minutos, caracterizados por uma redução na magnitude dos fluxos de velocidade nos primeiros 25 minutos, a qual é acompanhada pela e alteração da direção do fluxo nos 25 minutos subsequentes.

Ademais, foram analisados os dados coletados em um período de variação meteorológica que, em conjunto com outros fenômenos atuantes na região, como movimentação de massas de ar, potencialmente, colaborou com o incremento de 22 cm em relação à altura máxima da maré prevista para às 16:17 do dia 18/09/2020. Neste contexto, foi identificada uma alteração no comportamento dos fluxos de corrente entre 15:45 e 16:30. Para atestar este fato, é apresentado no GRÁFICO 11, um comparativo entre as magnitudes de velocidades predominantes durante o período das 06:54 até 12:51, momento em que predominava tempo bom com baixa incidência de ventos, com o período supramencionado.

GRÁFICO 11 – MAGNITUDES PREDOMINANTES DE VELOCIDADES ENTRE 06:54 E 12:51 (ESQUERDA) E ENTRE 15:45 E 16:30 (DIREITA)



A partir destes resultados, nota-se que, durante o período de meteorologia estável, raramente as magnitudes de velocidade superam 100 cm/s, sendo que a velocidade máxima é de 123,2 cm/s e a velocidade média é de 35,7 cm/s neste período. Todavia, durante o período de maior incidência de ventos, as magnitudes de velocidade recorrentemente ultrapassam o patamar de 100 cm/s, sendo que a velocidade máxima registrada foi de 195,7 cm/s, e a velocidade média registrada de 83,6 cm/s, mais que o dobro a velocidade média identificada durante o período de tempo bom.

Estes resultados ressaltam a relevância que as condições meteorológicas, em especial a rajadas de ventos, exercem sobre os fluxos de corrente costeiras, podendo gerar, inclusive, variações nos níveis máximos e mínimos de maré. Neste contexto, foi franqueado, pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), dados de velocidade média, velocidade máxima de rajada e direção predominante, considerando um período diário, do regime de ventos monitorado pelas estações de Paranaguá e de Guaratuba, cuja localização em relação a área de estudo é apresentada na FIGURA 49.



Os dados fornecidos compreendem o período entre 15 e 20 de setembro de 2020, os quais são apresentados na TABELA 4 e na TABELA 5.

TABELA 4 - DIREÇÕES E VELOCIDADES MÉDIAS DOS VENTOS – ESTAÇÃO PARANAGUÁ

<b>Data</b>	<b>Velocidade Média [cm/s]</b>	<b>Velocidade da Rajada [cm/s]</b>	<b>Direção Predominante</b>
15/09/2020	166,8	490,0	Sul
16/09/2020	167,9	570,0	Sudeste
17/09/2020	201,4	1030,0	Nordeste
18/09/2020	182,1	620,0	Sudeste
19/09/2020	257,4	1470,0	Sul
20/09/2020	350,0	970,0	Sul

FONTE: SIMEPAR (2022).

TABELA 5 - DIREÇÕES E VELOCIDADES MÉDIAS DOS VENTOS – ESTAÇÃO GUARATUBA

<b>Data</b>	<b>Velocidade Média [cm/s]</b>	<b>Velocidade da Rajada [cm/s]</b>	<b>Direção Predominante</b>
15/09/2020	109,8	750,0	Sudoeste
16/09/2020	66,5	570,0	Norte
17/09/2020	79,9	780,0	Norte
18/09/2020	102,3	740,0	Norte
19/09/2020	161,0	900,0	Sudeste
20/09/2020	224,3	790,0	Sul

FONTE: SIMEPAR (2022).

Evidentemente, por uma questão de localização geográfica, a Estação de Paranaguá consegue representar de forma mais fidedigna o comportamento dos ventos atuantes na área de estudo, haja vista que se encontra a somente 17,5 km de distância, enquanto que a Estação de Guaratuba encontra-se a 43,0 km. Independentemente disso, relevante observar que a intensidade de ventos na região de Paranaguá é substancialmente superior em comparação com a região de Guaratuba, com dias onde a média da magnitude dos ventos monitorados na Estação de Paranaguá supera a Estação de Guaratuba em mais de 50%.

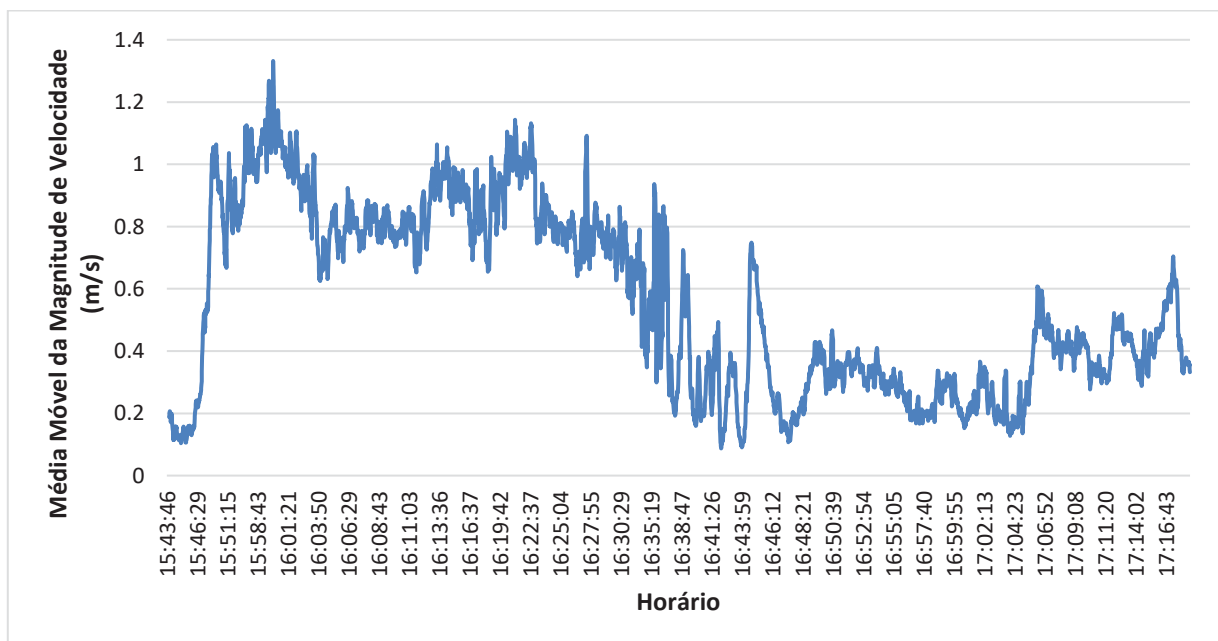
Tal indicativo aponta que a área de estudo pode apresentar uma maior susceptibilidade em relação a ação de ventos em relação a outras localidades desta

região, o que influencia diretamente na magnitude dos fluxos de corrente, sobretudo nas camadas superficiais da coluna d'água. Em síntese, precisamente para os dias 18 e 19 de setembro de 2020, as velocidades médias dos ventos foram de 201,4 cm/s e 182,1 cm/s, respectivamente, com rajadas de 1030 e 620 cm/s.

Uma constatação interessante é que a direção de ventos predominante, considerando o período de dados fornecido é a direção sul, com variações para sudeste. A única exceção foi justamente o dia 17/09/2020, primeiro dia da campanha, o qual foi destinado a levantamentos no interior do Canal DNOS, cuja direção predominante foi a Nordeste. Tal fato pode colaborar para a variação de nível em réguas instaladas no interior do Canal DNOS e em sua desembocadura, haja vista que o canal está na direção sul-sudoeste.

Tais considerações, ainda que considerem dados médios gerais de condições de vento, ressaltam a importância de se monitorar as condições meteorológicas em regiões costeiras, a fim de antever eventos de marés meteorológicas extraordinárias, como a ocorrida na região do Complexo Estuarino de Paranaguá nos dias 18 e 19 de agosto de 1993, quando a maré registrada um nível de maré 80 cm acima do previsto (MARONE & CAMARGO, 1995). Por fim, destaca-se que, após este momento de instabilidade meteorológica, os fluxos de corrente retornaram ao seu comportamento padrão, variando em aproximadamente 40 cm/s, conforme GRÁFICO 12.

GRÁFICO 12 – MAGNITUDE DOS FLUXOS DE CORRENTE DURANTE E DEPOIS DO PERÍODO E INSTABILIDADE METEOROLÓGICA.



Ademais, a título de análise complementar, foram analisados transectos específicos, a fim de avaliar o comportamento das magnitudes das velocidades ao longo da coluna d'água, em seus segmentos superficial, intermediário e de leito, a ser apresentada no APÊNDICE 3.

### 5.2.3 Hidrodinâmica interna

Para a análise da hidrodinâmica interna, foram destacados os dados obtidos na desembocadura do Canal DNOS. Neste contexto, apresentam-se os resultados referentes aos fluxos na desembocadura, variação na profundidade no canal e parâmetros físicos de salinidade no interior do canal. Os resultados são expressos na forma de magnitude de velocidade e direções dos fluxos de corrente.

Sobre os fluxos na desembocadura, foram analisados os dados obtidos e processados. Neste contexto, a evolução das direções médias obtidas, aproximadamente a cada hora, e da magnitude das velocidades, é apresentada na TABELA 6.

TABELA 6 - DIREÇÕES E VELOCIDADES MÉDIAS

Horário	Direção Média [°]	Velocidade média [cm/s]
07:00	41,39	63,06
08:00	71,13	17,02
09:00	136,61	8,95
10:00	241,29	21,42
10:45	207,55	12,45
11:45	221,37	22,22
15:45	209,09	15,45
17:15	55,54	36,09

A partir desta tabela, pode-se inferir que os dados obtidos no período de 07:00 e 08:00 representam o comportamento do canal durante o regime de maré de vazante, com o fluxo de correntes saindo do canal, na direção nordeste (entre 0° e 90°), com uma desaceleração às 08:00, compatível com a transição entre regimes de marés, representada no GRÁFICO 9. Os dados obtidos às 09:00 indicam um fluxo médio na direção sudeste (entre 90° e 180°), bem como a velocidade média é a mais baixa



identificada, na ordem de 9 cm/s.

Todos os resultados entre 10:00 e 15:45 correspondem ao comportamento do canal durante o regime de maré de enchente, com o fluxo de correntes entrando no canal, na direção sudoeste (entre  $180^\circ$  e  $270^\circ$ ). Note-se que as magnitudes das velocidades médias correspondem a aproximadamente de 20 cm/s, em comparação aos 63 cm/s medidos para maré de enchente. Por derradeiro, a medição realizada às 17:15 retoma o fluxo de maré de vazante.

As magnitudes de velocidade com maior ocorrência, bem como as direções predominantes, considerando conjuntos iguais de dados medidos para os horários supramencionados, é apresentada no GRÁFICO 13 e na FIGURA 50, respectivamente.

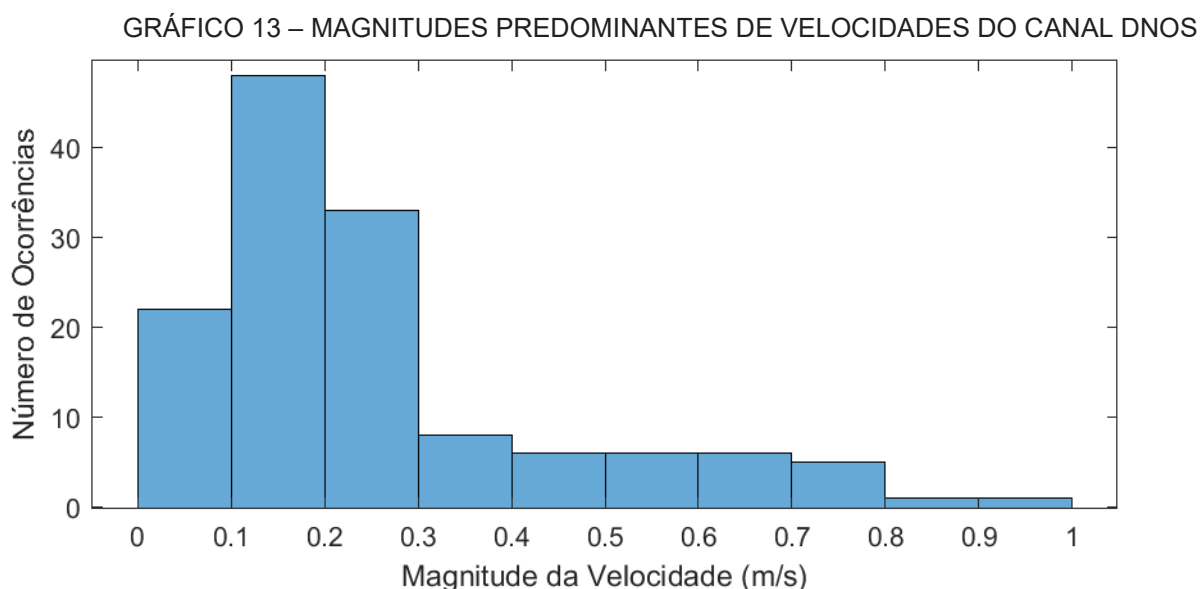
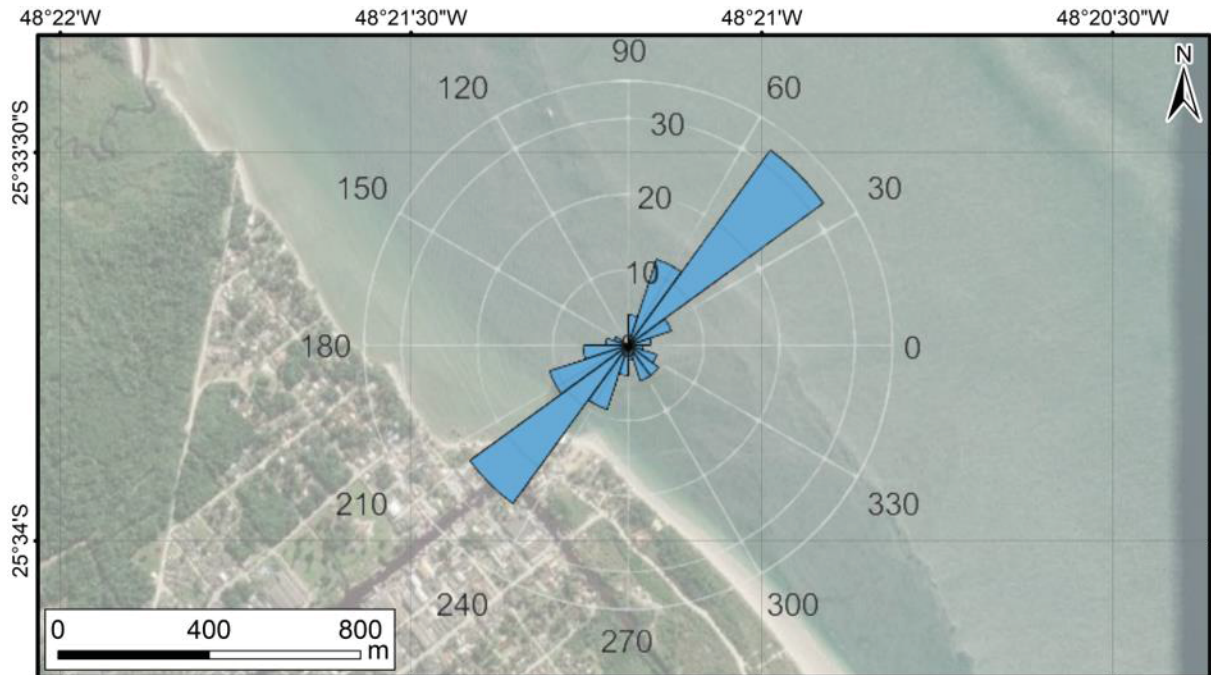


FIGURA 50 – DIREÇÕES PREDOMINANTES NO CANAL DNOS



Complementarmente, avaliou-se a vazão incidente na área da desembocadura, sendo esses dados incorporados com a variação da altura d'água e da direção de fluxo. As profundidades, velocidades e direções médias medidas em cada momento onde a embarcação interceptou a área da desembocadura, bem como suas respectivas vazões, são apresentadas na TABELA 7.

TABELA 7 – DADOS DO FLUXO NA DESEMBOCADURA

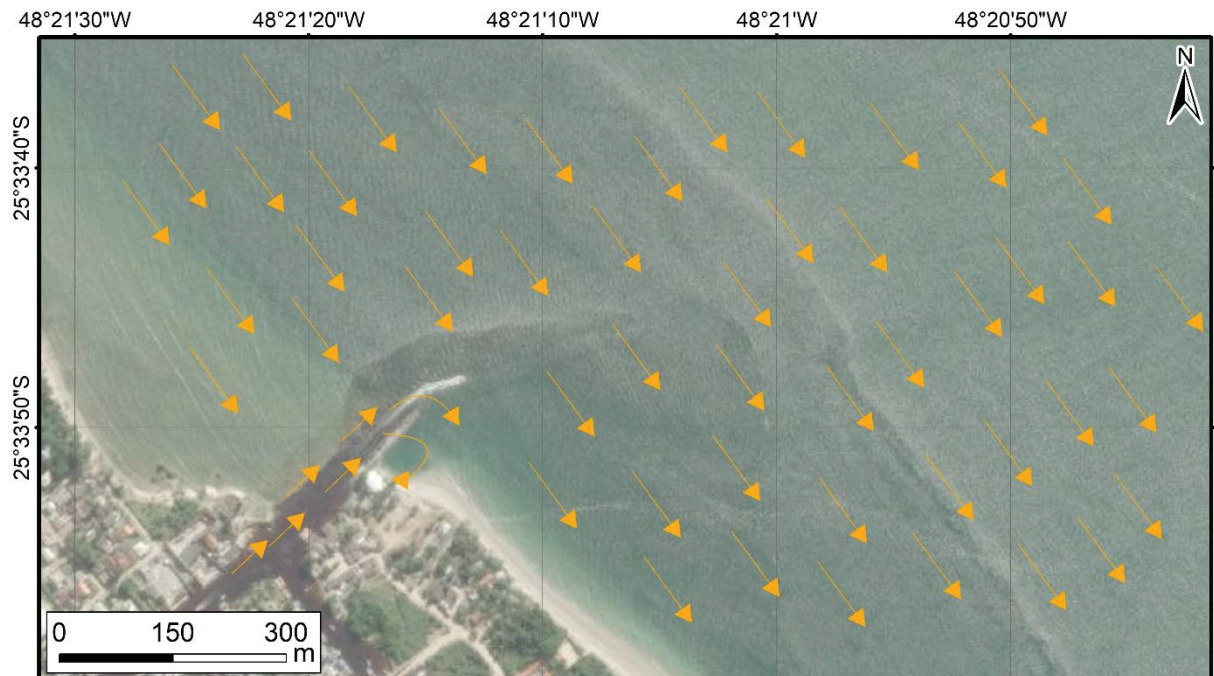
Horário	07:00	08:00	09:00	10:00	10:45	11:45	15:45	17:15
Direção média [graus]	41,39	71,13	136,61	241,29	207,55	221,37	209,09	55,54
Velocidade média [cm/s]	63,06	17,02	8,95	21,42	12,45	22,22	15,45	36,09
Altura da coluna d'água [m]	1,50	1,25	1,30	1,40	1,50	1,50	2,9	2,9
Vazão [m³/s]	29,32	6,21	3,45	9,10	5,79	10,33	15,84	36,99

Conforme depreende-se destes resultados, as vazões na área de desembocadura sofrem uma variação considerável entre os períodos de maré de enchente e de vazante. Para períodos de maré de vazante, as vazões identificadas foram da ordem de 30 m³/s, enquanto que para maré de enchente, as vazões

corresponderam, em geral, a valores inferiores a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , sendo que a maior vazão identificada no período, às 15:45, correspondeu a  $15,84 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Este resultado é um indicativo de que a maior intensidade dos fluxos hidrodinâmicos corresponde as fases de maré de vazante, quando o fluxo de saída do canal DNOS intercepta o fluxo à sudeste no Canal da Galheta, colaborando para a ocorrência de vórtices na região sudestes do molhe localizado no Canal DNOS, (FIGURA 51) podendo representar um elemento deflagrador de processos erosivos.

FIGURA 51 – FLUXOS DE MARÉ DE VAZANTE NA DESEMBOCADURA DO CANAL DNOS E NO CANAL DA GALHETA



Conforme pode ser constatado, as profundidades mais críticas para navegação na desembocadura do Canal DNOS ocorreram entre 08:00 e 10:00, na ordem de 1,2 a 1,4 m, enquanto que a maior profundidade foi identificada aproximadamente às 15:45 e 17:15, na ordem de 2,9 metros de profundidade. Em verdade, a maior profundidade na desembocadura do Canal DNOS ocorreu entre estes horários, haja vista que a máxima maré estava prevista para 16:17.

A variação na profundidade do canal é uma evidência da influência do regime de marés atuante no Complexo Estuarino de Paranaguá. Este comportamento é corroborado através da análise da variação da concentração de salinidade nesta área de estudo.

A localização das medições realizadas através do equipamento CTD foram apresentadas na FIGURA 36 e os horários das medições são apresentadas no QUADRO 5. Os resultados de temperatura e salinidade são apresentados no GRÁFICO 14 e no GRÁFICO 15.

GRÁFICO 14 – MEDIÇÕES DE SALINIDADE UTILIZANDO O CTD

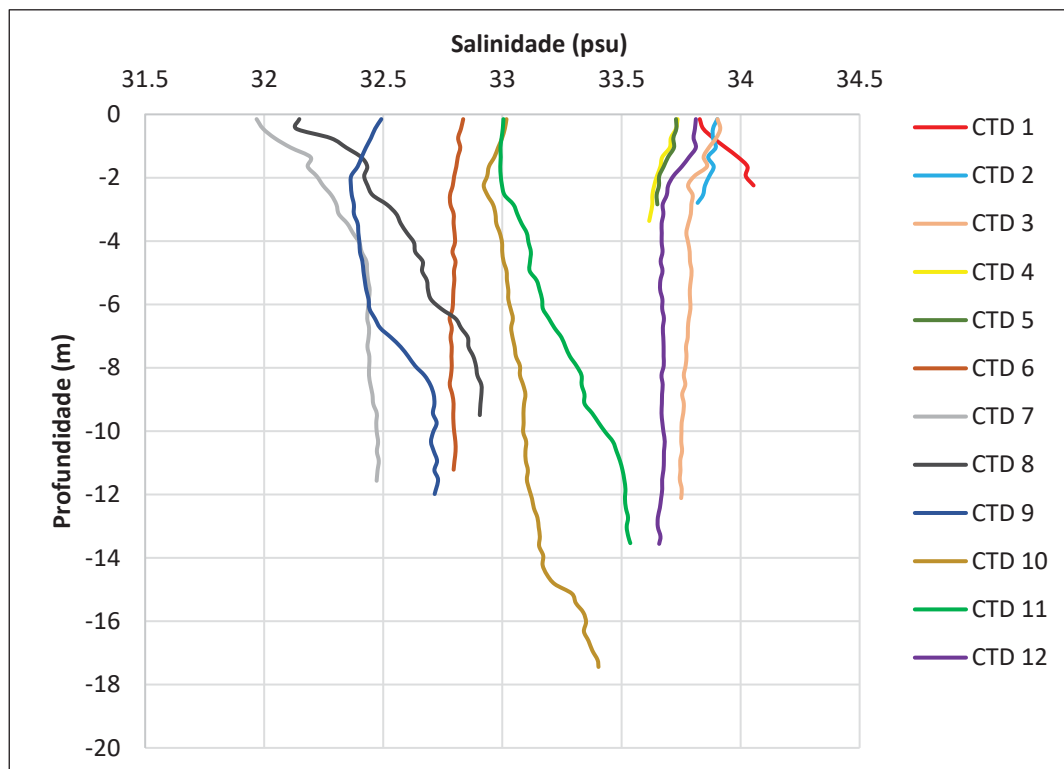
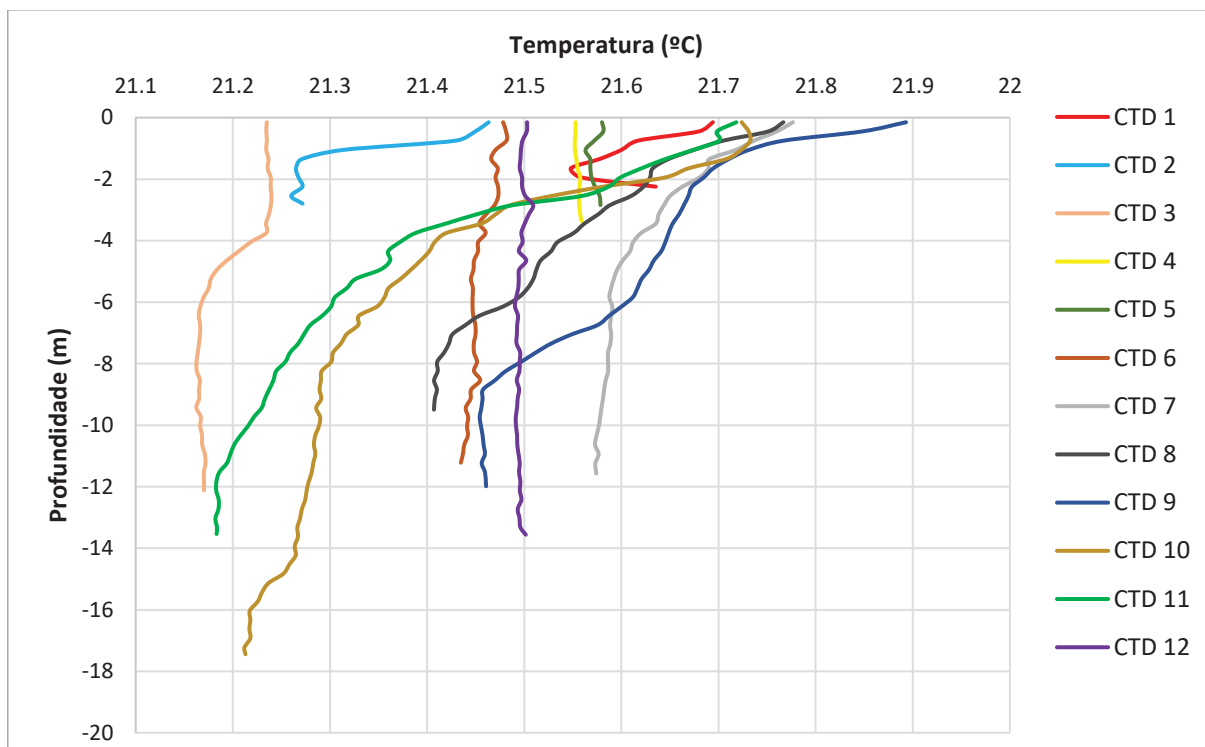


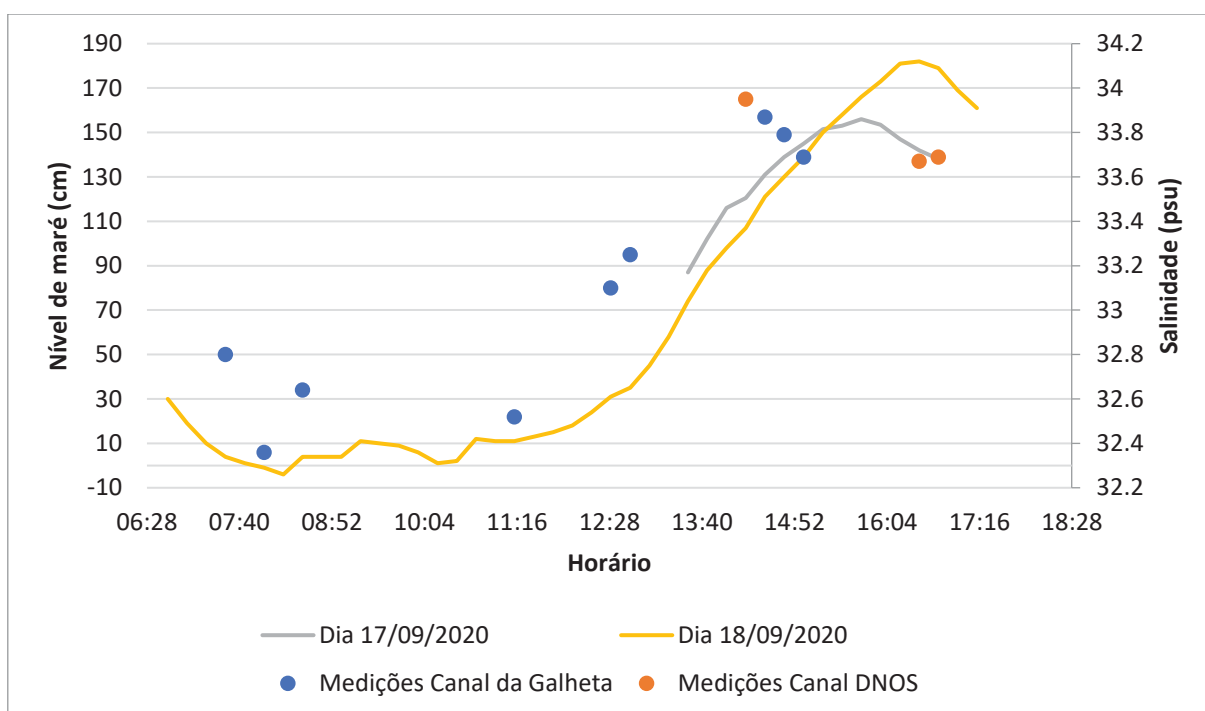
GRÁFICO 15 – MEDIÇÕES DE TEMPERATURA UTILIZANDO O CTD



Ao comparar as datas e horários da execução das medições apresentadas, nota-se que todas as amostras medidas no dia 17/09/2020 (CTD 1 ao CTD 5) foram realizadas no período de maré de enchente, quando a direção dos fluxos de corrente permite a entrada da água do oceano no estuário, implicando em valores de salinidade variando entre 33,5 e 34 psu. Já para os resultados obtidos nas medições CTD 6 a CTD 8, realizadas no período de maré de vazante, nota-se que a salinidade varia entre 32 e 33 psu. Este resultado advém do fato de que, durante o regime de maré de vazante, ocorre o fluxo de correntes direcionado do interior dos estuários para o oceano, justificando os índices de salinidade inferiores, uma vez que os estuários drenam os rios de água doce provenientes do continente. Os índices de salinidade sofrem uma breve redução do CTD 6 para o CTD 7 em decorrência do final do período de maré de vazante, sendo sucedido por um aumento gradativo ao longo do dia 18/09/2020 (CTD 7 ao CTD 12), na medida que o regime de marés passa a ser de enchente, submetendo esta área a influência dos fluxos provenientes do oceano com maior concentração de sal.

O GRÁFICO 16 apresenta um compilado das salinidades obtidas em comparação com a variação do nível de maré monitorado tanto para o dia 17/09/2020 quanto para o dia 18/09/2020.

GRÁFICO 16 – MONITORAMENTO DE MARÉ E MEDIÇÕES DE SALINIDADE



Portanto, a variação dos índices de salinidade atende sobretudo ao regime de marés atuante na região, ou seja, medições executadas em regime de maré de enchente tendem a apresentar valores superiores de salinidade em comparação com medições executadas em fase de maré de vazante. Tal fenômeno foi identificado em toda a área de estudo, não existindo distinção entre o interior do Canal DNOS e a região do Canal da Galheta, o que é um indicativo de que o Canal DNOS, no segmento estudado, está sujeito sobretudo ao regime de marés em comparação com a drenagem continental.

Em síntese, os valores de salinidade variaram entre 32 e 33 psu em fase de maré de vazante e início e maré de enchente, enquanto que em estágios médios e avançados da fase de maré de enchente, a salinidade apresentou valores variando entre 33,5 e 34 psu.

Em relação à temperatura, observa-se uma baixa amplitude térmica, com temperaturas variando entre 21,1 e 21,9 °C. Em relação aos resultados, nota-se que o período de incidência solar na lâmina d'água e o instante temporal em relação ao regime de marés também influenciou nos resultados. As informações atinentes a

localização dos pontos de medições e seu momento horário foram apresentadas no QUADRO 5.

Neste contexto, as primeiras cinco medições executadas com o CTD foram realizadas no dia 17/09/2020, sendo que as três primeiras medições (CTD 1, CTD 2 e CTD 3) foram efetuadas ao final da fase de maré de enchente e início de maré de vazante, haja vista que a maré máxima estava prevista para ocorrer às 15:41. Assim, estas três medições apresentaram comportamento semelhante: as camadas superficiais da coluna d'água registraram temperaturas mais elevadas, sofrendo reduções gradativas com o acréscimo da profundidade. Já para as medições correspondentes ao CTD 4 e CTD 5, realizadas após a máxima maré prevista, verifica-se que a temperatura está aproximadamente constante ao longo da coluna d'água, evidenciando que o momento de transição entre maré de enchente e maré de vazante é acompanhando de um maior revolvimento da coluna d'água, colaborando para a sua mistura e, conseqüentemente, para uma maior uniformidade em termos de temperatura.

Passando para as medições executadas em 18/09/2020, nota-se que a localização das medições também influencia nos resultados de temperatura. Tal fato pode ser observado através dos resultados das medições CTD 6, CTD 7 e CTD 8. Todas estas amostras foram obtidas ainda em fase de maré de vazante, com um intervalo horário de uma hora entre o CTD 6 e o CTD 8. Todavia, o CTD 6, obtido à noroeste da desembocadura do Canal DNOS e numa região interior do Canal da Galheta, apresentou um perfil térmico uniforme ao longo da coluna d'água, enquanto que as medições efetuadas em regiões mais externas do Canal DNOS, notadamente as representadas pelo CTD 7 (região da desembocadura do Canal DNOS), e pelo CTD 8 (saída do Canal da Galheta) apresentaram uma variação negativa de temperatura ao longo da profundidade.

As medições correspondentes ao CTD 9, CTD 10 e CTD 11 foram todas executadas em regime de maré de enchente, e todas na região do canal dragado da Galheta. Todas apresentaram comportamento semelhante, com a temperatura superficial variando de 21,7 a 21,9 °C, sofrendo uma redução gradativa ao longo da coluna d'água, até o patamar de 21,4 a 21,6 °C. Por derradeiro, a medição correspondente ao CTD 12, também coletada em fase de maré de enchente e no centro da área de estudo, apresentou uma temperatura constante de aproximadamente 21,5 °C.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Trata-se da análise do comportamento hidrodinâmico através da compilação e processamento de dados obtidos ao longo de uma campanha de campo executada em Pontal do Paraná/PR, na região próxima à desembocadura do Canal DNOS no balneário Pontal do Sul. O estudo se ateve a análise dos dados obtidos através de uma campanha de campo executada nos dias 17/09/2020 e 18/09/2020.

Os dados de profundidades foram referenciados ao nível de redução atuante na região, e comparados com as marés máximas previstas nas tábuas de marés para as referidas datas, sendo identificada uma defasagem aproximada de 10 minutos entre a maré máxima prevista e a maré máxima medida, bem como uma variação de aproximadamente 22 cm na máxima maré do dia 18/09/2020. Quanto as profundidades obtidas, estas foram interpoladas com a aplicação do método *topo to raster*, cujo resultado demonstrou a existência de uma variação na extensão da área de praias rasas, sendo a região à noroeste da desembocadura do Canal DNOS marcada por uma faixa praial mais extensa do que à sudeste. Ademais, verificou-se a existência de uma declividade média de 6%, com o aprofundamento da área de estudo para um intervalo entre 10 e 12 m até atingir a região do canal de navegação da Galheta, o qual é submetido a intervenções de dragagem que o aprofundam até 16 m.

Em relação à hidrodinâmica externa, as direções dos fluxos de correntes são bem definidas para noroeste para o regime de maré de enchente e sudeste para o regime de maré de vazante. As magnitudes médias de velocidades são mais significativas durante as fases de maré de vazante, com 59 cm/s, sendo aproximadamente duas vezes mais intensa do que as identificadas nas marés de enchente, correspondente a 29 cm/s. Em relação as velocidades máximas, ambas ficaram na ordem de 95 cm/s. O momento de transição do fluxo de maré de vazante para enchente apresentou duração aproximada de 50 minutos, sendo que, durante os primeiros 25 minutos, ocorreu a desaceleração dos fluxos de corrente, sendo sucedida pela alteração no sentido do fluxo no período remanescente. Ademais, foi averiguada a influência das condições meteorológicas nos fluxos de corrente, considerando a maior incidência de ventos identificada entre às 15:45 e 16:30, no qual foi identificado que a média das magnitudes de velocidade aumentaram de 35,7 cm/s para 83,6 cm/s em regime de maré de enchente, um aumento superior a 100%, bem como a



velocidade média aumentou de 123,2 cm/s para 195,7 cm/s. Desta forma, evidencia-se que a alteração das condições meteorológicas implicam em reflexos imediatos e significativos no comportamento hidrodinâmico desta região.

Por derradeiro, a hidrodinâmica interna, foi averiguado que a desembocadura do Canal DNOS sofre influência direta do regime hidrodinâmico atuante no Canal da Galheta, com as direções de fluxo variando para entrada e saída do Canal DNOS conforme ocorre a variação do regime de marés de enchente para vazante, respectivamente. Tal comportamento é referendado pela variação na profundidade na desembocadura do canal, a qual variou de 1,2 até 3,0 metros durante o dia 18/09/2020. Em igual sentido, averiguou-se que a magnitude das correntes de fluxo e da vazão atuante na área da desembocadura do Canal DNOS se apresentou mais significativa nos períodos de maré de vazante em comparação com maré de enchente, com a vazão se apresentando na ordem de 30 m<sup>3</sup>/s durante a fase vazante e de 10 m<sup>3</sup>/s na fase de enchente, com o valor máximo identificado de 15 m<sup>3</sup>/s durante este regime de marés. Ao analisar o comportamento da concentração salina, foi demonstrado que os índices de salinidade no interior do Canal DNOS sofrem acréscimos e decréscimos conforme a fase de maré do momento, sendo que, durante o regime de marés de vazante, as concentrações variam entre 32 e 33 psu, enquanto que em regime de maré de enchente, estas concentrações variam entre 33,5 e 34 psu. Em relação à temperatura, constatou-se uma baixa amplitude térmica ao longo das medições, variando entre 21,1 e 21,9 °C, com uma tendência da camada superficial da coluna d'água apresentar uma temperatura mais elevada em decorrência do período de exposição solar.

Para estudos futuros, sugere-se que sejam empreendidas campanhas em diferentes fases lunares, haja vista a relevância do regime de marés nesta região. Destaca-se, novamente, que a campanha objeto deste estudo ocorreu nos dois primeiros dias da fase de lua nova, portanto, compreendendo o início do período de sizígia. Dados coletados em fase de lua crescente e minguante podem complementar esta análise por compreender a fase de maré de quadratura.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Medição de vazão pelo método acústica doppler (ADCP) – Básico**. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2258/1/apostila.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ALVES, Chaenne Milene Dourado. **Solução de ambiguidades GPS no posicionamento por ponto preciso utilizando uma rede de estações**. Orientadora: Verônica Maria Costa Romão. 2010. 162 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco.

ALVEZ JÚNIOR, Lourival Anastácio. **Caracterização hidrográfica da Baía de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil**. Orientador: Carlos A. F. Schettini. 2011. 68 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ANGELOTTI, Rangel. **Variabilidade da pluma e da estratificação termo-halina na desembocadura do Complexo Estuarino de Paranágua e plataforma continental adjacente**. Orientador: Maurício Almeida Noernberg. 2008. 151 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná.

BARBOSA, Maria José de Oliveira. **Estudos Sedimentológicos do Estuário do Rio Timbó-PE**. Orientador: Valdir do Amaral Vaz Manso. 2006. 93 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco.

BERVEGLIERI, A; MENEGUETTE JUNIOR, M; PITERI, M. A. Aplicação do interpolador krigagem em modelos digitais de terrenos, comparando-se os casos de isotropia e anisotropia. In: **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba/PR, INPE, p. 722, 2011. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.28.17.46/doc/p0693.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

BRASIL. Grupo de Integração de Gerenciamento Costeiro – GI-GERCO/CRIM. **Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira**. 111 p. Brasília/DF, 2018.

BRASIL. Decreto nº 5.377, de 23 de fevereiro de 2005. **Aprova a Política Nacional para os Recursos do Mar – PNRM**. Brasília: Diário Oficial da União, 24 fev. 2005, p. 1.

BRASIL. Decreto nº 74.557, de 12 de setembro de 1974. **Cria a comissão interministerial para os recursos do mar (CIRM) e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da União, 13 set. 1974, p. 10594.

BRASIL. Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. **Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da União, 18 mai. 1988, p. 8633.

- BRICEÑO, José González. **Avaliação do posicionamento estático rápido para distâncias médias**. Orientador: Cláudia Pereira Krueger. 2000. 77 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná.
- CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CAMARA, G. A análise especial de superfícies. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.
- CAMARGO, R; HARARI, J. Resultados de modelagem numérica hidrodinâmica no complexo estuarino de Paranaguá (PR). In: **II Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais**. Santos/SP, 2002. Disponível em: <<http://copec.eu/congresses/cbpa2002/proc/2002/TT14.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2021.
- CARMO, E. J.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, G. R. Avaliação dos interpoladores *krigagem* e *topo to raster* para geração de modelos digitais de elevação a partir de um “as built”. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba/PR, v. 21, nº 24 p. 674-690, 2015. DOI. <<https://doi.org/10.1590/S1982-21702015000400039>>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- CASSIANO, G. F.; SIEGLE, E. Migração lateral da desembocadura do Rio Itapocú, SC, Brasil: evolução morfológica e condicionantes físicas. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo/SP, v. 28, n. 4, p. 537-549, 2010. DOI. <<https://doi.org/10.1590/S0102-261X2010000400001>>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbg/a/5gXbK4MdjRwKSkjJHj9j9RK/?lang=pt>>. Acesso em: 23 out. 2021.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **Tábuas de Marés de 09/2020 – Barra do Porto de Paranaguá Canal da Galheta-PR**. Disponível em: <<http://ondas.cptec.inpe.br/~rondas/mares/index.php?cod=60135&mes=09&ano=20>>. Acesso em: 19 set. 2021.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CCGE). **Mar e Ambientes Costeiros**. Brasília/DF, 2007, 323 p.
- CORDINI, Jucilei. **Estudo dos aspectos geodinâmicos no datum da rede altimétrica do SGB**. Orientador: Silvio Rogério Correia de Freitas. 1998. 182 f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná.
- CORREA, Iran Carlos Stalliviere. **Topografia aplicada à Engenharia Civil**. 157 f. Porto Alegre/RS: 2019. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/203669/001108562.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- DALBOSCO, Anna Luiza Pacheco. **Circulação na Plataforma Continental Interna de Santa Catarina**. Orientador: Davide Franco. 2019. 123 f. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). Cartas náuticas. **Barra de Paranaguá**. 2022. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-cartas-raster-47>>. Acesso em: 28 jun. 2022.

ENGEMIN. Estudo de Impacto Ambiental sobre as Obras de Ampliação e Modernização da Estrutura Portuária da Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina, 2004. Disponível em: <<https://www.sedest.pr.gov.br/Pagina/EIARIMA-Obras-de-Ampliacao-e-Modernizacao-da-Estrutura-Portuaria-2004>>. Acesso em: 14 out. 2021.

FEY, Jéssica Daniela. **Caracterização e modelagem hidrodinâmica da circulação do Sistema Estuarino do Rio Guaratuba (Bertioga – SP)**. Orientador: Roberto Fioravanti Carelli Fontes. 2019. 70 f. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista.

FIGUEIREDO, S. A.; CALLIARI, L. J. Sedimentologia e suas Implicações na Morfodinâmica das Praias Adjacentes às Desembocaduras da Linha de Costa do Rio Grande do Sul. **Gravel**, Porto Alegre/RS, n. 4, p. 73-87, 2016. Disponível em <<http://repositorio.furg.br/handle/1/2342>>. Acesso em: 22 out. 2021.

FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ (FUPEF). **Análise Computacional da Desembocadura do Canal DNOS e Zonas de Praias Próximas – Município Pontal do Paraná-PR**. 127 f. Pontal do Paraná/PR, 2021.

GAGG, Gilberto. **Apostila de levantamentos hidrográficos – noções gerais**. 41 f. Porto Alegre/RS: 2016. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/157210>>. Acesso em: 10 jul. 2021.

GARCIA, C. A. Construção de Gráficos, cálculos matemáticos de mitigação comprobatória, análise discursiva de características específicas das águas naturais, salobras e salgadas da região limítrofe litorânea na cidade de Santos. **UNISANTA BioScience**. Santo/SP, v. 4, n. 5, p. 18-36, 2015. Disponível em: <<https://ojs.unisanta.br/index.php/bio/article/download/380/407>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. A. A.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). **Revista Ambientia**. Guarapuava/PR, v. 8, n. 1, p. 61-71, 2012. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/1401/1736>>. Acesso em: 27 jun. 2022.

GIACOMIN, G; CARVALHO, M. B.; SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. G.; FERRAZ, A. S. Análise comparativa entre métodos interpoladores de modelos de superfície. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, n. 66/6, p. 13151329, 2014. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/download/44716/23730/185148>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

INTERNACIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). Global Navigation Satellite System Overview and Support for PBN Implementation. *In: ICAO Workshop on PBN Airspace Redesign and GNSS Implementation supporting PBN*. 27-30 ago. 2012. Disponível em: <<https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2012/PBNGNSS2012Workshop/PBNGNSS2-1.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2021.

INTERNACIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). **Manual on Hydrography**. 46 f. Principado de Mônaco: 2011. Disponível em: <[https://iho.int/uploads/user/pubs/cb/c-13/english/C-13\\_Chapter\\_1\\_and\\_contents.pdf](https://iho.int/uploads/user/pubs/cb/c-13/english/C-13_Chapter_1_and_contents.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2021.

INTERNACIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). **Standards of Hydrographic Surveys – S44**. 51 f. Principado de Mônaco: 2020. Disponível em: <[https://iho.int/uploads/user/pubs/Drafts/S-44\\_Edition\\_6.0.0-Final.pdf](https://iho.int/uploads/user/pubs/Drafts/S-44_Edition_6.0.0-Final.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2021.

JUNG, Gabriela Bueno. **Avaliação das correntes de maré como recurso energético da costa do Brasil**. Orientador: Segen Farid Estefen. 2015. 94 f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

KRUEGER, Cláudia Pereira. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Orientador: Günter Seeber e Milton de Azevedo Campos, 2006. 288 f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná.

KRUEGER, Cláudia Pereira. Levantamentos Batimétricos. **MundoGEO**, 2005. Disponível em <<https://mundogeo.com/2005/09/27/levantamentos-batimetricos/>>. Acesso em 20 out. 2021.

KRUG, L. A.; NOERNBERG, M. A. O sensoriamento remoto como ferramenta para determinação de batimetria de baixios na Baía das Laranjeiras, Paranaguá-PR. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 101-105, 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/216711576\\_O\\_sensoriamento\\_remoto\\_como\\_ferramenta\\_para\\_determinacao\\_de\\_batimetria\\_de\\_baixios\\_na\\_Baia\\_das\\_Laranjeiras\\_Paranagua\\_-\\_PR](https://www.researchgate.net/publication/216711576_O_sensoriamento_remoto_como_ferramenta_para_determinacao_de_batimetria_de_baixios_na_Baia_das_Laranjeiras_Paranagua_-_PR)>. Acesso em: 16 out. 2021.

LAMOUR, Marcelo Renato. **Dinâmica sedimental do Canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá – PR**. Orientador: Rodolfo José Ângulo. 2000. 114 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná.

LAMOUR, M. R.; NOERNBERG, M. A.; QUADROS, C. J. L.; ODRESKI, L. L. R.; SOARES, C. R. Erosão na desembocadura sul da Baía de Paranaguá e sua relação com o assoreamento do canal da Galheta. *In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*. Recife/PB, 2003. Disponível em: <[https://www.abequa.org.br/trabalhos/gerenciamento\\_206.pdf](https://www.abequa.org.br/trabalhos/gerenciamento_206.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2021.

LIMA, C. O.; OLIVEIRA, R. C. Os processos de erosão e progradação no município de Ilha Comprida-SP. **Revista Geonorte**, Manaus/AM, v. 3, n. 4, p. 902-915, jan/jun.

2012. Disponível em: <<https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1884>>. Acesso em: 23 out. 2021.

LIMA, F. G. F.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T.; SANTOS A. L. S. Avaliação de métodos de interpolação na geração de modelos digitais de elevação de precisão em zonas costeiras de alta dinâmica sedimentar. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro/RJ, nº 68/3, p. 527-539, 2016. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/31025/1/Avalia%C3%A7%C3%A3o\\_M%C3%A9todosInterpola%C3%A7%C3%A3o\\_AMARO\\_2016.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/31025/1/Avalia%C3%A7%C3%A3o_M%C3%A9todosInterpola%C3%A7%C3%A3o_AMARO_2016.pdf)>. Acesso em: 30 jun. 2022.

LINS, Sayonara Raíza Rodrigues de Medeiros. **Propagação das marés salina e dinâmica no Rio Ipojuca-PE, Brasil**. Orientador: Carmen Medeiros Limongi, 2018. 121 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco.

MARINHA DO BRASIL: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). **Normas da autoridade marítima para levantamentos hidrográficos – NORMAN-25/DHN**. 94 f. Brasília/DF: 2017. Disponível em: <[https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMA\\_N-25-REV2-MOD1.pdf](https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMA_N-25-REV2-MOD1.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2021.

MARONE, E. CAMARGO, R. de. Maré meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. **Neritícia**, Curitiba/PR, v. 8, n. 1-2, p. 73-85, 1994. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/271908994\\_Mares\\_meteorologicas\\_no\\_litoral\\_do\\_Estado\\_do\\_Parana\\_O\\_evento\\_de\\_18\\_de\\_agosto\\_de\\_1993](https://www.researchgate.net/publication/271908994_Mares_meteorologicas_no_litoral_do_Estado_do_Parana_O_evento_de_18_de_agosto_de_1993)>. Acesso em: 20 out. 2021.

MARONE, E; NOERNBERG, M; LAUTERT, L. F.; SANTOS, I.; FILL, H. D.; BUBA, H.; MARENDA, A. Medições de Correntes e Curva Vazão-Maré na Baía de Paranaguá, PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba/PR, n. 60-61, p. 55-64, 2007. DOI. <<http://dx.doi.org/10.5380/geo.v60i0.9598>>. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/download/9598/9417>>. Acesso em: 28 nov. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Ed.). PEREIRA, F. C.; OLIVEIRA, M. R. L. de (Orgs.). **Plano nacional de gerenciamento costeiro: 25 anos do gerenciamento costeiro no Brasil**. Brasília: MMA, 2015. 181 p.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípio de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: EDUSP, 2002.

MONICO, J. F. G. Posicionamento por ponto de alta precisão utilizando o GPS: uma solução para a geodinâmica. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n. 1, mar. 2020. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S0102-261X2000000100004>>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbg/a/8tBRnct34xRvHpBCjZSrvR/?lang=pt>>. Acesso em: 14 out. 2021.

MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S.; CAVALCANTE, A. A.; PAULA, D. P.; SILVA, R. L. Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluvias: O Caso de

Pontal de Maceió/CE, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, Lisboa, v. 8, n. 2, p. 61-76, 2008. Disponível em:  
<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340124006>>. Acesso em: 23 out. 2021.

NAKAO, Laís Thie Hasude. **Viabilidade de um perfilador acústico de efeito doppler para levantamentos batimétricos: sistematização de um método de análise, filtragem e processamento**. Orientadora: Cláudia Pereira Krueger. 2020. 150 f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná.

NOERNBERG, Maurício Almeida. **Processos morfodinâmicos no complexo estuarino de Paranaguá – Paraná – Brasil: um estudo a partir de dados *in situ* e Landsat-TM**. Orientador: Rodolfo José Ângulo e Evelyn M. L. M. Novo. 2001, 195 f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná.

NOGUEIRA, J. D. L.; AMARAL, R. F. Comparação entre os métodos de interpolação (*Krigagem* e *Topo to Raster*) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal/RN, INPE, p. 4117-4123, 2009. Disponível em:  
<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.22/doc/4117-4123.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2022.

OLIVEIRA, Marília Mitidieri Fernandes de. **Redes neurais artificiais na predição da maré meteorológica em Paranaguá – PR**. Orientador: Nelson Francisco Favilla Ebecken. 2004. 149 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PORTOS DO PARANÁ. **Ministro assina ordem de serviço da dragagem de aprofundamento em Paranaguá**. Disponível em:  
<<https://www.portosdoparana.pr.gov.br/Noticia/Ministro-assina-ordem-de-servico-para-inicio-da-dragagem-de-aprofundamento-em-Paranagua>>. Acesso em: 17 mai. 2022.

PRADO, A.; KRUEGER, C. P. Análise da acurácia nos posicionamentos diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 55, n. 1, 2006. Disponível em:  
<<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43485>>. Acesso em: 10 out. 2021.

QUADROS, Clécio José Lopes de. **Variações morfológicas e volumétricas associadas à incidência de sistemas frontais em duas praias arenosas do litoral paranaense**. Orientador: Eduardo Marone. 2002. 68 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná.

RATTON, Philipe. **Mapeamento e modelagem 3D do transporte de sedimentos do leito em rios com dunas**. Orientador: Tobias Bernward Bleninger. 2020. 189 f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná.

REZENDE, Thaís Nogueira. **Interferência de dragagens na hidrodinâmica e salinidade do estuário de Paranaguá**. Orientador: Tobias Bernward Bleninger. 2019, 108 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná.

RIBEIRO, Cristina Ramalho. **Processos de alterações da maré astronômica na desembocadura da Lagoa dos Patos**. Orientador: Osmar Pinto Möller Jr. 2008, 99 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande.

RIBEIRO, S. R. A.; TEDESCO, A; KRUEGER, C. P.; CENTENO, J. A. S. Extração de profundidades mediante redes neurais artificiais e modelo de regressão usando dados de levantamento GPS e de imagens |KONOSI| - Estudo comparativo. **ENGEVISTA**, v. 7, n. 1, 2005. Disponível em: <<https://periodicos.uff.br/engevista/article/download/8783/6251>>. Acesso em: 10 set. 2021.

ROSÁRIO, Renan Peixoto. **Análise de Processo Oceanográficos no Estuário do Rio Pará**. Orientador: Marcelo Rollnic. 2016. 139 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Pará.

SEJAS, Maurício Ihlenfeldt. **Suavização da pseudodistância pela fase da onda portadora: análise da técnica**. Orientadora: Cláudia Pereira Krueger. 2005. 105 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná.

SONTEK. **CastAway-CTD**. Disponível em: <<https://www.yssi.com/castaway-ctd>>. Acesso em: 17 out. 2021b.

SONTEK. **RiverSurveyor S5/M9 System Manual Firmware Version 4.02**. 244 f. San Diego/CA, 2017.

SONTEK. **HydroSurveyor**. Disponível em: <<https://www.yssi.com/hydrosurveyor>>. Acesso em: 17 out. 2021a.

SONTEK. **HydroSurveyor User's Manual (software – version 1.5; firmware – version 3.80)**. 149 f. San Diego/CA, 2014.

SOTO, Yatsen Jepthe Maldona do. **A modelagem hidrodinâmica como apoio a tomada de decisão em caso de derrame de óleo na parte interna do Complexo Estuarino Antonina-Paranaguá-PR**. Orientador: Eduardo Felga Gobbi. 2004. 186 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

SCHITETTINI, C. A. F. Caracterização Física do Estuário do Rio Itajaí-açu, SC. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n.1, p. 123-142, jan/mar, 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/216028158\\_Caracterizacao\\_fisica\\_do\\_estuario\\_do\\_rio\\_Itajai-Acu](https://www.researchgate.net/publication/216028158_Caracterizacao_fisica_do_estuario_do_rio_Itajai-Acu)>. Acesso em: 17 jun. 2022.

SOUZA, C. R. de G. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, São Paulo/SP, v. 9, n. 1, p. 17-37, mai. 2009. DOI. <<https://www.aprh.pt/rgci/rgci147.html>>. Disponível em: <[https://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-147\\_Souza.pdf](https://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-147_Souza.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2021.

TELEDYNE RD INSTRUMENTOS (RDI). **Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operacion A practical Primer**. 62 f. Poway: 2011. Disponível em:



<<https://www.comm-tec.com/Docs/Manuali/RDI/BBPRIME.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

TIAGO FILHO, G. L.; VIANNA, A. N. C.; CAETANO, G. T.; SANTOS, R. M. R. M. O uso do ADCP em pequenos e médios cursos d'água. *In: Grupo de Trabalho sobre Hidromecânica – 5ª Reunião*. Montevideu: 1999. Disponível em: <<https://livrozilla.com/doc/1713007/o-uso-do-adcp-em-pequenos-e-m%C3%A9dios-cursos-d%C2%B4%C3%A1gua>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

TOMAS, G; BLENINGER, T; RENNIE, C. D.; GUARNERI, H. Advanced 3D Mapping of Hydrodynamic Parameters for the Analysis of Complex Flow Motions in a Submerged Bedrock Canyon of the Tocantins River, Brazil. **Water**, v. 10, n. 4, p. 367-386, fev./mar. 2018. DOI. <<https://doi.org/10.3390/w10040367>>. Disponível em <<https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/367>>. Acesso em: 13 set. 2021.

TULIO, S.; GAMARO, P. E. M.; MALDONADO, L. H. Avaliação do uso do medidor de vazão doppler com feixe vertical em levantamentos batimétricos. *In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Maceió/AL, ABRH: 2011. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/ae0f450978d29e4b809033a129d9e0a\\_173a40eb3bbab0d1bb6e6bf347bba762.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/ae0f450978d29e4b809033a129d9e0a_173a40eb3bbab0d1bb6e6bf347bba762.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2021.

VEIGA, F. A.; ANGULO, R. J.; MARONE, E.; BRANDINI, F. P.; CARRILHO, J. C. Medidas de velocidade de corrente e vazão na plataforma continental interna paranaense utilizado perfilador de corrente acústico doppler – ADPC. *In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos Quaternários, II Congresso do Quaternário de Países de Língua Ibérica e II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa*. Recife: ABEQUA, 2003. Disponível em: <[https://www.abequa.org.br/trabalhos/quatmar\\_124.pdf](https://www.abequa.org.br/trabalhos/quatmar_124.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2021.

## APÊNDICE 1 – DIÁRIO DE MEDIÇÕES

As medições se iniciaram exatamente as 7:00 da manhã do dia 18 de setembro de 2020, para o qual foi elaborado um diário de bordo, a seguir apresentado:

- 7:00: Início das medições;
- 7:31: Primeira medição com CTD;
- 7:50: Sinal do DGPS cai de 2 para 1, exigindo retorno para a base do RTK;
- 8:00: Segunda medição com CTD;
- 8:28: Finalização da primeira seção de medição e início da segunda seção, com sinal DGPS restaurado;
- 8:40: Terceira medição com CTD;
- 8:52: Sinal do DGPS cai de 2 para 1, exigindo retorno para a base do RTK;
- 9:05: Finalização da segunda seção de medição e início da terceira seção, com sinal DGPS restaurado;
- 9:45: Travamento do software *hydrosurveyor*, demandando finalização da terceira seção de medição;
- 9:53: Reinício do software e início da quarta seção de medição;
- 10:50: Finalização das medições de alta precisão nas proximidades da zona costeira e desembocadura do Canal DNOS, finalizada na quarta seção de medição, início das medições de baixa precisão mais distantes da linha de costa, iniciando na quinta seção de medição;
- 11:30: Quarta medição com CTD;
- 11:35: Sinal do DGPS cai de 2 para 1, exigindo retorno para a base do RTK;
- 11:50: Finalização da quinta seção de medição e início da sexta seção, com sinal DGPS restaurado;
- 12:37: Sinal do DGPS cai de 2 para 1, exigindo retorno para a base do RTK;
- 12:37: Quinta medição com CTD;
- 12:44: Sexta medição com CTD;
- 13:00: Finalização da sexta seção de medição e início da sétima seção, com sinal DGPS restaurado;
- 13:48: Sinal do DGPS cai de 2 para 1, exigindo retorno para a base do RTK;

- 14:10: Finalização da sétima seção de medição e início da oitava seção, com sinal DGPS restaurado (**medição não salva no *hydrosurveyor***);
- 14:52: Sinal do DGPS cai de 2 para 1, exigindo retorno para a base do RTK;
- 15:10: Finalização da oitava seção de medição (**medição não salva no *hydrosurveyor***);
- 15:36: Início de novo arquivo de projeto e da nona seção de medição;
- 16:30: Sinal do DGPS cai de 2 para 1, exigindo retorno para a base do RTK;
- 16:36: Finalização da nona seção de medição e início da décima seção, com sinal DGPS restaurado;
- 17:51: Finalização das medições.

## APÊNDICE 2 – PARÂMETROS DE MEDIÇÕES HIDROGRÁFICAS, SEGUNDO A S-44

### Parâmetros Mínimos para Levantamentos Hidrográficos.

Referência (IHO S-44)	Ordem	Exclusiva	Especial	1a	1b	2
Capítulo 1	Descrição das áreas	Áreas especialmente críticas para a navegação.	Áreas onde o pé-de-piloto é crítico	Áreas com profundidade inferior a 100 metros onde o pé-de-piloto é considerado menos crítico, mas que possam existir obstáculos a atividade de navegação realizada.	Áreas com profundidade inferior a 100 metros onde o pé-de-piloto não é considerado um problema considerando o tipo de atividade de navegação desenvolvida nesta área.	Áreas com profundidades superiores a 100 metros onde uma descrição genérica do leito marítimo é considerada adequada
Seção 2.6	Grau Máximo de Incerteza Horizontal (THU) <sup>8</sup> permitindo 95% de nível de confiança	1 m	2 m	5 m + 5% da profundidade	5 m + 5% da profundidade	20 m + 10% da profundidade
Seção 2.6, Seção 3.2 e Seção 3.2.3	Grau Máximo de Incerteza Vertical (TVU) <sup>9</sup> , permitindo 95% de nível de confiança	A=0,15 m B=0,0075	a=0,25 m b=0,0075	a=0,5 m b=0,013	a=0,5 m b=0,013	a=1,0 m b=0,023
Seção 3.3	Deteção de feições	Detectar feições iguais ou maiores que 0,5 m <sup>3</sup>	Detectar feições iguais ou maiores que 1 m <sup>3</sup>	Detectar feições iguais ou maiores que 2 m <sup>3</sup> em profundidades superiores a 40 metros, e 10% da profundidade superior a 40 metros.	Não aplicável	Não aplicável
Seção 3.4	Percentual de levantamento de feições	200%	100%	100%	Não especificado	Não especificado

<sup>8</sup> O Grau Máximo de Incerteza Horizontal (THU), segundo a Publicação S-44 da IHO, corresponde a máxima tolerância quanto a incertezas relacionadas ao posicionamento planimétrico do ponto de medição.

<sup>9</sup> O Grau Máximo de Incerteza Vertical (TVU), segundo a Publicação S-44 da IHO, corresponde a máxima tolerância quanto a incertezas relacionadas ao posicionamento altimétrico do ponto de medição.

Referência (IHO S-44)	Ordem	Exclusiva	Especial	1a	1b	2
Seção 3.5	Percentual de levantamento batimétrico da área de estudo	200%	100%	≤100%	5%	5%

Fonte: Adaptado de IHO (2020)

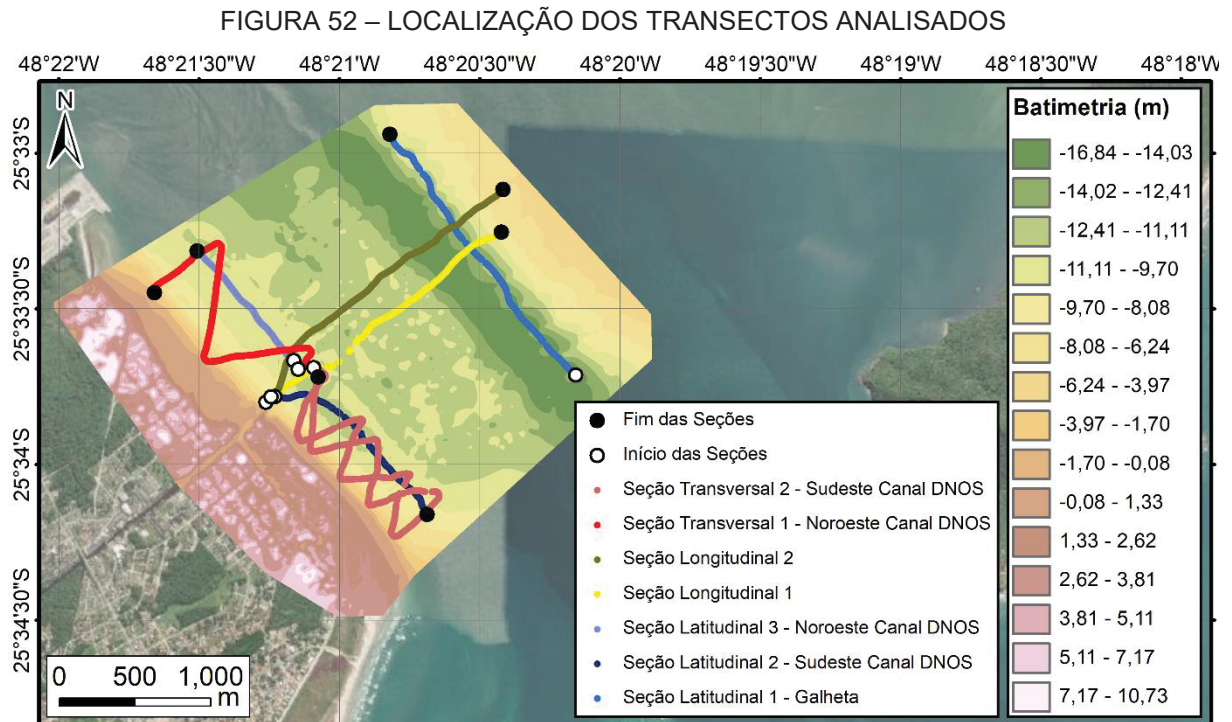
Outros Parâmetros Mínimos para Levantamentos Hidrográficos, relativos a incertezas (todos os parâmetros devem ser adotados com 95% de nível de confiança).

Referência (IHO S-44)	Ordem	Tipo de Incerteza	Exclusiva	Especial	1a	1b	2
Seção 5.2	Objetos fixos, ajudas e elementos localizados acima da referência vertical e significantes para a navegação.	THU	1 m	2 m	2 m	2 m	5 m
Seção 5.3	Objetos flutuantes e auxílios à navegação.	TVU	0,25 m	0,5 m	1 m	2 m	2 m
Seção 5.4	Linhas de Costa	THU	5 m	10 m	10 m	10 m	20 m
Seção 5.5	Elementos acima da referência vertical menos significantes para a navegação	THU	5 m	10 m	10 m	10 m	10 m
Seção 5.6	Obstáculos aéreos, linhas de transmissão e faróis	TVU	0,3 m	0,5 m	1 m	2 m	3 m
Seção 5.7	Medidas angulares	THU	1 m	2 m	5 m	10 m	10 m
Seção 4.4	Direção das linhas de fluxo	TVU	0,3 m	0,5 m	1 m	2 m	3 m
Seção 4.4	Vetores de Velocidade		10°	10°	10°	10°	10°
			0,05 m/s	0,05 m/s	0,05 m/s	0,05 m/s	0,05 m/s

Fonte: Adaptado de IHO (2020)

### APÊNDICE 3 – ANÁLISE DE TRANSECTOS

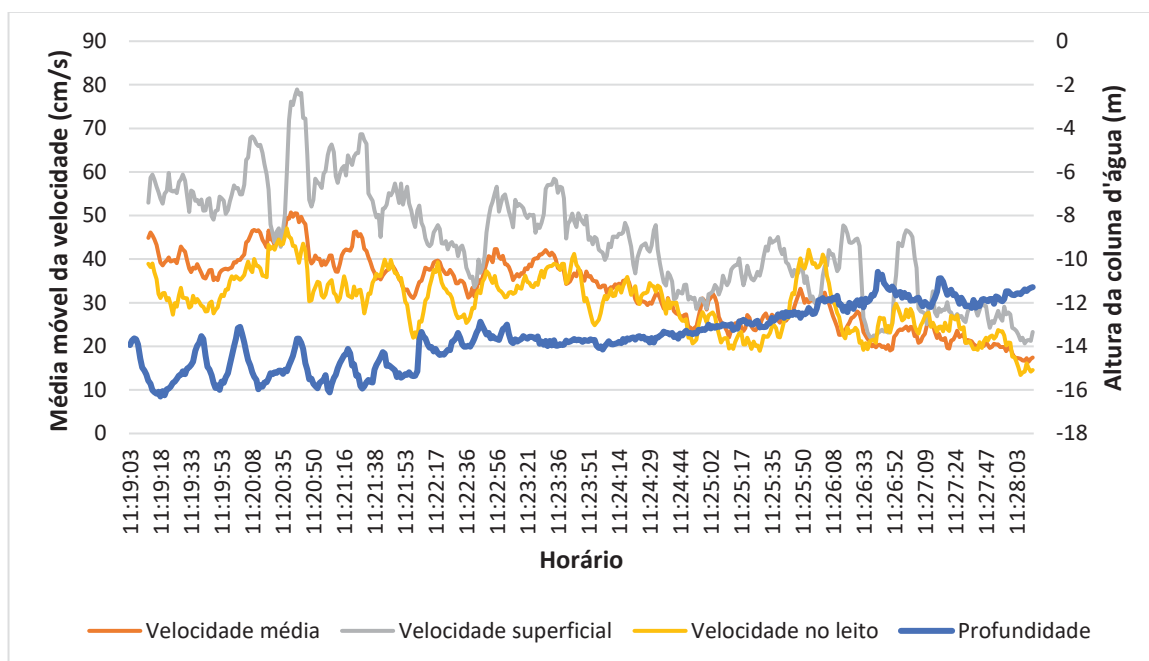
Ao todo, serão analisados sete transectos, sendo três latitudinais, dois longitudinais e dois transversais, cuja localização é apresentada na FIGURA 52.



A apresentação dos resultados contemplará a análise de médias móveis das magnitudes das velocidades considerando conjuntos de 10 dados, que correspondem a 10 segundos de medição. Por este motivo, valores máximos e mínimos absolutos apresentarão uma variação se comparados com os máximos e mínimos apresentados nas figuras subsequentes. Entretanto, a adoção de médias móveis constitui de uma ferramenta estatística que auxilia na análise de tendências de comportamento, o qual constitui do principal objetivo desta seção.

O transecto nominado “Seção Latitudinal 1 – Galheta” corresponde a uma seção que transpassa, em parte, o canal navegável da Galheta, coletados entre 11:19 e 11:28, cujos resultados são apresentados no GRÁFICO 17.

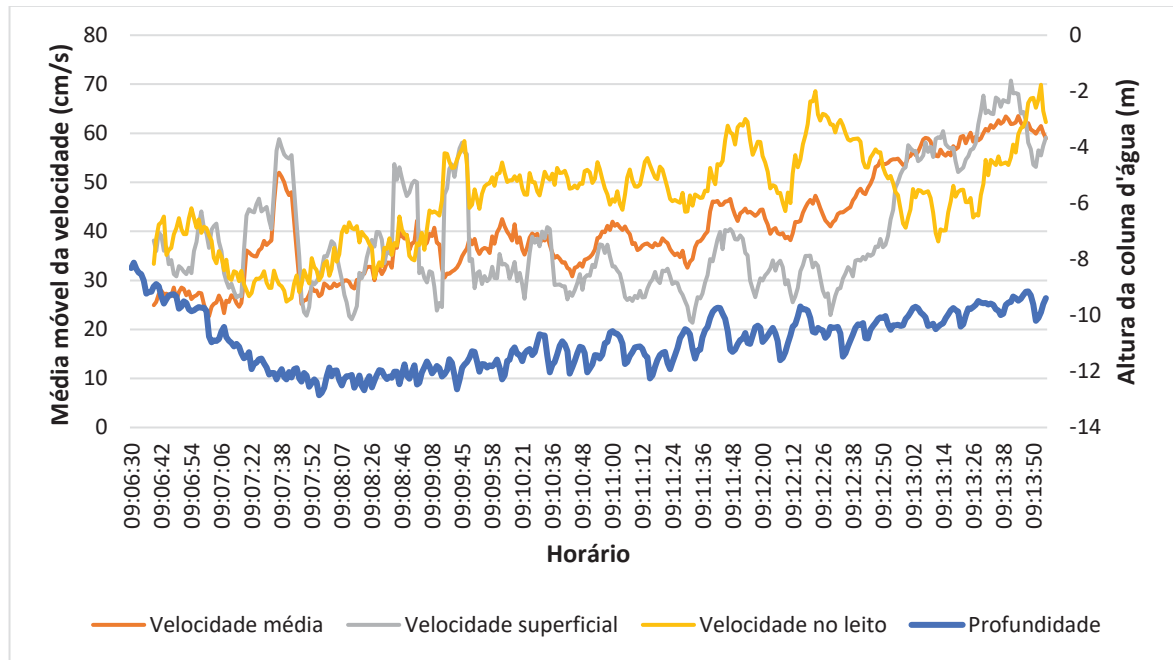
GRÁFICO 17 – SEÇÃO LATITUDINAL 1 – GALHETA



O horário da coleta destes dados corresponde ao período de maré de enchente, com velocidades médias móveis variando de 20 a 50 cm/s. Nota-se que, para magnitudes médias móveis mais significativas, entre 40 e 50 cm/s, ocorreu uma segmentação bem definida entre as médias móveis das velocidades nos segmentos superficial e no leito da coluna d'água, com o segmento superficial variando entre 50 e 80 cm/s, enquanto que o segmento do leito variou entre 20 e 30 cm/s. A diminuição da velocidade média ao longo do transecto decorreu sobretudo da diminuição da velocidade superficial, haja vista que a velocidade no leito se manteve consideravelmente estável em todo o segmento. A diminuição da velocidade superficial também acompanhou a diminuição da altura da coluna d'água, ou seja, quando este trajeto se afastava do canal dragado da Galheta, o que é um indicativo de que este canal apresenta uma susceptibilidade maior ao regime de ventos.

O transecto nominado “Seção Latitudinal 2 – Sudeste do Canal DNOS” corresponde a uma seção que intercepta a região sudeste da desembocadura do Canal DNOS, cujos dados compreendem o interstício entre 09:06 e 09:13, e os resultados são apresentados no GRÁFICO 18.

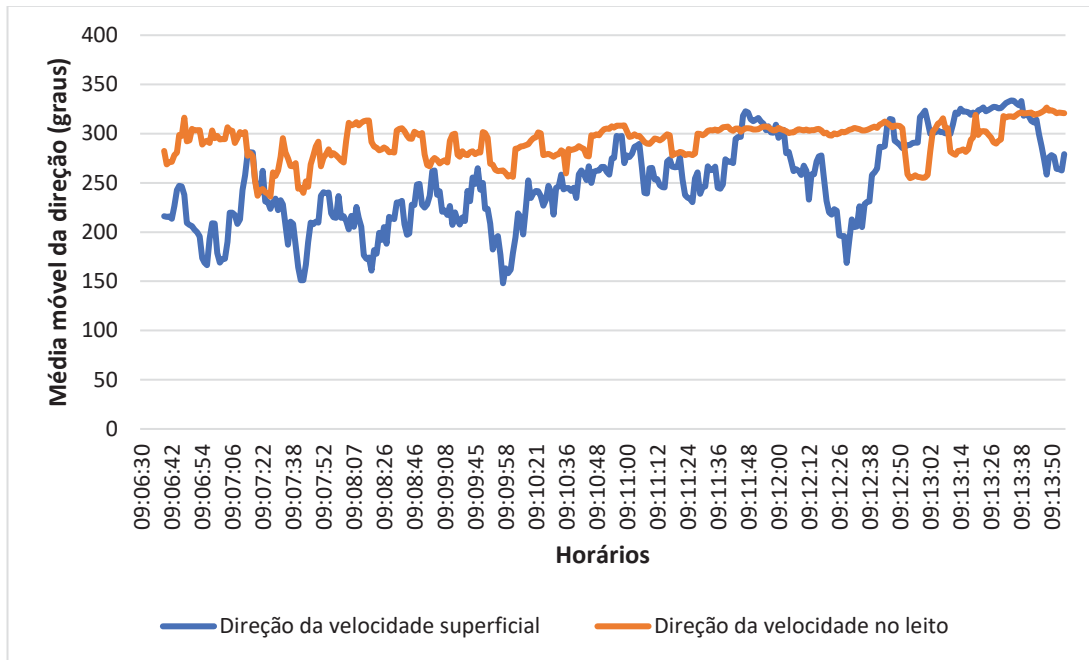
GRÁFICO 18 – SEÇÃO LATITUDINAL 2 – SUDESTE DO CANAL DNOS



O horário da coleta destes dados corresponde ao período imediatamente posterior ao fim do estágio de variação do regime de maré de enchente para maré de vazante, avaliado entre 08:00 e 08:50, com magnitudes médias móveis variando entre 30 e 60 cm/s, acompanhando sobretudo a variação da magnitude da velocidade superficial. Relevante observar que, neste instante imediato, a magnitude dos fluxos no leito se apresentou superior à magnitude da velocidade superficial. Em princípio, a expectativa é que a velocidade superficial seja sempre superior a velocidade no leito, uma vez que o segmento do leito apresenta uma maior concentração de sedimentos, implicando numa maior resistência à movimentação. Todavia, neste segmento em específico, verificou-se, ainda que momentaneamente, uma velocidade no leito superior à velocidade superficial. Para compreender adequadamente os motivos deste fenômeno, analisa-se as direções dos fluxos superficial e do leito, apresentadas no GRÁFICO 19.



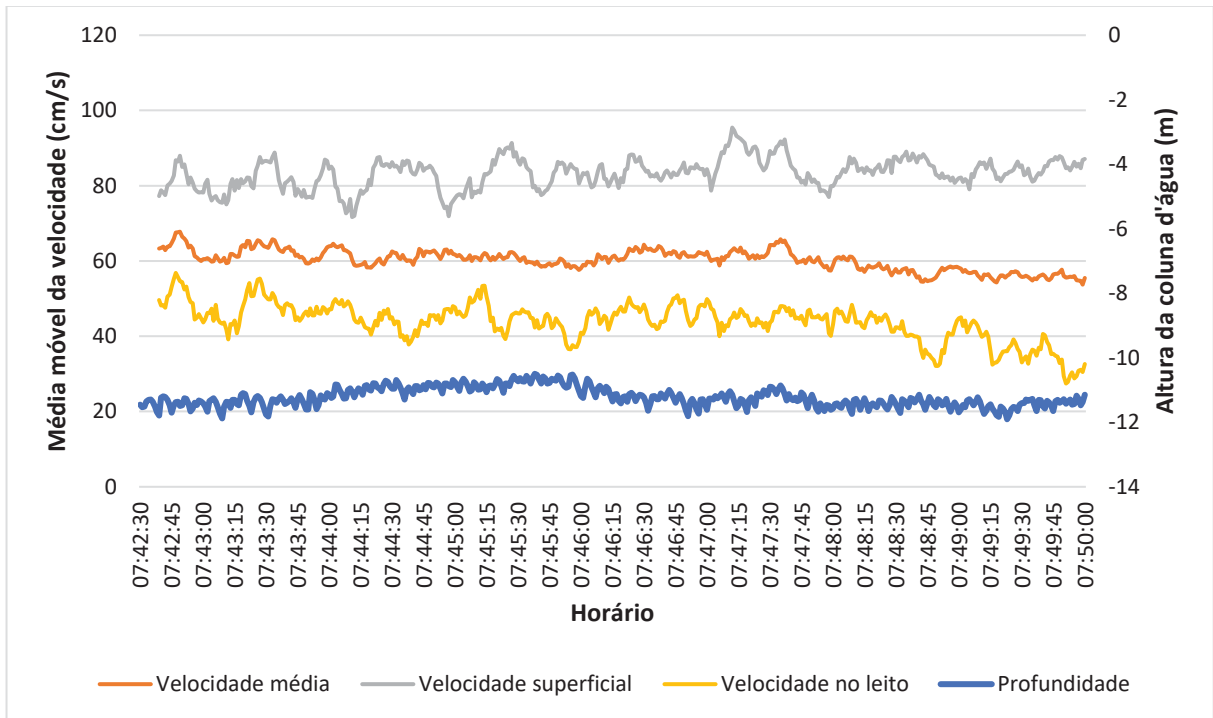
GRÁFICO 19 – DIREÇÕES DA VELOCIDADE SUPERFICIAL E NO LEITO



Nota-se que a direção do fluxo do leito já se encontra majoritariamente compreendida na direção noroeste, em aproximadamente  $300^\circ$  em relação à direção norte, enquanto que a direção da velocidade superficial se encontra direcionada sobretudo para a direção sudoeste (entre  $180$  e  $270^\circ$ ), indicando que o segmento superficial se encontrava sujeito a outros fatores físicos, como regime de ventos, que implicaram numa variação na magnitude da velocidade no leito superasse a velocidade superficial.

O transecto nominado “Seção Latitudinal 3 – Noroeste do Canal DNOS” corresponde a uma seção que intercepta a região noroeste da desembocadura do Canal DNOS, cujos dados coletados compreendem o interstício entre 07:42 e 07:20, e os resultados são apresentados no GRÁFICO 20.

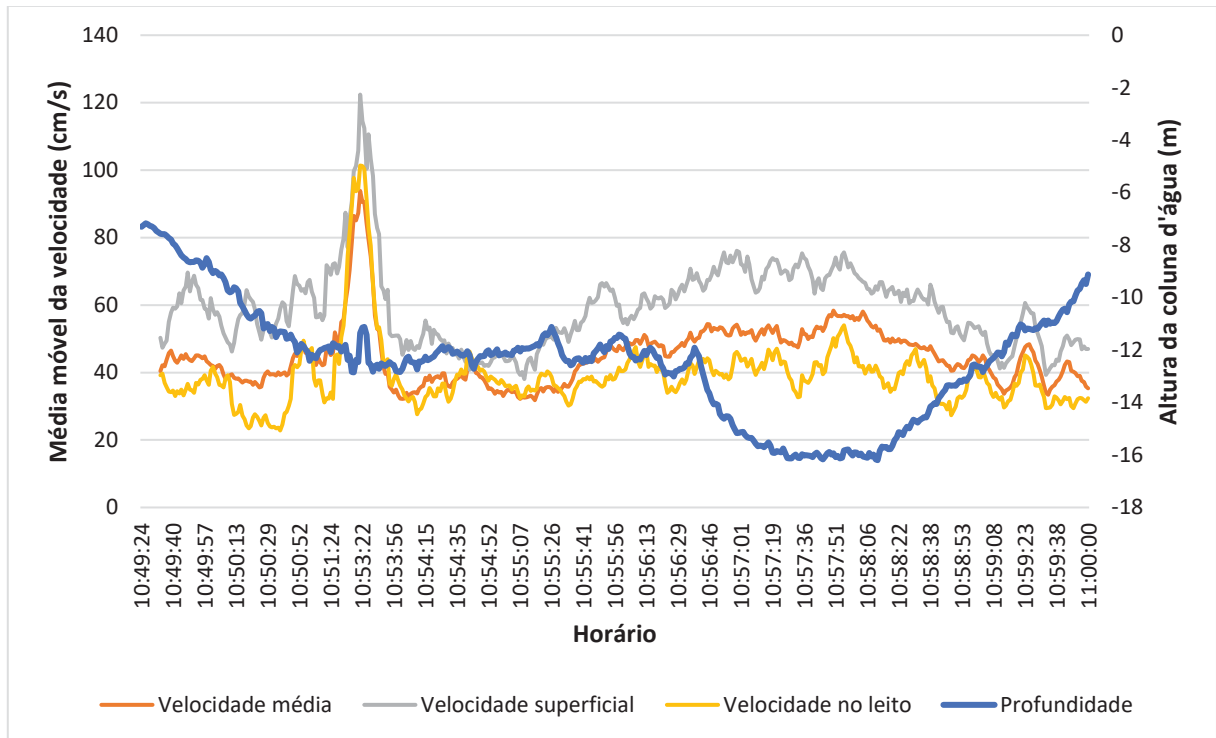
GRÁFICO 20 – SEÇÃO LATITUDINAL 3 – NOROESTE DO CANAL DNOS



O horário da coleta destes dados corresponde ao período de maré de vazante, com velocidades médias variando móveis em 60 cm/s. Nota-se um comportamento uniforme neste segmento, com baixa variabilidade tanto na magnitude da média móvel da velocidade superficial quanto da velocidade no leito, variando em cerca de 80 cm/s e 40 cm/s, respectivamente, refletindo um período de influência praticamente nula de quaisquer outros fatores físicos, como incidência de ventos.

O transecto nominado “Seção Longitudinal 1” corresponde a uma seção que atravessa, longitudinalmente, a área de estudo desde a desembocadura do Canal DNOS até o canal dragado na galheta, cujos coletados compreendem o interstício entre 10:49 e 11:00, cujos resultados são apresentados no GRÁFICO 21.

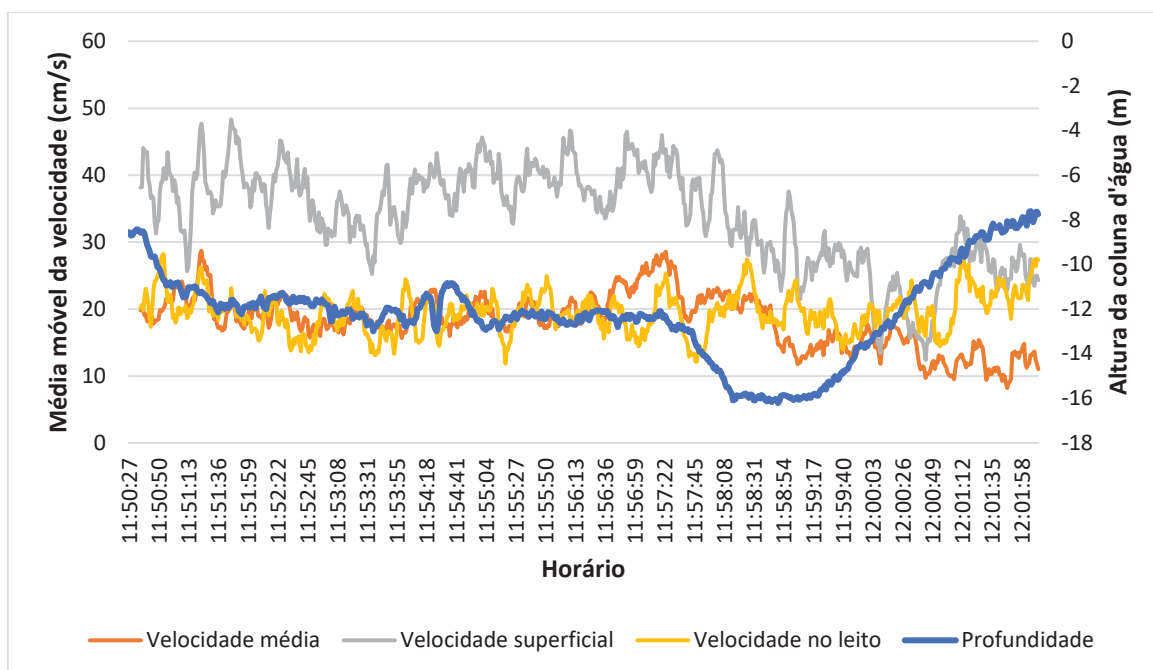
GRÁFICO 21 – SEÇÃO LONGITUDINAL 1



O horário da coleta destes dados corresponde ao período de maré de enchente, com velocidades médias móveis variando de 20 a 50 cm/s. Nota-se um acréscimo considerável na magnitude das velocidades, que chegaram a superar 100 cm/s. Outro acréscimo das magnitudes ocorreu no canal dragado da galheta, em especial na velocidade superficial, repetindo o resultado apresentado na “Seção Latitudinal 1 – Galheta”.

O transecto nominado “Seção Longitudinal 2” corresponde a uma seção que atravessa, longitudinalmente, a área de estudo desde a desembocadura do Canal DNOS até o canal dragado na galheta, em trajeto semelhante à “Seção Longitudinal 1”, cujos coletados compreendem o interstício entre 11:50 e 12:02, cujos resultados são apresentados no GRÁFICO 22.

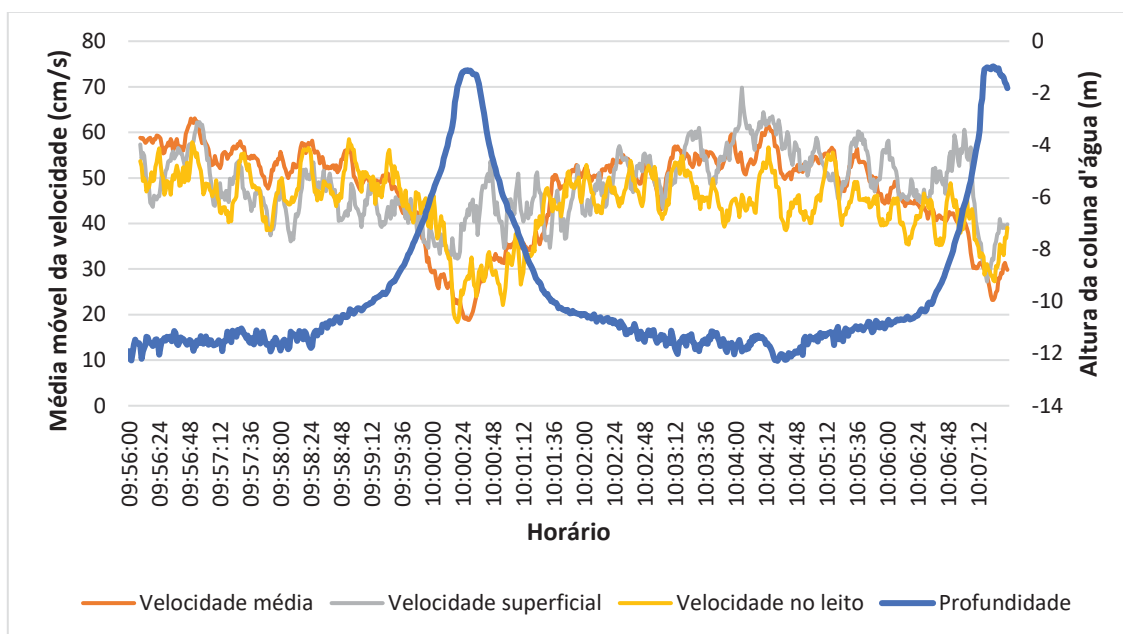
GRÁFICO 22 – SEÇÃO LONGITUDINAL 2



O horário da coleta destes dados corresponde ao período de maré de enchente, com velocidades médias móveis variando de 20 a 30 cm/s. Relevante observar que, neste segmento, os valores de velocidade média e velocidade no leito são praticamente coincidentes, enquanto que a média móvel da velocidade superficial se apresenta mais elevada, variando entre 40 e 50 cm/s. Em verdade, os valores de velocidade superficial estão compatíveis com os resultados obtidos em momentos semelhantes, como os apresentados na “Seção Latitudinal 1 – Galheta”. O comportamento mais notável corresponde justamente a magnitude média, que indica que os fluxos de correntes estão, neste instante, uniformes ao longo da coluna d’água, apresentando uma variação proeminente somente em sua camada superficial.

O transecto nominado “Seção Transversal 1 – Noroeste do Canal DNOS” corresponde a uma seção de coleta de dados transversais obtidos na região noroeste da desembocadura do canal DNOS, cujos coletados compreendem o interstício entre 09:56 e 10:07, cujos resultados são apresentados no GRÁFICO 23.

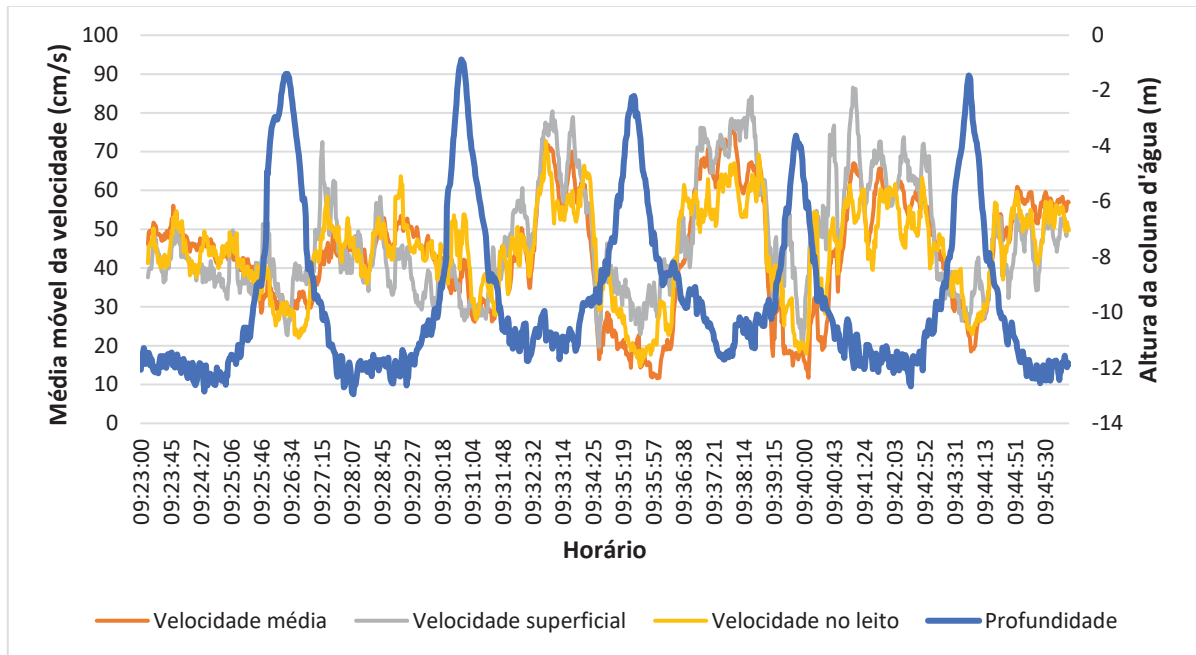
GRÁFICO 23 – SEÇÃO TRANSVERSAL 1 – NOROESTE DO CANAL DNOS



O horário da coleta destes dados corresponde ao período de maré de enchente, com velocidades médias móveis variando de 40 a 60 cm/s sendo que, neste transecto, verifica-se uma uniformidade considerável ao longo da coluna d'água, com os valores de velocidade superficial, média e no leito com tendências semelhantes. Interessante observar, em comparação com outros transectos coletados em áreas mais profundas também em regime de maré de enchente, que as magnitudes médias móveis de velocidades se apresentaram consideravelmente menores, variando de 30 a 40 cm/s na “Seção Latitudinal 1 – Galheta” e entre 20 e 30 cm/s na “Seção Longitudinal 1”. Portanto, infere-se um indicativo de que, na região mais próxima do balneário de Pontal do Sul, as magnitudes dos vetores tendem a ser superiores em comparação com a região interior do Canal da Galheta. Interessante observar que, nos instantes onde ocorre a aproximação do ponto de medição da costa praial, quando ocorre uma redução proeminente da profundidade de aproximadamente 11 m para 2 m, ocorre também uma redução da magnitude das médias móveis das velocidades de um patamar aproximado de 50 cm/s para cerca de 20 cm/s.

O transecto nominado “Seção Transversal 1 – Sudeste do Canal DNOS” corresponde a uma seção de coleta de dados transversais obtidos na região noroeste da desembocadura do canal DNOS, cujos coletados compreendem o interstício entre 09:23 e 09:45, cujos resultados são apresentados no GRÁFICO 24.

GRÁFICO 24 – SEÇÃO TRANSVERSAL 2 – SUDESTE CANAL DNOS



O horário da coleta destes dados corresponde ao período de maré de enchente, com velocidades médias móveis variando de 40 a 60 cm/s e entre 60 e 80 cm/s em alguns momentos. Em gerais, os resultados se mostraram razoavelmente semelhantes aos apresentados na “Seção Transversal 1 – Noroeste Canal DNOS”, em virtude especialmente da proximidade horária destes transectos, e que também representa um indicativo de que o comportamento hidrodinâmico à sudeste e à noroeste do Canal DNOS não apresenta diferenças significativas. Desta forma, destaca-se, novamente, a uniformidade identificada ao longo da coluna d’água, tendo em vista o comportamento análogo das velocidades média, superficial e no leito, além da redução considerável de suas magnitudes em regiões de baixa profundidade.

O resumo desta análise de transectos, compreendendo o intervalo horário e as magnitudes máximas, mínimas e médias identificadas é apresentado no QUADRO 7.

QUADRO 7 – RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE DOS TRANSECTOS

Nome do transecto	Horário	Velocidades (cm/s)								
		Média			Superficial			Leito		
		Max	Min	Média	Max	Min	Média	Max	Min	Média
Latitudinal 1	11:19 e 11:28	80	5	33	160	7	44	112	2	30
Latitudinal 2	09:06 e 09:13	93	5	41	256	5	41	143	7	47
Latitudinal 3	07:42 e 07:20	81	41	60	121	41	83	80	12	44
Longitudinal 1	10:49 e 11:00	123	19	45	231	18	39	186	5	39
Longitudinal 2	11:50 e 12:02	42	1	18	81	2	34	51	1	20
Transversal 1	09:56 e 10:07	77	7	48	94	9	48	90	4	44
Transversal 2	09:23 e 09:45	97	2	44	177	6	47	157	4	44

A partir destes resultados, depreende-se que os valores de velocidades máximas absolutas são superiores nas camadas superficial em relação à camada do leito da coluna d'água em todos os transectos, enquanto que as mínimas variaram, em geral, em valores inferiores a 10 cm/s, com exceção da seção Latitudinal 3, que apresentou a maior constância de valores, e a seção Longitudinal 1 especificamente para a seção superficial. Em relação aos valores médios para as camadas superficial e no leito, a camada superficial superou a camada do leito em todos os transectos, com exceção da seção Latitudinal 2, que foi o único transecto onde a velocidade média no leito superou a velocidade superficial. Interessante observar que a média das velocidades superficial e do leito se apresentaram muito semelhantes para os transectos Longitudinal 1 e Transversal 1 e 2, indicando uma maior uniformidade no comportamento hidrodinâmico da coluna d'água nestes segmentos.

Sobre as velocidades médias, relevante observar que, com exceção da seção Longitudinal 1, todas as velocidades máximas ficaram adstritas ao limite de 100 cm/s. Sobre as velocidades medidas, as seções coletadas em regime de maré de enchente apresentaram valores próximos a 40 cm/s, com exceção da seção longitudinal 2, que apresentou 18 cm/s. Já a seção Latitudinal 3, obtida em regime de maré de vazante, apresentou uma velocidade medida de 60 cm/s. Tais resultados corroboram com o comportamento já identificado para esta região, de que a intensidade dos fluxos de maré de vazante é superior aos de maré de enchente nesta região do Complexo Estuarino de Paranaguá.

**APÊNDICE 4 – ARTIGO SUBMETIDO AO XXX CONGRESSO  
LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA**



## MONITORAMENTO HIDRODINÂMICO EM ÁREAS DE DESEMBOCADURA: ESTUDO DE CASO DO CANAL DNOS EM PONTAL DO PARANÁ/PR

Lucas Monteiro Dildey, Tobias Bernward Bleninger e Gustavo Pacheco Tomas

Universidade Federal do Paraná, (UFPR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), Brasil  
lucas.dildey@gmail.com; tobias.bleninger@gmail.com; gustavopachecotomas@gmail.com

### RESUMO:

O estudo retrata a apresentação de resultados provenientes da realização de uma campanha para obtenção de dados hidrodinâmicos realizada na região da desembocadura do Canal DNOS em Pontal do Paraná/PR, executadas nos dias 17/09/2020 e 18/09/2020. Para esta campanha, foi utilizado um equipamento *Acoustic Doppler Current Profile* (ADCP), modelo M-9 da fabricante Sontek, associado ao software *hydrosurveyor*, para armazenamento e processamento dos dados de batimetria e perfis de velocidades, bem como um equipamento perfilador *conductivity, temperature and depth* (CTD), para coleta dos dados de salinidade e temperatura, adotados especialmente para correção das medições do ADCP. O nível de maré foi monitorado através da instalação de réguas na área de estudo, sendo estes dados utilizados para referenciar as profundidades batimétricas para o nível de redução da região. Foi identificada uma declividade de 6% entre o nível praiado e o leito da região da Galheta, cuja profundidade varia entre 10 e 12 m, com exceção do canal dragado para navegação, o qual possui 16 m de profundidade. As correntes na região da Galheta possuem direções predominantes para noroeste durante a maré de enchente, e sudeste durante a maré de vazante, sendo que a velocidade média para maré de enchente é da ordem de 29 cm/s, enquanto que para vazante é 59 cm/s. Em relação ao comportamento hidrodinâmico na desembocadura do Canal DNOS, foi constatado que esta sofre uma influência direta do regime de marés atuante no Canal da Galheta, fato este corroborado pelos sentidos de fluxos predominantes, pela variação da profundidade na desembocadura ao longo do dia e pela variação dos dados de salinidade obtidos no interior do canal.

### ABSTRACT:

The study portrays the presentation of results from a campaign to obtain hydrodynamic data carried out in the region of the mouth of the DNOS Channel in Pontal do Paraná/PR, executed on 09/17/2020 and 09/18/2020. For this campaign, an *Acoustic Doppler Current Profile* (ADCP) device, model M-9 from the manufacturer Sontek, equipped with the *hydrosurveyor* software, was used to store and process bathymetry and current data, as well as a *conductivity, temperature and depth* (CTD), for the collection of salinity and temperature data, adopted especially for the correction of ADCP measurements. The tidal level was monitored through the installation of gauges in the study area, and these data were used to reduce the bathymetric depths to the level of reduction of in the region. A slope of 6% was identified between the beach level and the bed of the Galheta region, whose depth varies between 10 and 12 m, with the exception of the dredged channel for navigation, which depth is 16 m. The current flow in the Galheta region has predominant directions to the northwest during the flood tide, and southeast during the ebb tide, and the average speed for the flood tide is around 29 cm/s, while for the ebb tide it is 59 cm/s. Regarding the hydrodynamic behavior at the mouth of the DNOS Channel, it was found that it is directly influenced by the tidal regime acting in the Galheta Channel, a fact that is corroborated by the predominant flow directions, by the variation in depth at the mouth of the mouth throughout the day and by the variation of salinity data obtained inside the channel.

**PALAVRAS CHAVES:** Monitoramento hidrodinâmico, desembocaduras, marés, correntes, batimetria.

## INTRODUÇÃO

O pleno entendimento de sistemas ambientais demanda o monitoramento constante dos atributos físicos existentes em determinada região. A obtenção e análise de dados primários são essenciais para estabelecer parâmetros locais que permitam fornecer subsídios para tomadas de decisão quanto a solução de passivos ambientais, bem como fornece uma fonte confiável de dados para calibração e conferência de modelos digitais. No contexto de ambientes costeiros, Morais *et. al.* (2008) indica que, dentre os estudos destinados a avaliar a erosão costeira empreendimentos no Brasil, cerca de 30% são destinados a avaliar a deflagração de processos erosivos provenientes de desembocaduras, sendo 15% referentes as desembocaduras de rios e estuários e 15% relacionados a desembocaduras de pequenos canais.

Neste contexto, o presente trabalho objetivou, a partir de dados reais obtidos em levantamentos de campo, monitorar o comportamento hidrodinâmico de uma desembocadura sob influência da variação de maré. A região de estudo corresponde a desembocadura do canal DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento), o qual desagua na baía de Paranaguá, no Canal da Galheta. A desembocadura deste canal está localizada no município de Pontal do Paraná/PR, mais precisamente no balneário de Pontal do Sul, cuja localização é apresentada na Figura 1.

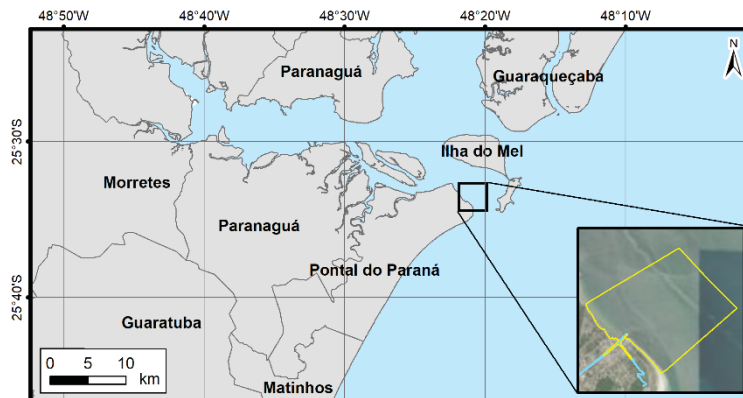


Figura 1.- Localização da Área de Estudo

Esta área do Canal DNOS é vastamente utilizada para navegação de pequeno porte, sobretudo para a execução da travessia até a Ilha do Mel, fomentando assim o desenvolvimento econômico regional a partir do setor turístico. Todavia, a região desta desembocadura vem apresentando deflagração de processos erosivos em seu entorno. Por este motivo, o Município de Pontal do Paraná firmou contrato junto à Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF) para a apresentação de um estudo com a proposição de soluções técnicas para este problema (FUPEF, 2021). No escopo desta contratação, foi realizada a campanha de campo cujos dados a serem analisados constituem o escopo do presente artigo.

## ÁREA DE ESTUDO

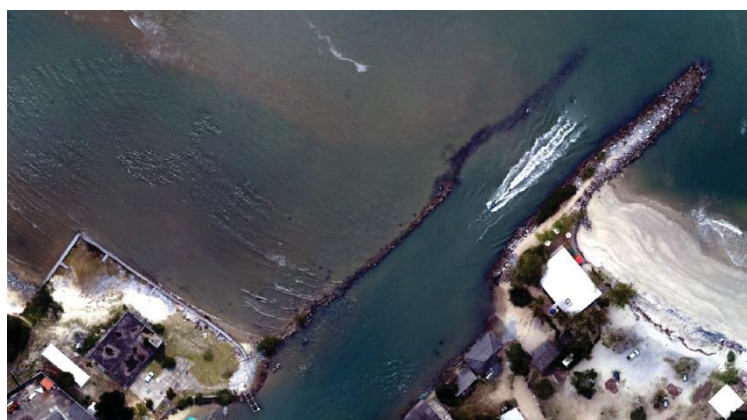
Segundo Lamour (2000), o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) está localizado na porção centro norte do litoral paranaense, sendo subdividido em dois eixos principais denominados baía de Paranaguá, com 56 km de extensão no eixo leste-oeste, e baía das Laranjeiras, com 30 km de extensão no eixo norte-sul, além de outros segmentos menores, como a baía dos Pinheiros. Quanto a dinâmica de marés, a baía de Paranaguá possui um regime de marés semidiurno, caracterizado por duas preamares e duas baixa-mares em um dia, com amplitude inferior a dois metros em período de sizígia. O CEP possui um desague no mar especialmente através dos canais da Galheta e do Sueste. O local exato na realização dos levantamentos, conforme apresentado na Figura 1, compreende a

desembocadura do Canal DNOS no Canal da Galheta.

Sobre o Canal da Galheta, esta é uma via de entrada das ondas no CEP que apresenta pouca variabilidade na direção de chegada, considerando a sazonalidade anual. Em relação à dinâmica de marés, a maré enchente corresponde a uma velocidade de 59 cm/s, formando um ângulo de 320° em relação ao eixo norte, enquanto que a maré de vazante corresponde a uma velocidade de 97 cm/s, formando um ângulo de 140° com o eixo norte (LAMOUR, 2000).

Quanto ao Canal DNOS, relevante salientar que sua denominação decorre do fato deste ter sido construído pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento com o objetivo de promover a drenagem local e a navegação. Este canal apresenta um comprimento de 20,11 km, sendo responsável pela drenagem de diferentes balneários locais, bem como recebe a vazão de diversos afluentes, compreendendo a maior bacia hidrográfica da região, com uma área de 27,38 km<sup>2</sup>. A navegabilidade do Canal DNOS somente é viável desde sua desembocadura até a Ponte da PR-412, Av. Atlântica. (FUPEF, 2021).

A desembocadura do Canal DNOS apresenta duas estruturas que influenciam no comportamento dos fluxos marítimos nesta região, sendo eles um molhe, localizado à direita, e um guia-corrente, localizado à esquerda, conforme apresentado na Figura 2.



**Figura 2.-** Desembocadura do Canal DNOS

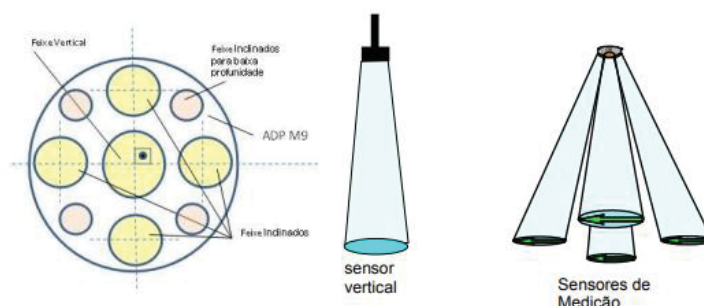
O molhe localizado à direita da desembocadura do canal possui aproximadamente 100 m de comprimento e está posicionada a 45° do eixo norte. Sua construção data de mais de 30 anos, e vem sofrendo constantemente com erosões provenientes das variações de maré e do fluxo de correntes (FUPEF, 2021). A segunda estrutura, localizada à esquerda da desembocadura do canal, é um guia-corrente de pequeno porte, construído com pedras e pneus, com o objetivo de promover um melhor direcionamento das correntes, com a consequente facilitação da navegabilidade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os levantamentos de dados foram realizados com a utilização de um ADCP, um CTD e um GPS RTK. O princípio de funcionamento do ADCP consiste na aplicação do efeito Doppler (*Doppler Shift*), o qual consiste na mudança de frequência do sinal emitido e recepcionado por um transdutor através do contato desta energia acústica com qualquer material em suspensão presente na coluna d'água. Tendo em vista que as partículas em suspensão possuem a mesma velocidade de deslocamento da coluna d'água onde está localizado, a variação de frequência proveniente do efeito doppler será proporcional a esta velocidade (TIAGO FILHO et. al.; 1999; TOMAS, 2018).

No caso do ADCP utilizado nestes levantamentos (modelo M-9 da fabricante Sontek), este dispõe de um transdutor vertical com frequência de 0,5 MHz, que atua como um ecobatímetro, monitorando o decurso temporal entre a emissão e recepção do pulso sonoro, sendo utilizado apenas para obtenção de informações de profundidade. Além do transdutor vertical, existem e oito

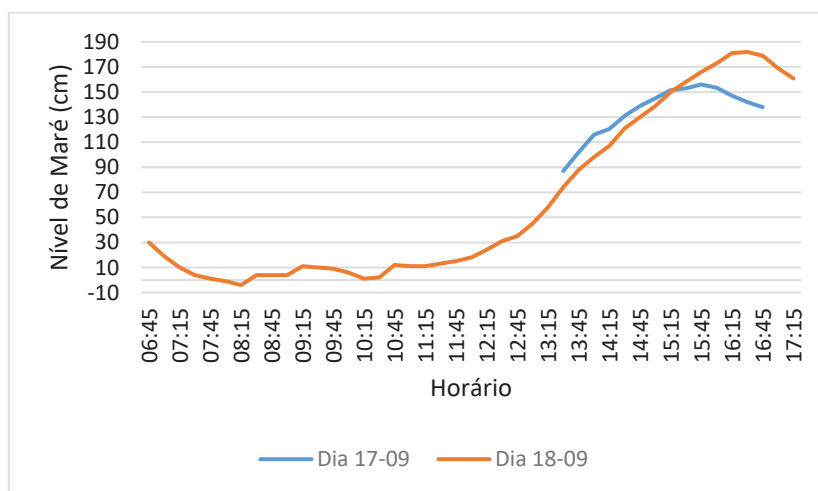
transdutores inclinados à 25° com a vertical, os quais obtêm informações de fluxos de corrente e profundidade a partir do monitoramento do efeito *doppler*, operando com conjuntos de quatro transdutores para monitoramento de profundidades inferiores e superiores à 5 m, correspondendo às frequências de operação de 3 e 1 MHz, respectivamente. A disposição dos transdutores no ADCP modelo M-9 da Sontek é apresentada na Figura 3.



**Figura 3.-** Disposição dos transdutores do ADCP-M9 da Sontek (Fonte: Tulio *et al*, 2011).

Para monitoramento do posicionamento georreferenciado das medições realizadas, foi utilizado com GPS RTK (*Real Time Kinematic*), cujo princípio de funcionamento consiste da utilização de duas estações GPS, sendo uma base instalada em um ponto de coordenadas conhecidas, e outra acoplada ao ADCP. Ambas as estações se conectam aos mesmos satélites, sendo que a estação base identifica os erros de posicionamento e comunica as correções diferenciais a serem aplicadas pela estação móvel. Para a obtenção dos parâmetros físicos de temperatura, salinidade e pressão, foi utilizado um equipamento CTD, nominado Castway, também da fabricante Sontek, com o objetivo de promover as correções das medições obtidas pelo ADCP. O equipamento CTD coleta dados para obtenção dos parâmetros de temperatura, de salinidade e pressão.

O monitoramento do nível de maré ocorreu no interior através da instalação de réguas no interior do Canal DNOS e no molhe localizado em sua desembocadura, com a verificação do nível a cada 15 minutos. O monitoramento foi realizado durante o dia 17/09/2020, entre 13:30 e 16:40, e no dia 18/09/2020, entre 06:45 e 17:15. Os dados de maré foram referenciados para o nível de redução, o qual corresponde ao nível médio das marés de baixa sizígia, monitorados por intermédio da estação maregráfica Barra de Paranaguá – Canal da Galheta, a qual é utilizada na construção da carta náutica 1821, que compreende integralmente a área de estudo. O monitoramento do nível de maré ajustado ao nível de redução é apresentado na Figura 4.



**Figura 4.-** Variação do nível de maré em relação ao nível de redução.

Para conferência da adequabilidade deste método de referenciamento dos dados de maré, foram comparados os dados de altura de marés previstas na Tábua de Marés, que apresentam a previsão de nível de maré astronômica (CPTEC, 2020). Nesta comparação, pode-se observar uma defasagem entre a máxima maré prevista na estação maregráfica e a máxima maré medida de 10 minutos, a qual pode ser atribuída a distância entre a localização das réguas da estação e daquelas adotadas no monitoramento, de cerca de 4 km. Quanto aos resultados, o nível máximo medido às 15:50 do dia 17/09/2020 apresentou uma diferença de somente 3 cm em relação ao nível previsto. Para o dia 18/09/2022, esta variação atingiu 22 cm às 16:15, decorrente das condições meteorológicas atuantes entre 15:45 e 16:30, momento em que ocorreu uma maior incidência de ventos.

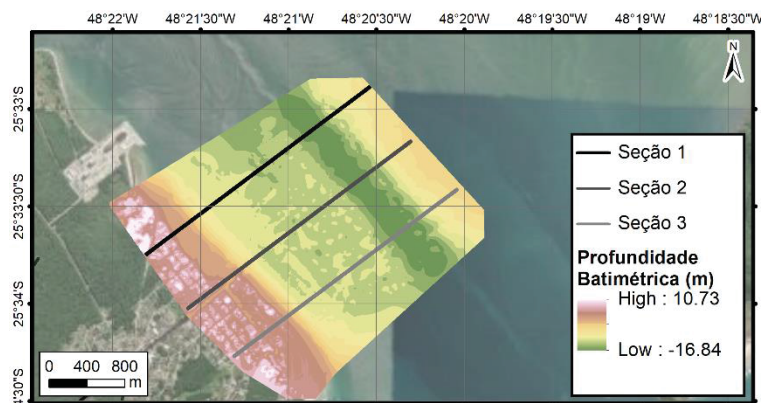
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A campanha de campo com a utilização do ADCP ocorreu no dia 17/09/2020, no horário das 14:56 até 16:25, e no dia 18/09/2020, das 06:54 às 17:18, resultando no trajeto apresentado na Figura 5.

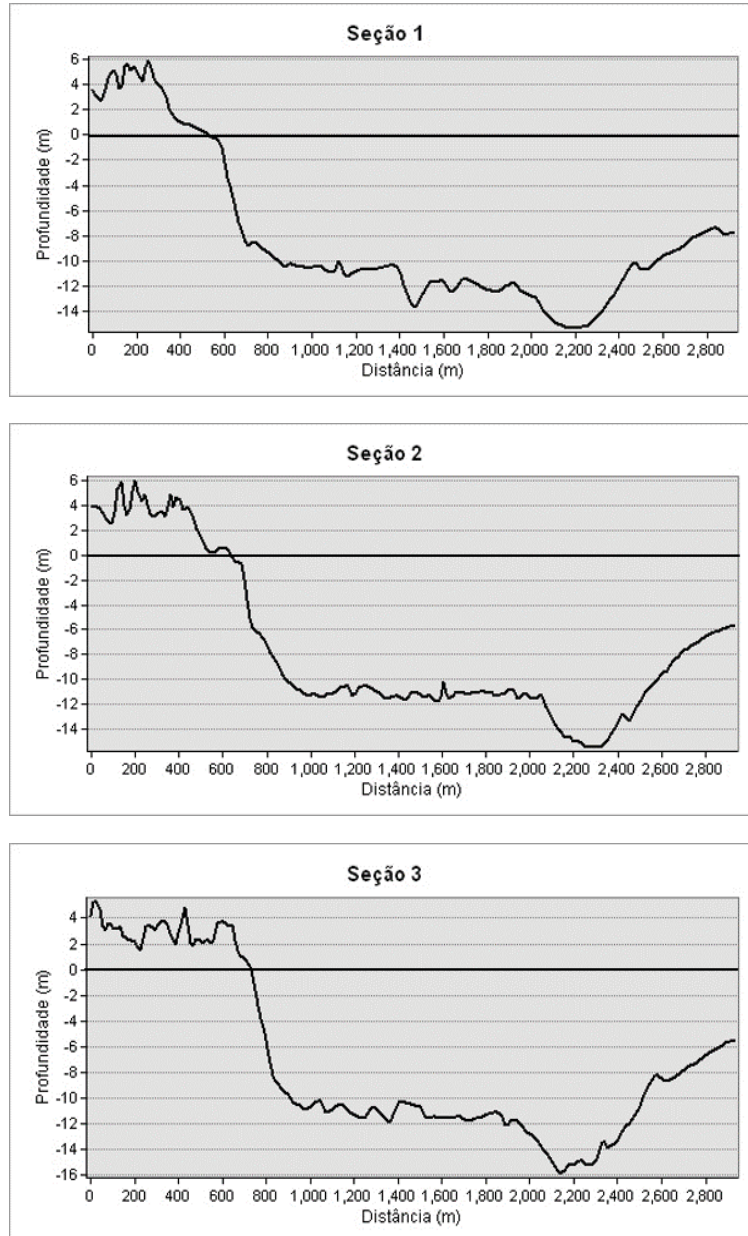


**Figura 5.-** Trajeto das medições executadas

Para obtenção das profundidades batimétricas, as alturas da coluna d'água medidas foram subtraídas dos respectivos níveis de maré, com o objetivo de referenciar todas as profundidades ao nível de redução. Ademais, foi incorporado um Modelo Digital do Terreno, a fim de obter um diagnóstico da superfície emersa e imersa. Estes dados foram processados no software *ArcGis*, utilizando o método de interpolação *topo to raster*, o qual foi desenvolvido por Hutchinson, o qual apresenta resultados satisfatórios em comparação com outros interpoladores, como o método de Krigagem (Carmo *et. al.*, 2015). O resultado do processo de interpolação batimétrica é apresentado na Figura 6, com suas respectivas seções transversais apresentadas na Figura 7.



**Figura 6.-** Interpolação Superficial e Batimétrica



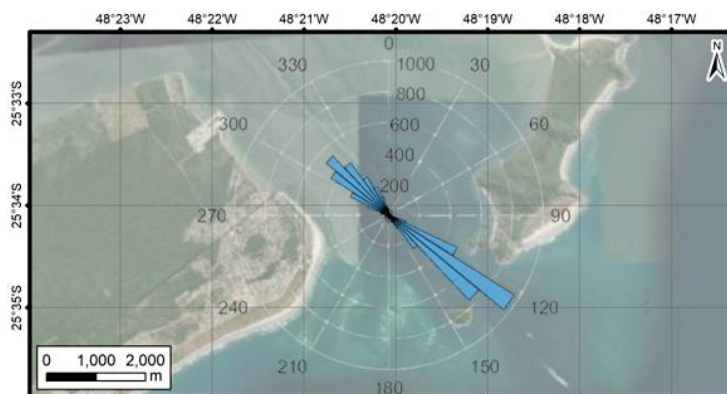
**Figura 7.-** Seções Transversais.

A partir destes resultados, pode-se inferir que a região possui faixas de praia de baixa profundidade que variam em extensão a depender da localidade analisada. Na região interna do canal, à noroeste da desembocadura do Canal DNOS, esta faixa apresenta uma extensão de aproximadamente 200 m, superior a pequena extensão detectada na região externa do canal. Em relação a seção que transpassa o Canal da Galheta, nota-se uma profundidade uniforme próxima a zero metros, referenciadas ao nível de redução.

Após o segmento praial de baixa profundidade, ocorre um incremento da profundidade até 12 m, incidente entre 400 e 600 m do ponto inicial de cada seção, o que indica que a declividade média corresponde a 6%, que prevalece até atingir uma região predominantemente plana, com profundidades variando entre 10 e 12 m ao longo de 1000 m de extensão, quando intercepta o canal de navegação da Galheta, onde são realizadas as dragagens de manutenção e as profundidades atingem valores na ordem de 16 m. Relevante pontuar que, conforme consta de notícias veiculadas em portais de comunicação, a profundidade dragada do Canal da Galheta corresponde a 16 m (PORTOS DO PARANÁ, 2017), informação esta corroborada pela própria Carta Náutica 1821. A extensão do canal é de aproximadamente 500 m, momento em que a área de estudo intercepta áreas

próximas à Ilha do Mel, onde as profundidades sofrem uma gradativa redução numa linha perpendicular ao canal dragado, na direção nordeste, sendo que, nos limites da área levantada, a profundidade identificada é de 8 m.

Para a análise da hidrodinâmica externa, os resultados apresentados correspondem a: direções e magnitude de velocidades predominantes, influências meteorológicas e períodos de mudança do fluxo de marés. Quanto as direções e magnitudes de velocidades predominantes, foram analisados conjuntos de dados que refletissem períodos de maré de vazante e maré de enchente em tempo bom, para privilegiar a influência da maré astronômica. Para tanto, este diagnóstico versou sobre os dados compreendidos entre 07:00 e 08:00 e entre 11:00 e 12:00 do dia 18/09/2020, por corresponderem aos períodos de maré de vazante e enchente, respectivamente. As direções predominantes considerando estes dois conjuntos de dados são apresentados na Figura 8, e as magnitudes máximas, mínimas e médias dos fluxos de corrente para os três períodos são apresentadas na Tabela 1.



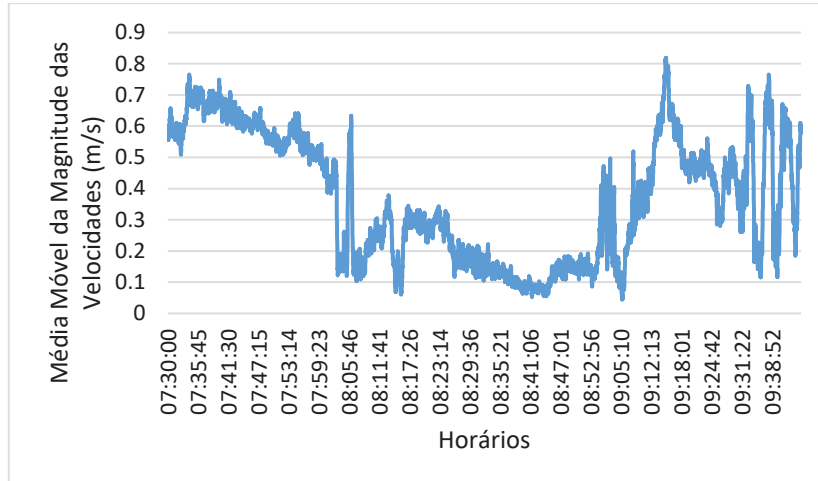
**Figura 8.-** Direções Predominantes – Dados coletados entre 07:00 e 08:00 e entre 11:00 e 12:00.

**Tabela 1.-** Magnitudes máximas, mínimas e médias

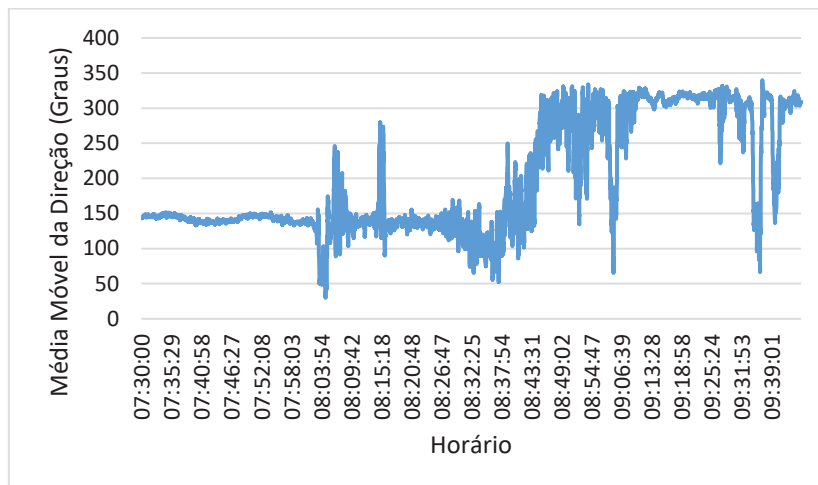
	Velocidade Máxima [cm/s]	Velocidade Mínima [cm/s]	Velocidade média [cm/s]
Maré de vazante (07:00 até 08:00)	94,7	5,3	59,3
Maré de enchente (11:00 até 12:00)	96,3	2,0	29,2

Considerando estes resultados, infere-se que a região do Canal da Galheta é caracterizada por fluxos de marés bem definidos para as direções sudeste (para marés de vazante) e noroeste (para marés de enchente). As magnitudes médias apresentaram uma variação considerável, sendo que o fluxo de maré de vazante é, em média, o dobro do fluxo de maré de enchente. A título comparativo, o estudo de Lamour (2000) identificou, na região da Galheta, magnitudes máximas na ordem de 97 cm/s em maré de vazante e 59 cm/s em regime de maré de enchente. Quanto à direção dos fluxos, relevante observar, conforme apresentado na Figura 8, o período de maré de vazante apresenta um fluxo para direção sudeste, enquanto que, na maré de enchente, a direção predominante é a noroeste. Segundo Lamour (2000), tal resultado pode ser atribuído ao processo de afunilamento do fluxo de marés entre a Ilha do Mel e o balneário Pontal do Sul, em Pontal do Paraná.

A respeito especificamente dos períodos de transição de maré, são apresentados resultados referentes ao comportamento da magnitude dos vetores de velocidade e a direção dos fluxos de correntes no período entre às 07:30 e 09:45, por intermédio da Figura 9 e na Figura 10. Neste momento, a transição do fluxo de maré ocorreu com a influência exclusiva da maré astronômica, haja vista que as condições meteorológicas eram de tempo bom, com baixa intensidade de ventos.



**Figura 9.-** Magnitude dos Vetores de Velocidade durante a transição de maré de vazante para enchente.

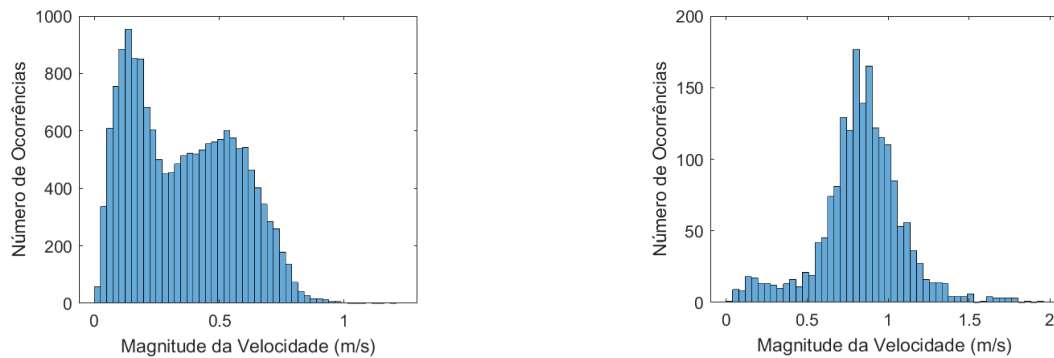


**Figura 10.-** Direções de Fluxo durante a transição de maré de vazante para enchente.

Neste diapasão, foi observado que, antes da transição da direção do fluxo de maré, ocorre inicialmente um decréscimo gradual da magnitude de velocidade. Na campanha realizada, este decréscimo da magnitude da velocidade é perceptível entre 08:00 e 08:50, quando as magnitudes de velocidades decrescem de 60 cm/s para 20 cm/s. Após este período, o fluxo de velocidades passa a operar em 40 cm/s, já em regime de maré de enchente. Em relação as direções de fluxo, relevante observar que a oscilação característica da alteração do regime de marés ocorreu a partir das 08:25 e se encerra às 08:50, coincidindo com o reestabelecimento do fluxo de velocidades em magnitude compatíveis com o regime de maré de enchente.

Sobre as influências das condições meteorológicas, foi salientado, quando da análise do monitoramento de variação de maré, que o nível máximo de maré monitorado apresentou um valor aproximadamente 22 cm superior a maré prevista, e que tal variação poderia ser atribuída as condições meteorológicas da região, identificada entre 15:45 e 16:30. Para atestar este fato, é apresentado na Figura 11, um comparativo entre as magnitudes de velocidades predominantes durante o período das 06:54 até 12:51, momento em que predominava tempo bom com baixa incidência de ventos, com o período supramencionado. Para complementar esta análise, compara-se, na Tabela 2, as magnitudes máximas e médias em ambos os períodos.





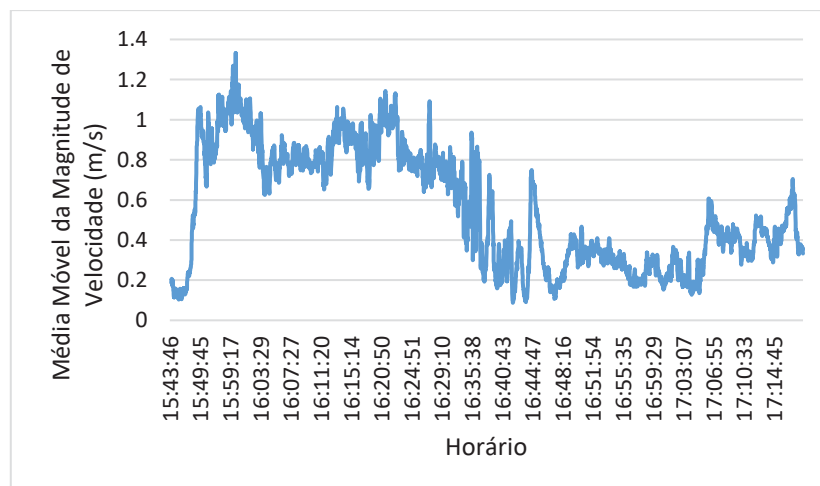
**Figura 11.-** Magnitudes predominantes de velocidades entre 06:54 e 12:51 (esquerda) e entre 15:45 e 16:30 (direita).

**Tabela 2.-** Magnitudes máximas e médias

	Velocidade Máxima [cm/s]	Velocidade média [cm/s]
Meteorologia estável (06:54 até 12:51)	123,2	35,7
Meteorologia instável (15:45 até 16:30)	195,7	83,6

A partir destes dados, nota-se que, durante o período de condições meteorológicas estáveis, raramente as magnitudes de velocidade superam 100 cm/s. Todavia, durante o período de meteorologia instável, ocorreu uma intensificação dos fluxos, com a velocidade média de 83,6 cm/s, esta superior ao dobro da velocidade média medida em tempo bom.

Estes resultados ressaltam a relevância que as condições meteorológicas exercem nos fluxos de corrente em ambientes costeiros, podendo gerar, inclusive, variações nos níveis máximos e mínimos de maré. Esta influência, ainda que por um período limitado de 45 minutos, foi suficiente para gerar um acréscimo de 13,75%, ou 22 cm, acima do nível de maré máximo previsto, conforme registrado. Por fim, destaca-se que, após este momento de instabilidade meteorológica, os fluxos de corrente retornaram ao seu comportamento padrão, na ordem de 40 cm/s, conforme Figura 12.



**Figura 12.-** Magnitude dos fluxos de corrente durante e depois do período e instabilidade meteorológica.

Por fim, para a análise da hidrodinâmica interna, serão abordados os dados obtidos na desembocadura do Canal DNOS. Assim, foram averiguados os fluxos na desembocadura, variação na profundidade no canal e parâmetros físicos de salinidade no interior do canal. Os resultados são expressos na forma de magnitude de velocidade e direções dos fluxos de corrente.

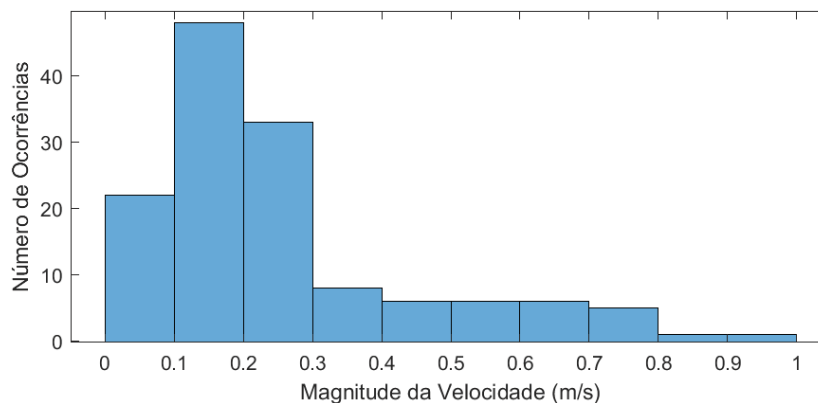
Sobre os fluxos na desembocadura, foram analisados os dados obtidos durante a passagem da embarcação por esta região. Neste contexto, a evolução das direções médias obtidas, aproximadamente a cada hora, e da magnitude das velocidades, é apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3.-** Direções e velocidades médias.

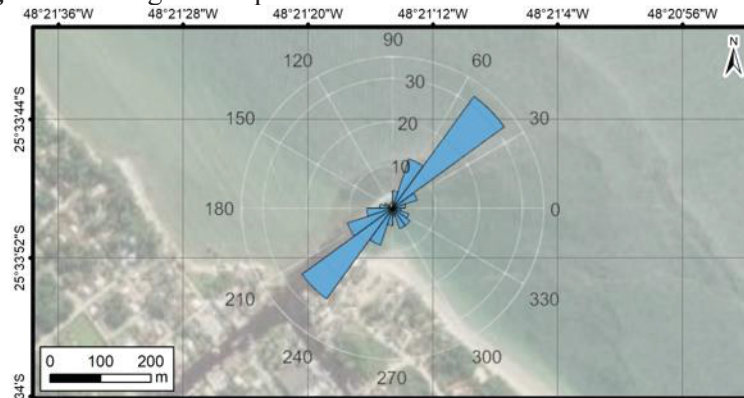
Horário	07:00	08:00	09:00	10:00	10:45	11:45	15:45	17:15
Direção média [graus]	41,39	71,13	136,61	241,29	207,55	221,37	209,09	55,54
Velocidade média [cm/s]	63,06	17,02	8,95	21,42	12,45	22,22	15,45	36,09

A partir destes dados, pode-se inferir que os dados obtidos no período de 07:00 e 08:00 representam o comportamento do canal durante o regime de maré de vazante, com o fluxo de correntes saindo do canal, na direção nordeste (entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ ), desacelerando às 08:00, indicando o período de transição entre regimes de marés, com fluxo direcionado para sudeste (entre  $90^\circ$  e  $180^\circ$ ) às 09:00. Todos os resultados entre 10:00 e 15:45 correspondem ao comportamento do canal durante o regime de maré de enchente, com o fluxo de correntes entrando no canal, na direção sudoeste (entre  $180^\circ$  e  $270^\circ$ ). Note-se que as magnitudes das velocidades médias correspondem a aproximadamente de 20 cm/s durante a maré de enchente, em comparação aos 63 cm/s medidos para maré de vazante, indicando que a maior intensidade do fluxo na saída do Canal DNOS está associada ao período de maré de vazante na Galheta. Por derradeiro, é retomado o fluxo de maré de vazante às 17:15.

As magnitudes de velocidade com maior ocorrência, bem como as direções predominantes, considerando conjuntos iguais de dados medidos para os horários supramencionados, é apresentada na Figura 13 e na Figura 14, respectivamente.

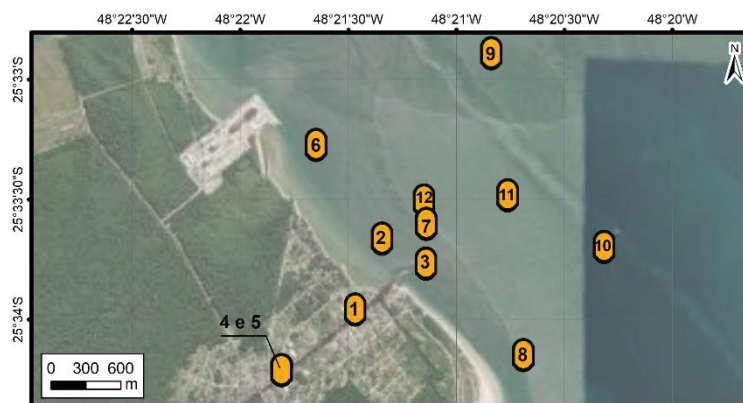


**Figura 13.-** Magnitudes predominantes de velocidades do Canal DNOS



**Figura 14.-** Direções predominantes no Canal DNOS

Uma consequência deste regime de fluxos de corrente é refletida na profundidade disponível para a navegação executada neste canal. Durante períodos de maré de vazante, a tendência é a profundidade apresentar valores inferiores em comparação com períodos de maré de enchente. Desta forma, foi constatado que as profundidades mais críticas para navegação na desembocadura do Canal DNOS ocorreram entre 09:00 e 10:00, na ordem de 1,2 m, enquanto que a maior profundidade foi identificada aproximadamente às 15:45, na ordem de 3 m. A variação na profundidade do canal é uma evidência de que este está sujeito, principalmente, ao regime de marés atuante no Complexo Estuarino de Paranaguá, o qual é corroborado através da análise da variação da concentração de salinidade nesta área de estudo. As medições destes parâmetros físicos constam na Figura 15 e na Tabela 4.



**Figura 15.-** Locais das medições de salinidade

**Tabela 4.-** Registros das medições e salinidade média

Número da Medição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Dia</b>	17/09	17/09	17/09	17/09	17/09	18/09	18/09	18/09	18/09	18/09	18/09	18/09
<b>Horário</b>	14:19	14:44	15:50	16:27	16:34	07:29	07:57	08:34	11:30	12:38	12:44	14:53
<b>Salinidade Média [psu]</b>	33,95	33,87	33,79	33,67	33,69	32,80	32,36	32,64	32,52	33,10	33,25	33,69

Ao comparar as datas e horários da execução das medições apresentadas, nota-se que todas as executadas no dia 17/09/2020 foram realizadas no período de maré de enchente, quando a direção dos fluxos de corrente permite a entrada da água do oceano no estuário, implicando em valores de salinidade variando entre 33,5 e 34 psu. Já para os resultados obtidos nas medições 6 a 8, realizadas no período de maré de vazante, nota-se que a salinidade varia entre 32 e 33 psu, quando os fluxos de correntes são direcionados do estuário para o oceano.

## CONCLUSÕES

Trata-se da análise do comportamento hidrodinâmico através da compilação e processamento de dados obtidos ao longo de uma campanha de campo executada em Pontal do Paraná/PR, na região próxima à desembocadura do Canal DNOS no balneário Pontal do Sul.

Quanto ao perfil batimétrico, nota-se a existência de uma variação na extensão da área de praias rasas, com a região noroeste da desembocadura do Canal DNOS apresentando uma faixa praias mais extensa do que à sudeste. Ainda, verificou-se a existência de uma declividade média de 6%, com o aprofundamento da área de estudo para aproximadamente 12 m com exceção do canal de navegação da Galheta, o qual é submetido a intervenções de dragagem que o aprofundam até 16 m.

Em relação à hidrodinâmica externa, as direções dos fluxos de correntes são bem definidas para noroeste para o regime de maré de enchente e sudeste para o regime de maré de vazante, com as

magnitudes médias de velocidades mais significativas durante as fases de maré de vazante, sendo aproximadamente duas vezes mais intensa em comparação com a maré de enchente. O período de transição do fluxo de maré de vazante para enchente apresentou duração aproximada de 50 minutos, compreendendo 25 minutos de desaceleração e 25 minutos de mudança no sentido de fluxo. Quanto à influência das condições meteorológica, foi identificado que a média das magnitudes de velocidade sofreram um aumento superior a 100%.

Para a hidrodinâmica interna, foi averiguado que a desembocadura do Canal DNOS sofre influência direta do regime hidrodinâmico atuante no Canal da Galheta, com as direções de fluxo variando para entrada e saída do Canal DNOS conforme em conformidade com o regime de marés de momento. Tal comportamento é referendado pela variação na profundidade na desembocadura do canal, que variou 1,8 m, e pelo fato de que os índices de salinidade no interior do Canal DNOS também sofrem acréscimos e decréscimos conforme a fase de maré.

## AGRADECIMENTOS

Este artigo foi elaborado com o suporte do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná, com base em estudo realizado no escopo do contrato celebrado entre o Município de Pontal do Paraná junto à Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, executado em parceria com o Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura. Tobias Bleninger agradece o apoio da bolsa de produtividade do Conselho Nacional de Pesquisa, CNPq, processo: 312211/2020-1, edital: no. 09/2020.

## REFERÊNCIAS

- Carmo, E.J.; Rodrigues, D. D.; Santos, G. R. (2015).** “Avaliação dos interpoladores *Krigagem* e *Topo to Raster* para geração de Modelos Digitais de Elevação a partir de um ‘as built’”. *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol. 4, n. 4, out-dez 2015, pp. 674-690.
- Centro De Previsão De Tempo E Estudos Climáticos (CPTEC) (2020).** Tábuas de Marés de 09/2020 – Barra do Porto de Paranaguá Canal da Galheta-PR. Disponível em: <<http://ondas.cptec.inpe.br/~rondas/mares/index.php?cod=60135&mes=09&ano=20>>. Acesso em: 19 set. 2021.
- Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) (2022).** Cartas náuticas. Barra de Paranaguá. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-cartas-raster-47>>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF) (2021).** “Análise Computacional da Desembocadura do Canal DNOS e Zonas de Praias Próximas – Município Pontal do Paraná-PR”. 127 f. Pontal do Paraná/PR.
- Lamour, M.R. (2000).** “Dinâmica sedimental do Canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá – PR”. Orientador: Rodolfo José Ângulo, 114 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná.
- Portos do Paraná (2017).** “Ministro assina ordem de serviço para início da dragagem de aprofundamento em Paranaguá”. Disponível em: <<https://www.portosdoparana.pr.gov.br/Noticia/Ministro-assina-ordem-de-servico-para-inicio-da-dragagem-de-aprofundamento-em-Paranagua>>. Acesso em: 17 mai. 2022.
- Tiago Filho, G. L.; Vianna, A. N. C.; Caetano, G. T.; Santos, R. M. R. M (1999).** “O uso do ADCP em pequenos e médios cursos d’água”. In: **Grupo de Trabajo sobre Hidromecânica – 5ª Reunião**. Montevideu: 1999. Disponível em: <<https://livrozilla.com/doc/1713007/o-uso-do-adcp-em-pequenos-e-m%C3%A9dios-cursos-d%C2%B4%C3%A1gua>>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- Tomas, G.; Bleninger, T.; Rennie, C. D.; Guarneri, H. (2018).** “Advanced 3D Mapping of Hydrodynamic Parameters for the Analysis of Complex Flow Motions in a Submerged Bedrock Canyon of the Tocantins River, Brazil”. *Water*, v. 10, n. 4, p. 367-386, fev./mar. 2018. DOI. <<https://doi.org/10.3390/w10040367>>. Disponível em <<https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/367>>. Acesso em: 13 set. 2021.
- Tulio, S.; Gamaro, P. E. M.; Maldonado, L. H (2011).** “Avaliação do uso do medidor de vazão doppler com feixe vertical em levantamentos batimétricos”. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Maceió/AL, ABRH: 2011. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/ae0f450978d29e4b809033a129d9e0a\\_173a40eb3bbab0d1bb6e6bf347bba762.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/ae0f450978d29e4b809033a129d9e0a_173a40eb3bbab0d1bb6e6bf347bba762.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2021.