

RELATÓRIO TÉCNICO

RELATÓRIO DE LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO

BAÍA DE SÃO MARCOS E DE SÃO JOSÉ – MA

UMI 海SAN RT 24 2021

PERÍODO DO LEVANTAMENTO: 07/02/2021 a 14/02/2021

AUTORIZAÇÃO: 413/20

ENTIDADE CONTRATANTE:

**EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO
PORTUÁRIA (EMAP)**
Av. dos Portugueses, s/n, São Luís – MA - Brasil
CEP: 65085-370



RELATÓRIO DE LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO

BAÍA DE SÃO MARCOS E DE SÃO JOSÉ – MA

UMI海SAN RT 24 21

PP 002 16

Rev	Descrição	Preparado	Verificado	Aprovado	Data
0	Interno	Igor Domingues	Thiago Nascimento	Thiago Nascimento	19 de março de 2021

APRESENTAÇÃO

Este relatório apresenta os resultados do Levantamento Hidrográfico (correntometria), respaldado pela autorização n° 413/20 2020 do Centro de Hidrografia da Marinha – CHM (ANEXO 01), de Categoria “B” realizado pela UMI SAN - Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia Ltda, para a Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP), no estado do Maranhão.

**Thiago Freitas do Nascimento**

Responsável Técnico

ENTIDADE EXECUTANTE DO LH

Inscrição CHM nº. 135

UMI SAN – Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia Ltda. CNPJ 03.290.647/0001-93

Rodovia do Sol, nº 2200, Praia de Itaparica, Vila Velha –ES - CEP 29.122-250

Fone: (27) 3075-9450

E-mail: umisan@umi.com.br

EQUIPE TÉCNICA ENVOLVIDA NOS TRABALHOS DE CAMPO E GABINETE

CHEFE DA EQUIPE HIDROGRÁFICA E O RESPECTIVO PERÍODO DE CHEFIA

Áureo A. Manente Filho

Oceanógrafo

Diretor da Empresa: UMI SAN Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia Ltda.

Período: A partir de 01/06/2016.

EQUIPE TÉCNICA EXECUTANTE DOS TRABALHOS DE CAMPO E GABINETE

Jéssica Venturini Oceanógrafa, MSc Oceanografia Ambiental	Trabalhos de gabinete
Igor Domingues Oceanógrafo	Trabalhos de gabinete
Larissa Neves Oceanógrafa	Gestora do contrato
Lohran Ribeiro Graduando em oceanografia	Trabalhos de campo
Thiago Nascimento Oceanógrafo, MSc Engenharia Ambiental	Gerente de Processamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	11
3	METODOLOGIA	13
4	RESULTADOS	18
4.1	FUNDEIO	18
4.1.1	PI-C1	18
4.1.1.1.	Sizígia	18
4.1.1.2.	Quadratura.....	22
4.1.1.3.	Análise integrada PI-C1: sizígia e quadratura.....	25
4.1.2	PI-C3	27
4.1.3.1.	Sizígia	27
4.1.3.2.	Quadratura.....	30
4.1.3.3.	Análise integrada PI-C3: sizígia e quadratura.....	33
4.1.3	PI-C5	35
4.1.3.1.	Sizígia	35
4.1.3.2.	Quadratura.....	38
4.1.3.3.	Análise integrada PI-C5: sizígia e quadratura.....	41
4.2	TRANSECTOS.....	43
4.2.1	Sizígia: vazante	43
4.2.2	Sizígia: enchente	47
4.2.3	Quadratura: vazante	51
4.2.4	Quadratura: enchente	55
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6	REFERÊNCIAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Batimetria da baía de São José. Fonte: Coutinho e Morais (1976).....	13
Figura 2: Localização dos pontos de levantamento com ADCP. Em cada ponto foram realizados levantamentos correntométricos durante momentos de enchente e vazante da maré, tanto em período de sizígia quanto de quadratura.	14
Figura 3: Mapa de localização dos levantamentos com ADCP realizados na região marinha da Baía de São Marcos. ...	15
Figura 4: Estrutura utilizada para estabilização do ADCP.	17
Figura 5: Calibração de campo realizada com os ADCPs para compensar as influências magnéticas locais.....	18
Figura 6: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1.	20
Figura 7: Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1. Em laranja o dado de elevação da coluna de água e em azul o dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.....	20
Figura 8: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1.	21
Figura 9: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1.	23
Figura 10: Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1. Em laranja o dado de elevação da coluna de água e em azul o dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.	23
Figura 11: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1.....	24
Figura 12: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de sizígia (à direita) e quadratura (à esquerda) do ADCP PI-C1.	26
Figura 13: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.	28
Figura 14: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.....	28

Figura 15: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.....	29
Figura 16: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.....	31
Figura 17: Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.	31
Figura 18: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.....	32
Figura 19: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de sizígia (à esquerda) e quadratura (à direita) do ADCP PI-C3.	34
Figura 20: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C5.	36
Figura 21: Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C5.	36
Figura 22: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C5.	37
Figura 23: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C5.....	39
Figura 24 Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C5.	39
Figura 25: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C5.....	40
Figura 26: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de sizígia (à esquerda) e quadratura (à direita) do ADCP PI-C5.	42
Figura 27: Identificação dos intervalos de aquisição de dados de corrente nos transectos realizados na curva de maré do Porto de Itaqui fornecido pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM-BNDO).	44
Figura 28: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia instante de estofa da preamar.	44
Figura 29: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia 1 hora depois do instante de preamar.....	45

Figura 30: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia 2 horas depois do instante de preamar.....	45
Figura 31: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 3 horas do instante de preamar.....	46
Figura 32 : Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 4 horas do instante de preamar.....	46
Figura 33 : Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia no instante de baixa-mar.	47
Figura 34: Magnitude das correntes medidas no transecto em período de sizígia durante a vazante de maré do dia 13 e 14/02/2021. Os vetores representam a componente da velocidade perpendicular ao escoamento principal.	47
Figura 35: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia durante o instante de baixa-mar no dia 13/02/2021.....	48
Figura 36: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 1 hora do instante de baixa-mar.....	49
Figura 37: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 2 horas do instante de baixa-mar.....	49
Figura 38: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 3 horas do instante de baixa-mar.....	50
Figura 39: Magnitude das correntes medidas no transecto em período de sizígia durante a enchente da maré no dia 13/02/2021. A origem da transecto (0 m) se encontra em sua margem oeste. Os vetores representam a componente da velocidade perpendicular ao escoamento principal.....	50
Figura 40: Identificação dos intervalos de aquisição de dados de corrente nos transectos realizados em período de maré de quadratura, na curva de maré medida no Porto do Itaqui.	52
Figura 41: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura durante o instante de preamar.....	52
Figura 42: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura após 1h e 00min do instante de preamar.....	53
Figura 43: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura após 2h e 00min do instante de preamar.....	53
Figura 44: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura após 2h e 30min do instante de preamar.....	54

Figura 45: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura durante instante de Baixa-mar.....	54
Figura 46: Magnitude das correntes medidas em período de quadratura durante a vazante da maré nos dias 13 e 14/02/2021. A origem da transecto (0 m) se encontra em sua margem oeste. Os vetores representam a componente da velocidade perpendicular ao escoamento principal.....	55
Figura 47: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura no instante de preamar.	56
Figura 48: Magnitude das correntes medidas período de sizígia durante o estofo da preamar nos dias 13 e 14/02/2021. A origem da transecto (0 m) se encontra em sua margem oeste. Os vetores representam a componente da velocidade perpendicular ao escoamento principal.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Período de levantamento realizado em cada ponto de coleta.....	18
Tabela 2: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C1 durante o período de sizígia.	19
Tabela 3: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C1 no período de quadratura.	22
Tabela 4: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C3 no período de sizígia.	27
Tabela 5: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C3 durante o período de quadratura.	30
Tabela 6: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C5 durante o período de sizígia.	35
Tabela 7: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C5 no período de quadratura.	38
Tabela 8: Intervalos de aquisição de dados de corrente nos transectos realizados em período de maré de sizígia.	43
Tabela 9: Intervalos de aquisição de dados de corrente nos transectos realizados em período de maré de quadratura.	51

1 INTRODUÇÃO

A UMI SAN - Serviços de apoio a Navegação e Engenharia Ltda realizou um Levantamento Hidrográfico (Correntometria) - Categoria B, Baía de São Marcos, São Luís - MA, conforme a PP 002 16, para fins de caracterização das correntes dos locais de coleta.

No presente documento estão apresentados os aspectos técnicos dos seguintes serviços executados no período de 07 de fevereiro de 2021 a 14 de fevereiro de 2021:

- Planejamento do Levantamento Hidrográfico (LH);
- Mobilização de embarcação, sistema e equipe;
- Levantamento Correntométrico em Quadratura;
- Levantamento Correntométrico em Sizígia;
- Processamento dos dados;
- Elaboração do relatório técnico.

2 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O Levantamento correntométrico foi realizado na baía de São Marcos, com medições realizadas na região marinha adjacente ao Porto do Itaqui, Ponta da Espera e Área de Fundeio.

A baía de São Marcos faz parte do Golfão Maranhense, o qual se destaca como principal recorte na linha de costa do estado do Maranhão, formado basicamente pelas duas baías, separadas pela Ilha do Maranhão (Ilha de São Luís).

A baía de São Marcos compreende um complexo sistema estuarino, abrangendo baías, estuários, estreitos, igarapés, enseadas, ilhas, falésias, pontais rochosos, manguezais, dunas, planícies de maré e praias quartzosas (MOCHEL *et al.*, 2004).

A região da baía de São Marcos é caracterizada pela ocorrência de macromarés (4-6 m) semidiurnas (período de 12.4h), onde a média das preamares (baixa-mares) de sizígia – MHWS (MLWS) - alcançaram alturas de 6.3 (0.6) m acima do NR local em Itaqui, 6.0 (0.6) m em Ponta da Madeira e 6.1 (0.6) m em Alumar, enquanto na quadratura – MHWN (MLWN) - foram de 5.0 (1.8) m em Itaqui, 4.8 (1.7) m em Ponta da Madeira e 5.0 (1.8) m em Alumar, conforme consta nos dados das estações maregráficas da região (FEMAR, 2017). Assim, constata-

se que as amplitudes médias de maré na baía de São Marcos variam em torno de 3 m na quadratura e 5.5 m na sizígia.

O regime de macromarés, da baía de São Marcos é responsável pela formação de correntes de maré que exercem trabalho decisivo na morfodinâmica litorânea, determinando as formas de deposição de sedimentos nos ciclos de enchente e vazante.

Na região do Golfão Maranhense são observadas velocidades de corrente de maré de até 3.8 m/s a partir das cartas de correntes do local (CHM, 2004), onde a maior velocidade ocorreu durante um momento de vazante de sizígia (4h depois da preamar de São Luís) na região da foz da baía de São Marcos. No interior das baías do Golfão tende a ocorrer velocidades maiores que na região oceânica adjacente em função do aumento da amplitude da maré, conforme constatado por Pereira e Harari (1995) para as baías de São Marcos. Os resultados desses autores indicam correntes maiores que 1.5 m/s na região do canal principal da baía, o qual exerce grande influência nas correntes de maré, sendo as maiores velocidades obtidas durante a vazante e com as direções alinhadas com o canal principal (SO-NE).

O canal principal da Baía de São Marcos está orientado no sentido SO-NE desde a foz da baía até a Ilha dos caranguejos, onde a baía bifurca. As maiores profundidades da baía ocorrem na região central da baía entre as cidades de São Luís e Alcântara, alcançando valores de até 97 m abaixo do nível de redução (NR, CN 410).

O estado do Maranhão apresenta clima tropical megatérmico, com período chuvoso entre janeiro e julho, concentrando mais de 90% do total anual precipitado e um período seco entre agosto e dezembro, caracterizado por deficiências hídricas (RIBEIRO Jr, 2005).

Em relação ao regime dos ventos, predominam as direções de NE e E, a primeira predominante no período de setembro a março e a segunda entre abril e agosto. Segundo a escala de Beaufort, predominam os ventos classificados como moderados, de velocidade média 6 m/s que podem atingir 12.5 m/s nos períodos mais secos (UFMA, 2009).

Segundo os resultados obtidos por Pereira e Harari (1995), em condições meteorológicas típicas a circulação estuarina na baía de São Marcos é basicamente forçada pelos efeitos da maré astronômica, com a contribuição meteorológica não chegando a atingir 0.2% da circulação total, o que não é necessariamente o esperado em períodos de condições atípicas de vento e pressão no local.

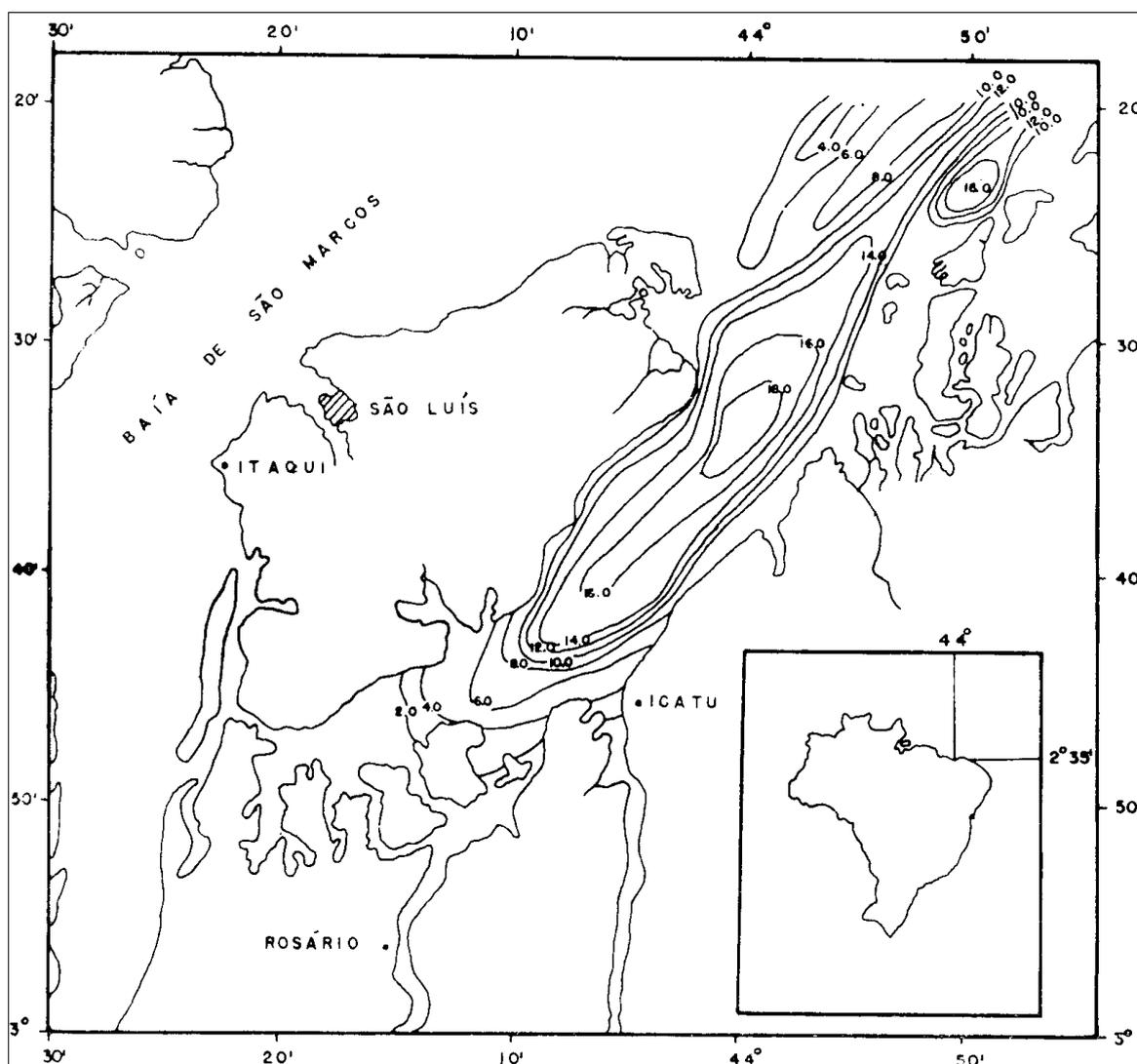


Figura 1: Batimetria da baía de São José. Fonte: Coutinho e Morais (1976).

3 METODOLOGIA

A coleta dos dados de velocidade e direção das correntes foi realizada a partir da aquisição de dados com ADCP, o qual permanece em uma posição fixa no local de coleta com o barco fundeado, as movimentações do barco devem ocorrer apenas em função do giro da popa do barco ao longo do ciclo de enchente e vazante da maré.

Nas aquisições realizadas com o barco fundeado, os dados de velocidade e direção das correntes foram medidos em 3 locais distintos (Figura 2), em amostragens realizadas com o objetivo de englobar cerca de 13h de levantamento, compreendendo um ciclo completo de maré semi-diurna (12.4h), de forma a se registrar as velocidades ao longo de ao menos um intervalo de vazante e um de enchente. Essa amostragem foi realizada

duas vezes em cada ponto, uma em período de sizígia e outra em período de quadratura. Os três pontos de fundeio foram selecionados próximos ao Porto de Itaqui.



Figura 2: Localização dos pontos de levantamento com ADCP. Em cada ponto foram realizados levantamentos correntométricos durante momentos de enchente e vazante da maré, tanto em período de sizígia quanto de quadratura.

Já nas aquisições realizadas com o ADCP em movimento, foram realizados transectos ao longo de uma linha na região marinha adjacente ao Porto de Itaqui (Figura 3:). Foram realizados levantamentos correntométricos durante os momentos de enchente e vazante da maré, tanto em período de sizígia quanto de quadratura.



Figura 3: Mapa de localização dos levantamentos com ADCP realizados na região marinha da Baía de São Marcos.

O Acoustic Doppler Current Profile (ADCP) é amplamente utilizado para medir a velocidade das correntes ao longo da coluna d'água e fundamenta-se no efeito Doppler, no qual o equipamento emite pulsos acústicos (*beams*) com frequências conhecidas a partir de quatro transdutores. A diferença entre a frequência dos sons emitidos pelos sensores e refletidos pelo plâncton, bolhas e pequenas partículas de sedimento em suspensão é proporcional à velocidade relativa entre o equipamento e essas partículas presentes na água. Como as partículas refletoras de pequena dimensão tendem a se mover junto com a água, a velocidade e a direção do escoamento ao longo da coluna d'água é determinada pela combinação dos dados dos quatro *beams* e o conhecimento da orientação relativa dos transdutores.

A velocidade registrada pelo ADCP é medida em múltiplas áreas na vertical (*bin*), sendo obtido um perfil vertical (*ensemble*) de velocidade ao longo da profundidade. Devido à interferência acústica e possíveis velocidades inválidas criadas pelo próprio ADCP, o topo e o fundo da coluna de água não podem ser medidos apropriadamente, sendo muitas vezes estimados. A espessura destas camadas não medidas depende da profundidade do ADCP na coluna de água, da frequência do ADCP e da forma como o ADCP foi programado

para a aquisição dos dados. A interferência do fundo nos dados adquiridos pelo ADCP começa em torno de 85% da profundidade para um *beam* com ângulo de 30°(FIRING; HUMMON, 2010).

Para os levantamentos realizados foi utilizado o ADCP RDI modelo WorkHorse Sentinel (600 kHz), que foi acoplado a uma estrutura (Figura 4) e fixado na lateral de uma embarcação de apoio que permaneceu ancorada ao longo de todo período de coleta de dados correntométricos. Dessa forma, o ADCP permaneceu com os sensores voltados para baixo, medindo a magnitude e direção da corrente na coluna d'água. Os dados são apresentados em intervalos de 10 min e em células de 0.5 m.

Com base nos dados correntométricos registrados é calculada a série de elevação da coluna d'água no ponto de medição (aquisições com barco fundeado), a qual é estimada com base na variação da profundidade abaixo do ADCP ao longo do levantamento. Quando não há movimentação da embarcação em relação ao fundo nem do fundo em relação à embarcação (carga de leito), a profundidade abaixo do sensor varia apenas em função da maré. No entanto, as profundidades locais são extraídas da detecção do fundo e, portanto, podem variar também em função de uma movimentação eventual da embarcação - p. ex. em função da virada da maré ou manobra de navios no porto - , da variação do leito devido ao transporte de sedimentos como carga de fundo ou ainda devido a interferência do fundo nos dados de correntes registrados (FIRING; HUMMON, 2010), eventos que resultam na variação na profundidade medida abaixo do ADCP e que não é ocasionada pela maré, resultando em uma distorção da curva de maré obtida nesse tipo de aquisição.



Figura 4: Estrutura utilizada para estabilização do ADCP.

Antes do início do levantamento, a bússola interna do ADCP foi calibrada a partir da realização de um giro completo em torno de si, de modo a compensar as interferências eletromagnéticas do ambiente próximo ao ponto de coleta de dados (Figura 5). A declinação magnética para a região de levantamento correntométrico, de $-20^{\circ}9'$, foi obtida a partir do programa GeoMag, utilizando o modelo *World Magnetic Model 2015* (WMM2015, CHULLIAT *et al.*, 2015) e considerada durante o processamento dos dados.



Figura 5: Calibração de campo realizada com os ADCPs para compensar as influências magnéticas locais.

4 RESULTADOS

4.1 FUNDEIO

Nas seções a seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir das medições realizadas nos três (3) pontos de coleta realizados com o barco fundeado ao longo de períodos em torno de 13h: PI-C1, PI-C3 e PI-C5, respectivamente. O período de levantamento realizado em cada ponto se encontra na Tabela 1 e os dados brutos e processados se encontram no APÊNDICE C. A Tabela 1 resume os períodos de levantamento realizado em cada ponto de coleta com o barco fundeado.

Tabela 1: Período de levantamento realizado em cada ponto de coleta.

Ponto	SIZÍGIA			QUADRATURA		
	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)	Início da Coleta (UTC)	Fim da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (h)
PI-C1	12/02/2021 16:17	13/02/2021 08:49	15:33	06/02/2021 22:22	07/02/2021 13:39	15:17
PI-C3	12/02/2021 15:07	13/02/2021 10:23	19:16	07/02/2021 01:32	07/02/2021 19:36	18:04
PI-C5	13/02/2021 10:04	14/02/2021 06:58	20:54	07/02/2021 15:24	08/02/2021 08:17	16:53

4.1.1 PI-C1

4.1.1.1. Sizígia

O levantamento teve início 12/08/2021 16:17 (UTC) e se estendeu até 13/02/2021 08:49 (UTC), totalizando cerca de 15:30 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1,29 m/s na região

logo abaixo da superfície, às 02:01 do dia 13, durante o meio da vazante; enquanto a mínima de 0,008 m/s foi registrada às 22:52 horas do dia 12, durante o período de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante, entre 01:00 e 04:00 horas do dia 13/02 (Figura 6), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1,2 m/s. As maiores velocidades ocorreram na região superficial da coluna de água (máximo de 1,29 m/s), reduzindo pouco no sentido do meio da coluna d'água e do fundo (máximo de 1,1 m/s), como se observa na Figura 8.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre as 19:00 e 20:00 horas do dia 12/02, onde o máximo registrado foi de aproximadamente 1 m/s, o que representa uma redução de 23% (0.3 m/s) em relação à máxima da enchente.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 8) com direções de vazante variando em torno de N e de enchente variou em torno de SSE, seguindo o alinhamento do braço de rio da Baía de São Marcos.

A partir da Figura 8 fica evidente a maior frequência das correntes de vazante no período de levantamento, estas correntes possuem direção N e ocorrem como frequência predominante na coluna d'água. Já as correntes de enchente possuem direção SSE e também podem ser observadas no gráfico.

A Tabela 2 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta PI-C1 durante o período de sizígia.

Tabela 2: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C1 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,29	0,008
Direção (° N)	359,6	0,9
Período	Vazante	Baixa-mar
Data (UTC)	13/02/2021 02:01	12/02/2021 22:52
Profundidade (m) da medida	1,7	17,7

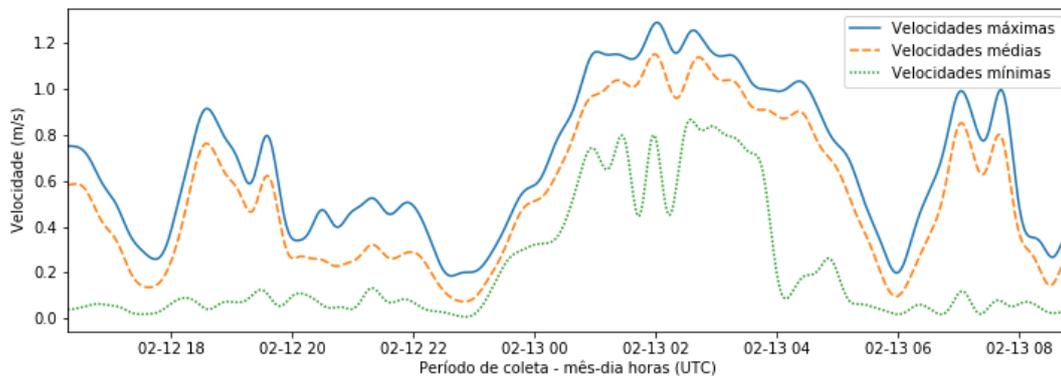


Figura 6: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1.

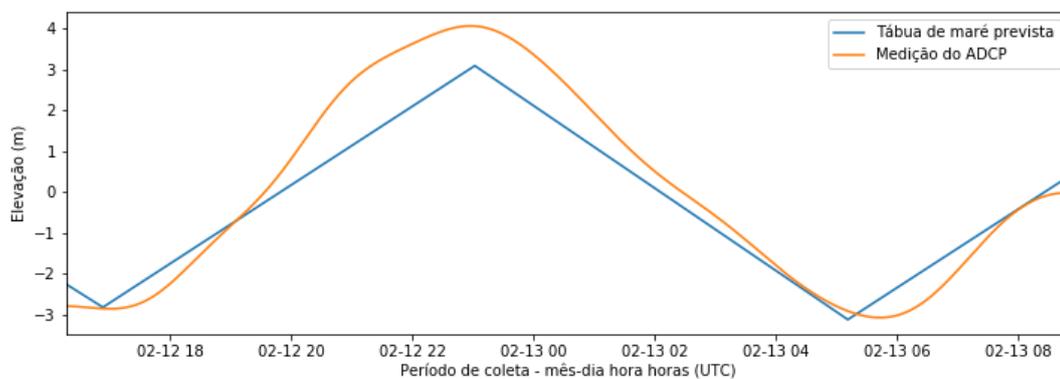


Figura 7: Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1. Em laranja o dado de elevação da coluna de água e em azul o dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

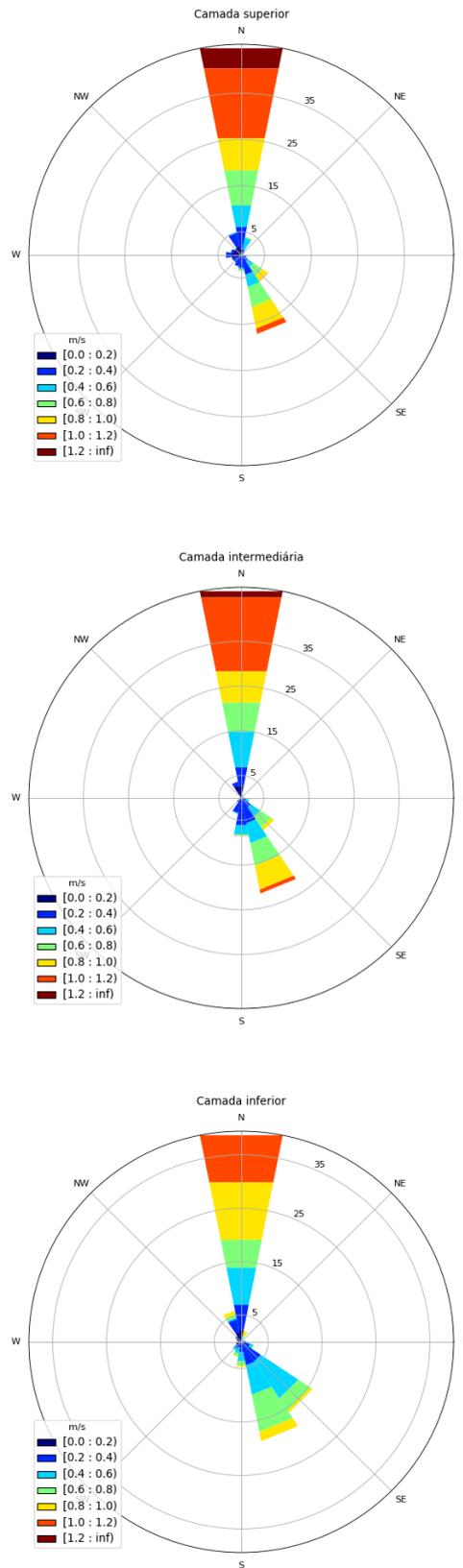


Figura 8: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C1.

4.1.1.2. Quadratura

O levantamento teve início no dia 06/02/2021 às 22:22 (UTC) e se estendeu até 07/02/2021 13:39 (UTC), totalizando aproximadamente 15,3 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1,11 m/s na região superficial da coluna d'água durante o meio da vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.0098 m/s, medida durante o estófo da preamar (Figura 12).

As maiores velocidades foram registradas durante o final da vazante, por volta das 10 horas do dia 07/02 (Figura 9, Figura 10), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 11:), com direções de vazante de N e de enchente, pouco expressiva, de SSE, seguindo o alinhamento do braço de rio da Baía de São Marcos.

Durante o período de enchente, as máximas velocidades variaram em torno de 0,8 m/s por volta das 2 horas do dia 07/02, com um máximo de 0,81 m/s (Figura 9, Figura 10).

A Tabela 3 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta PI-C1 durante o período de quadratura.

Tabela 3: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C1 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,11	0,0098
Direção	358,1	4,5
Período	Vazante	preamar
Data (UTC)	07/02/2021 09:45	07/02/2021 06:24
Profundidade (m) da medida	1,1	10,9

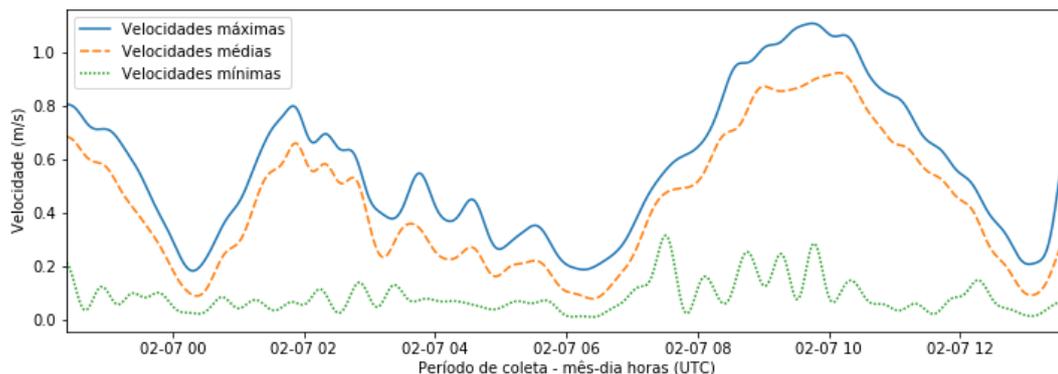


Figura 9: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1.

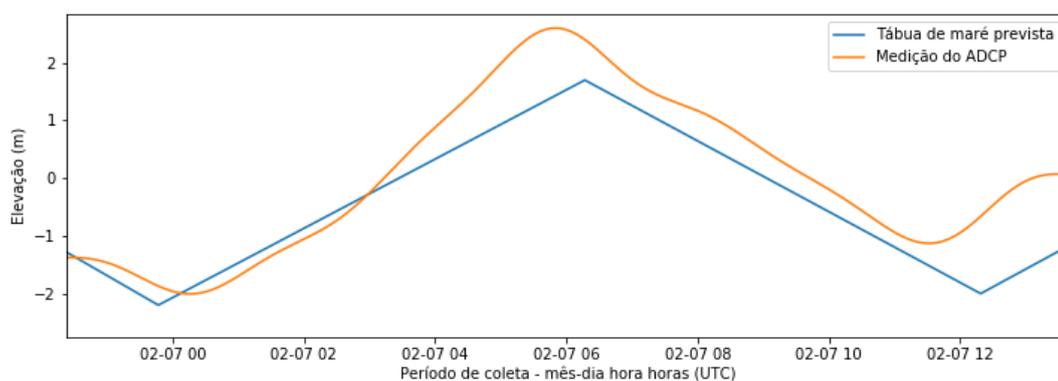


Figura 10: Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1. Em laranja o dado de elevação da coluna de água e em azul o dado de previsão de maré do DNH para o Porto do Itaqui.

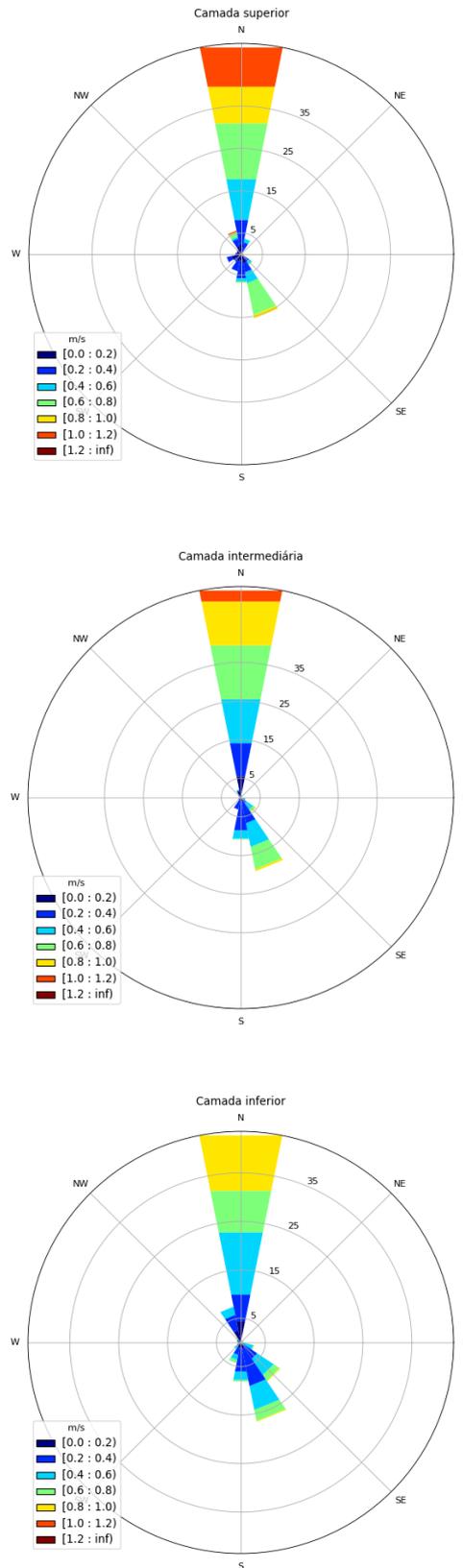


Figura 11: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C1.

4.1.1.3. Análise integrada PI-C1: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1,29 m/s e direção 359,6° (N). Na quadratura o máximo registrado foi de 1,11 m/s, registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 14 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0.18 m/s.

As máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças mais expressivas no período de sizígia, com uma diferença de 31% (0.4 m/s), já para o período de quadratura a diferença foi de 27% (0,3 m/s).

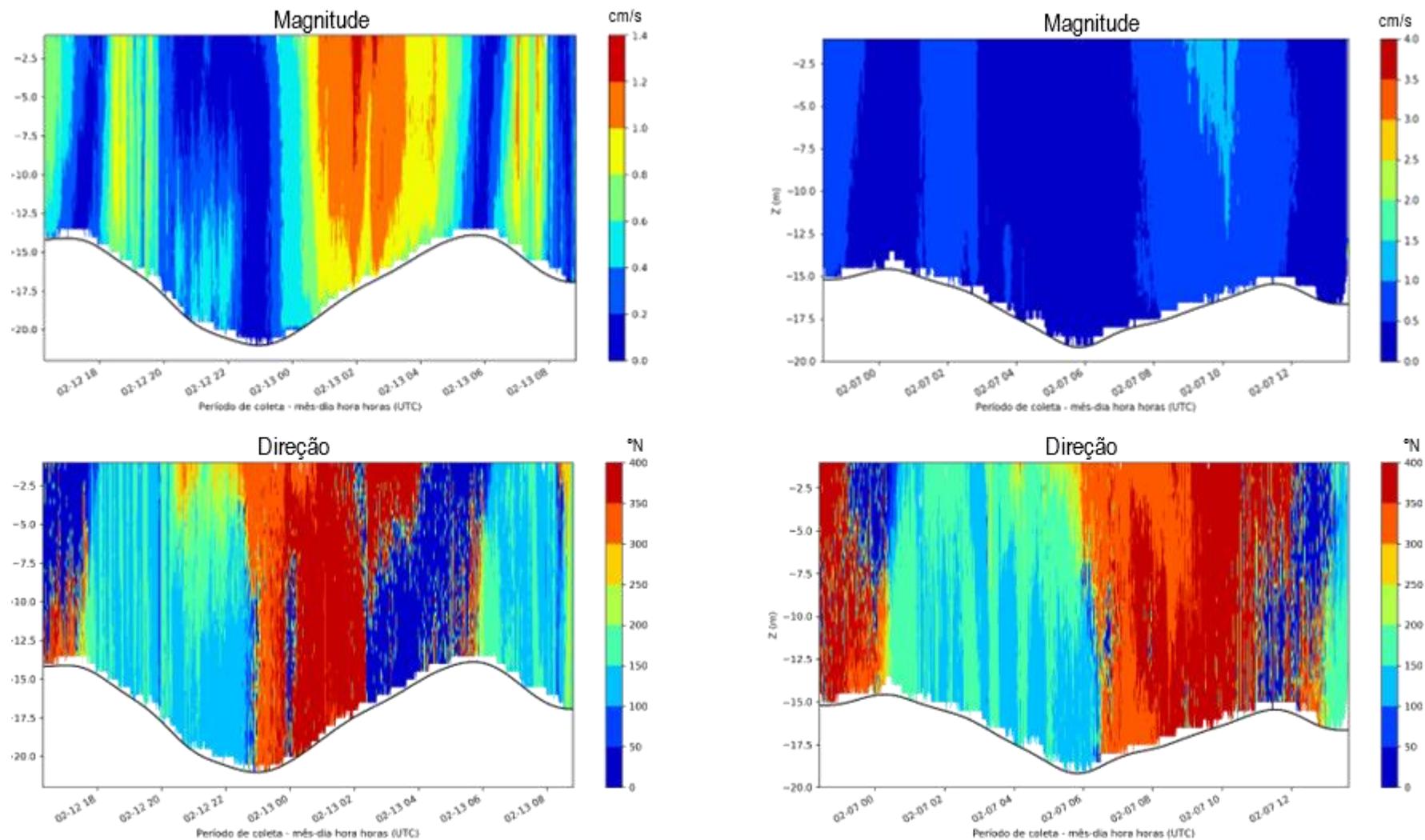


Figura 12: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de sizígia (à direita) e quadratura (à esquerda) do ADCP PI-C1.

4.1.2 PI-C3

4.1.3.1. Sizígia

O levantamento teve início às 15:07 do dia 12/02/2021 (UTC) e se estendeu até 10:23 de 13/02/2021 (UTC), totalizando cerca de 19 h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1,46 m/s na região superficial da coluna d'água, durante o meio da enchente, enquanto a mínima de 0.0001 m/s.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a enchente em torno das 08 horas do dia 13/02 (UTC) (Figura 13), quando as velocidades atingiram um pico até o máximo de 1,46 m/s. As maiores velocidades ocorreram em toda a coluna d'água, como se observa na Figura 15 e Figura 19.

Durante a vazante as maiores velocidades ocorreram entre 03 e 4 horas de 13/02 (UTC), onde o máximo registrado foi 0,62 m/s, o que representa uma redução de 57% (0,84 m/s) em relação às máximas da enchente.

O escoamento foi predominantemente unidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 15), com direções de enchente em torno de ESE.

Tabela 4: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C3 no período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,46	0,0001
Direção	102,4	75,2
Período	meio da enchente	baixa-mar
Data (UTC)	13/02/2021 07:03	13/02/2021 08:00
Profundidade (m) da medida	1,05	9,5

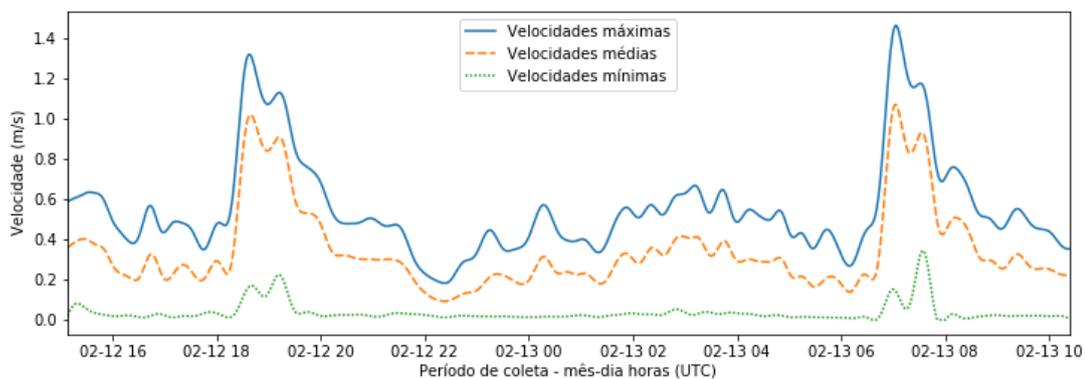


Figura 13: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.

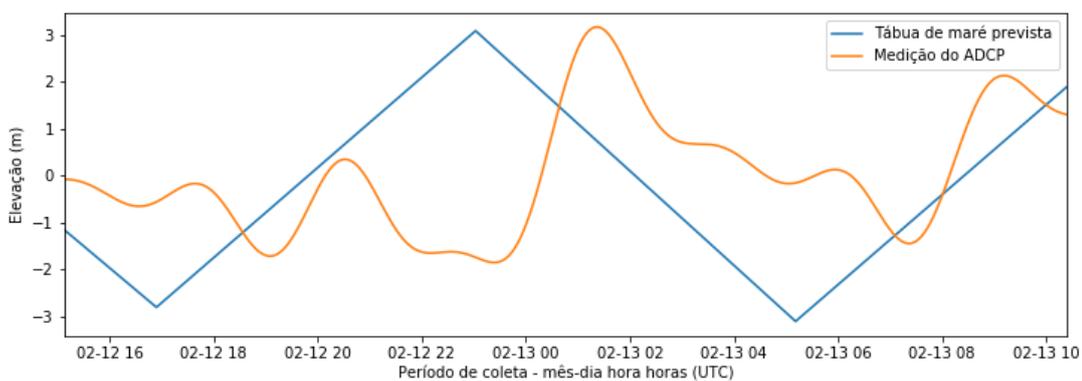


Figura 14: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

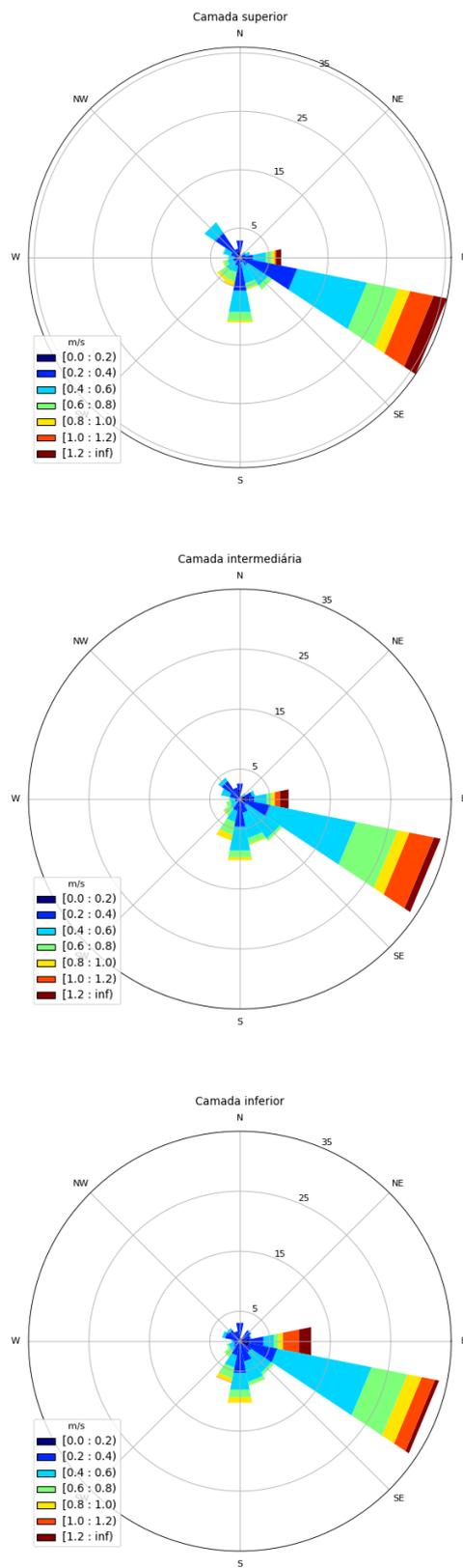


Figura 15: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.

4.1.3.2. Quadratura

O levantamento teve início no dia 07/02/2021 às 01:32 (UTC) e se estendeu até 19:36 do mesmo dia, totalizando cerca de 18 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1,26 m/s na superfície da coluna d'água durante a enchente, enquanto a mínima registrada foi de 0.0001 m/s, medida durante o estofa da preamar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período de enchente, entre as 14 e 15 horas do dia 07/02 (Figura 16), quando as velocidades alcançaram o pico de 1,26 m/s. Ao considerar os valores médios nota-se que as maiores velocidades foram constantes ao longo de toda a coluna d'água, como se observa na Figura 18.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente unidirecional (Figura 18), com direções de enchente entre E e ESE.

Ao longo do período de vazante as máximas velocidades variaram em torno de 0,4 m/s durante todo o período, com um máximo de 0,5 m/s (Figura 16), o que representa uma redução de 60 % em relação ao máximo registrado na enchente. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a enchente.

A Tabela 5 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de PI-C3 durante o período de quadratura.

Tabela 5: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C3 durante o período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,26	0,0001
Direção	336,1	187,0
Período	enchente	preamar
Data (UTC)	07/02/2021 14:43	07/02/2021 13:57
Profundidade (m) da medida	1,05	6,5

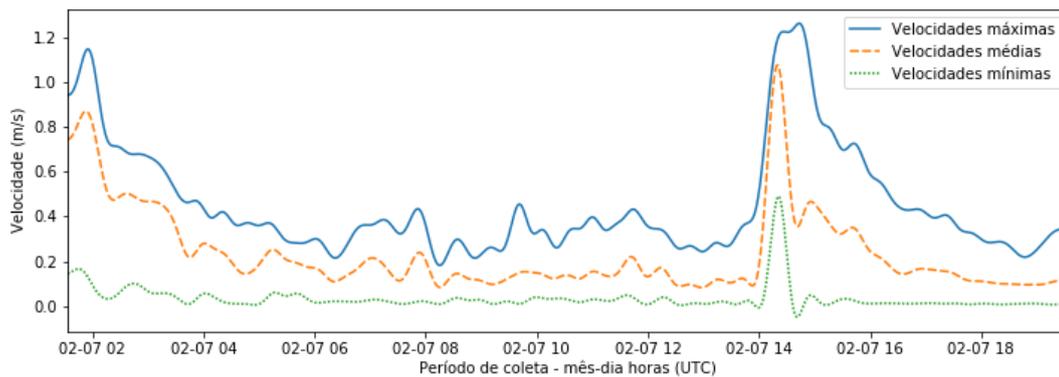


Figura 16: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.

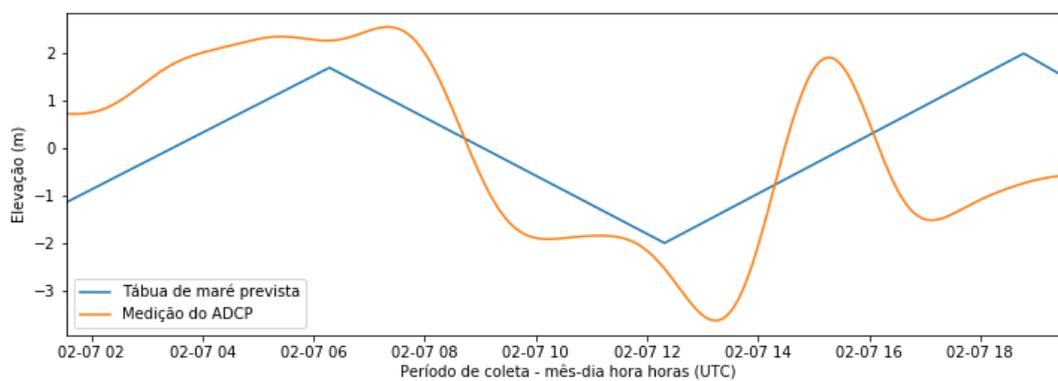


Figura 17: Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.

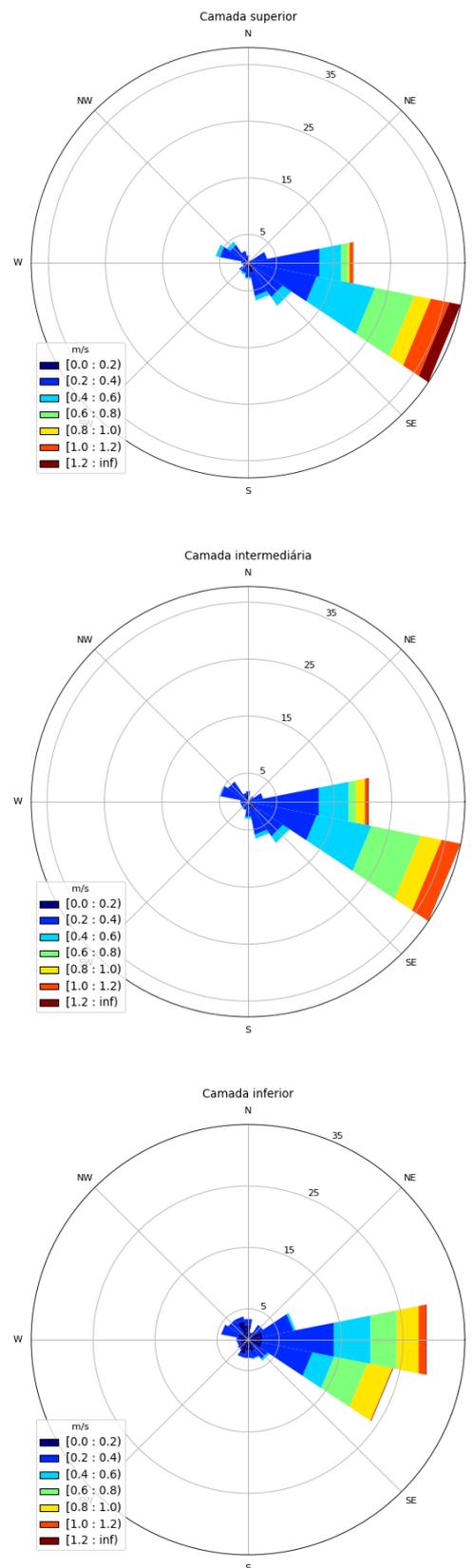


Figura 18: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C3.

4.1.3.3. Análise integrada PI-C3: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a enchente de sizígia, com um valor máximo de 1.43 m/s e direção 287.5° (N). Na quadratura o máximo registrado foi 0.78 m/s, também registrado durante a enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução branda de 45 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0.52 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças em torno de 20%, com a maior diferença observada na quadratura, de 23 % (0.3 m/s), enquanto na sizígia foi de 20 % (0.14 m/s).

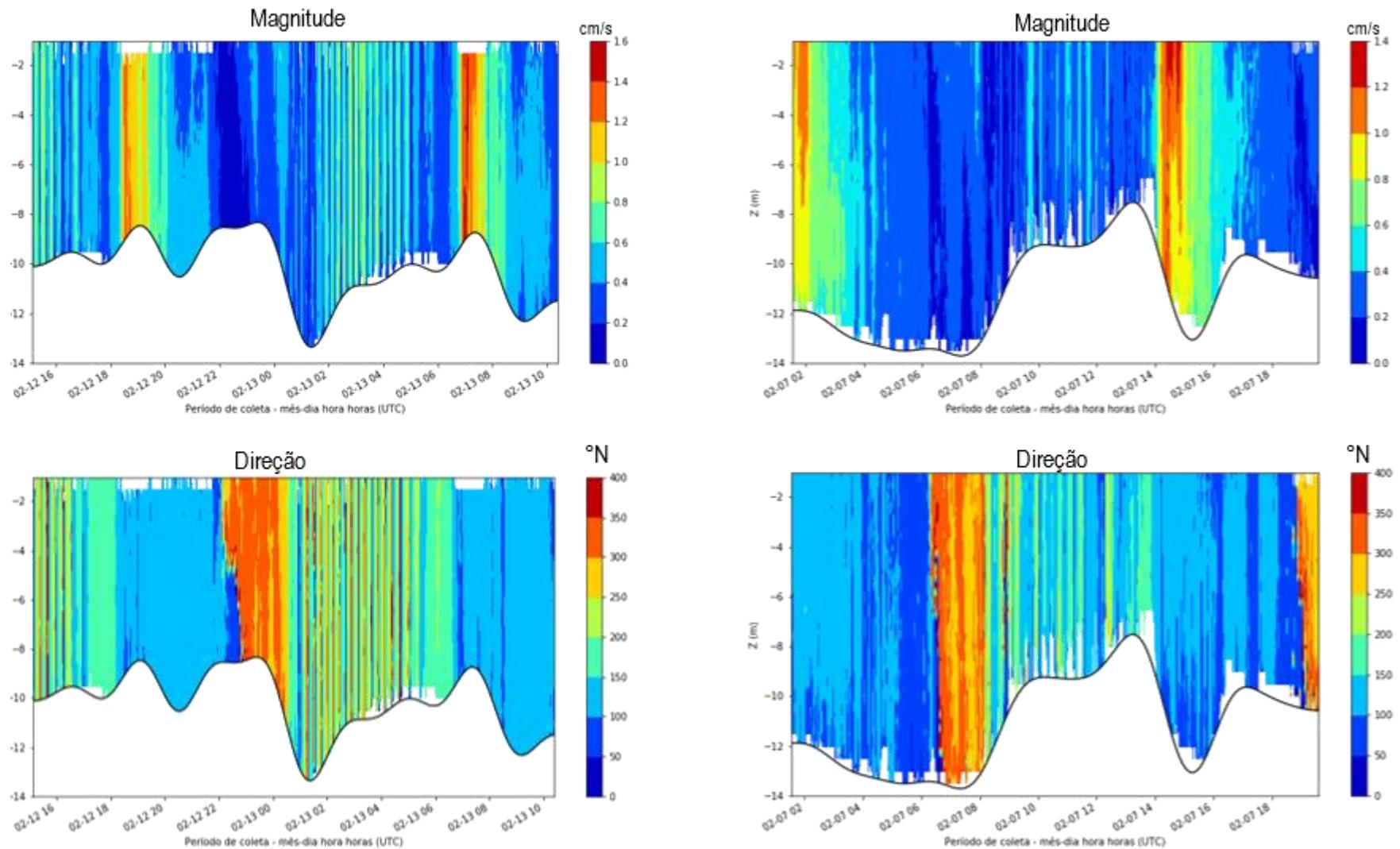


Figura 19: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de sizígia (à esquerda) e quadratura (à direita) do ADCP PI-C3.

4.1.3 PI-C5

4.1.3.1. Sizígia

O levantamento teve início no dia 13/02/2021 às 10:04 (UTC) e se estendeu até 14/02/2021 06:58, totalizando cerca de 20 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1,49 m/s na região próxima à superfície da coluna d'água, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0,0020 m/s foi registrada durante o estofo de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante, por volta das 15 horas do dia 13/12 e das 03 horas do dia 14/02 (Figura 20), quando as velocidades variaram próximo de 1,4 m/s. As maiores velocidades ocorreram em praticamente toda a coluna de água (máximo de 1,49 m/s), reduzindo pouco próximo ao fundo (máximo de 1,2 m/s) Figura 22 e Figura 25.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram por volta das 21 horas do dia 13/02, onde o máximo registrado foi 0,61 m/s, o que representa uma redução de 40% (0,88 m/s) em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente unidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 22), com direções predominante de NW.

Tabela 6: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PI-C5 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,49	0,002
Direção	316,7	11,6
Período	meio da vazante	baixa-mar
Data (UTC)	13/02/2021 15:14	13/02/2021 17:53
Profundidade (m) da medida	1,1	17,1

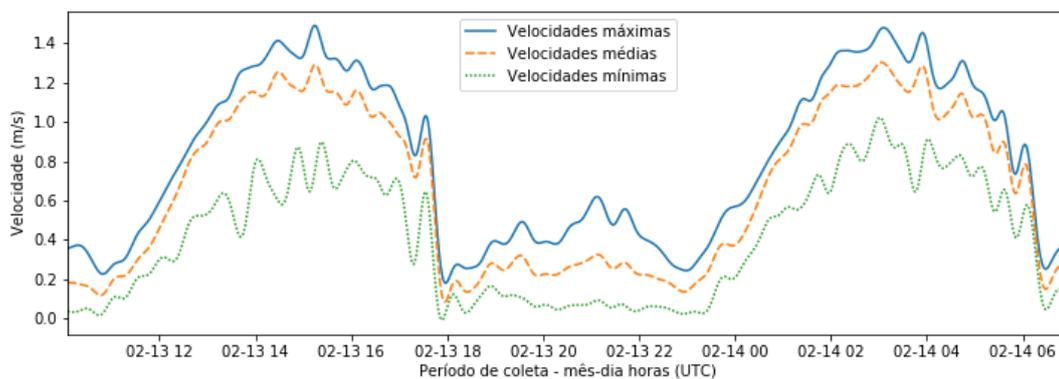


Figura 20: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP PI-C5.

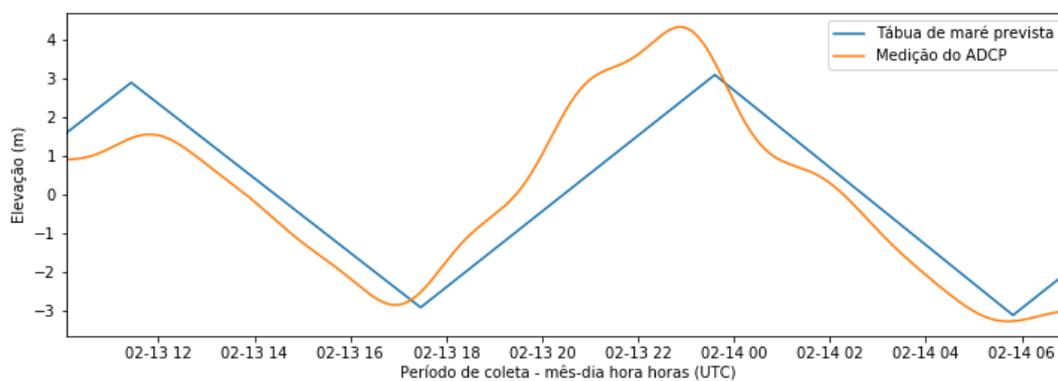


Figura 21: Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C5.

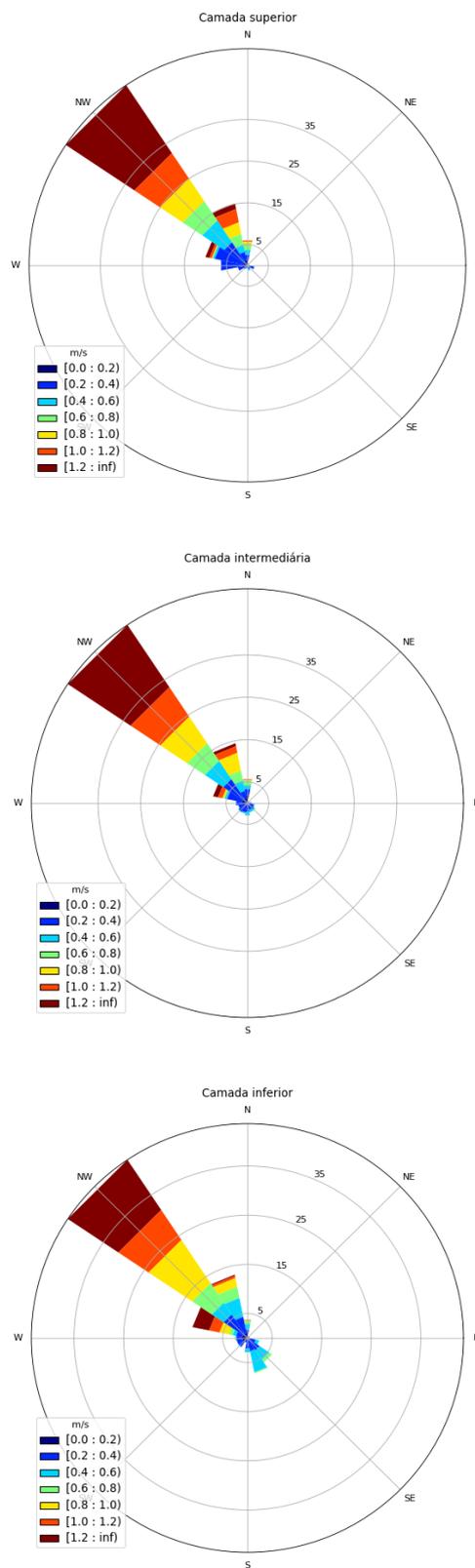


Figura 22: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP PI-C5.

4.1.3.2. Quadratura

O levantamento teve início no dia 07/02/2021 às 15:24 (UTC) e se estendeu até 08/02/2021 às 08:17, totalizando quase 17 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1,38 m/s na região superficial da coluna d'água, durante a vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.001 m/s, medida próximo ao fundo durante a baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre as 22 e 23 horas do dia 07/02 (Figura 23), quando as velocidades variaram em torno de 1,2 m/s. A intensidade das correntes teve o pico na superfície da coluna de água e reduziu em direção ao fundo, como se observa na Figura 25.

Na superfície da coluna d'água o escoamento foi predominantemente unidirecional (Figura 25), com direções de vazante de NW. Do meio da coluna d'água para o fundo o escoamento de enchente se torna mais evidente, com direções de SSO.

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 0,4 m/s durante todo o período, com um máximo de 0,52 m/s (Figura 23), o que representa uma redução de 37 % (0,86 m/s) em relação ao máximo registrado na vazante. Assim como o observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a vazante.

A Tabela 7 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta PI-C5 durante o período de quadratura.

Tabela 7: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP PI-C5 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,38	0,0005
Direção	313,1	26,2
Período	vazante	baixa-mar
Data (UTC)	07/02/2021 22:20	08/02/2021 01:56
Profundidade (m) da medida	1,05	25,0

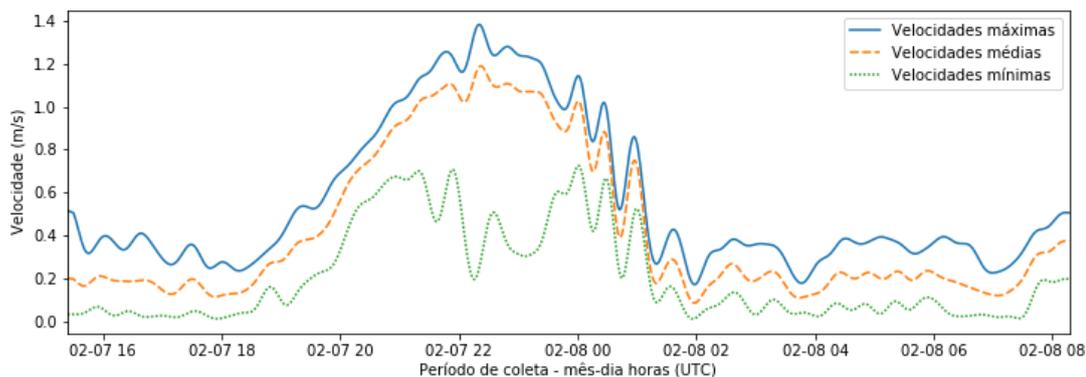


Figura 23: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP PI-C5

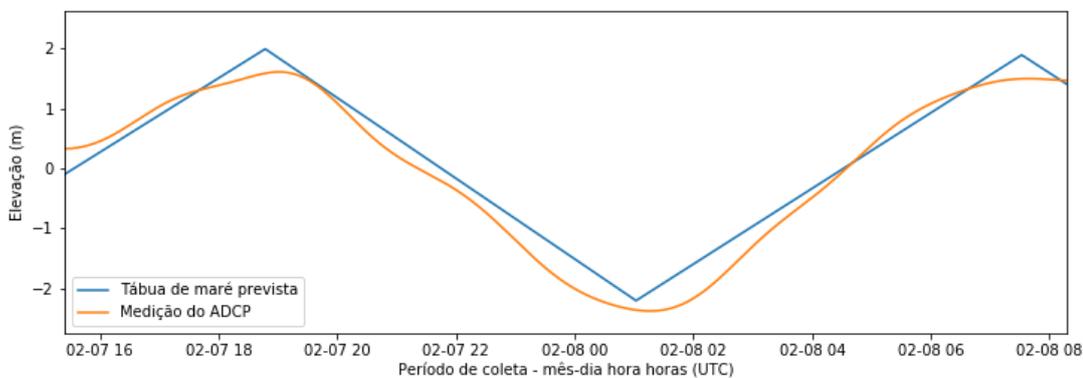


Figura 24 Variação da elevação da coluna d'água em torno da média ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C5.

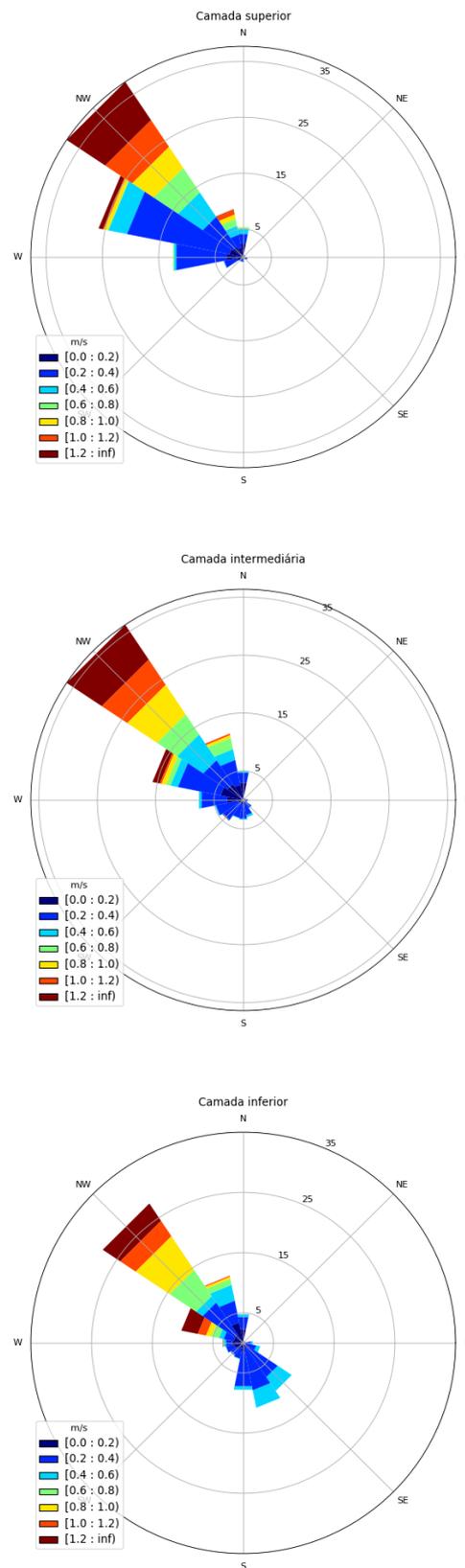


Figura 25: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP PI-C5.

4.1.3.3. Análise integrada PI-C5: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1,49 m/s e direção 316,7 (NO). Na quadratura o máximo registrado foi de 1,38 m/s, também registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 7 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0,11 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, redução de 37 % e 40 %, respectivamente.

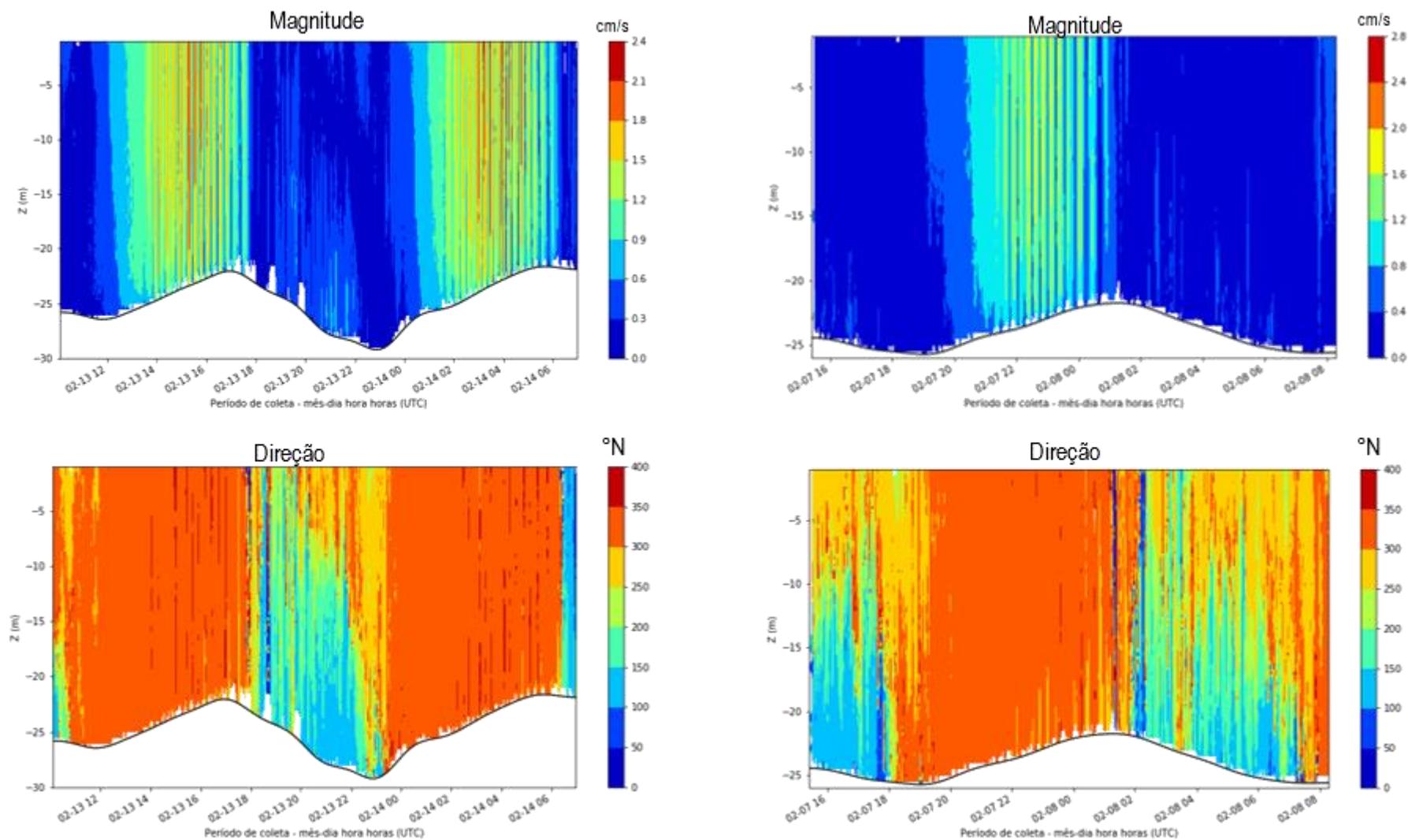


Figura 26: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de sizígia (à esquerda) e quadratura (à direita) do ADCP PI-C5.

4.2 TRANSECTOS

Nas seções seguintes serão apresentados os perfis referentes ao transecto realizado com o objetivo principal de identificar padrões do campo horizontal de correntes, como se observa nos mapas presentes em cada uma dessas seções.

4.2.1 Sizígia: vazante

Os intervalos de aquisição ao longo dos levantamentos, em cada linha, de enchente e vazante da maré no período de sizígia são identificados na Tabela 8.

Dentre os transectos realizados a maior velocidade registrada nas proximidades do Porto de Itaqui foi de 1,78 m/s, o qual ocorre no meio da linha (Figura 28). Nas seções transversais e nos mapas com os vetores de velocidade integrados na vertical observa-se que as maiores velocidades ocorrem do meio para oeste da linha. Além disso, durante alguns transectos observa-se correntes com direção de enchente e vazante o que indica a formação de vórtices.

Tabela 8: Intervalos de aquisição de dados de corrente nos transectos realizados em período de maré de sizígia.

SIZÍGIA							
Transecto	Instante da Maré	Período da Maré	Início da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (min)	Velocidade (m/s)		
					Mín.	Máx.	Média
Porto de Itaqui	Estofo	Baixa-mar	13/02/2021 17:28	54	0,31	1,30	0,80
	Enchente	Baixa-mar +1 h	13/02/2021 19:02	6	0,25	0,73	0,49
	Enchente	Baixa-mar + 2 h	13/02/2021 20:18	9	0,12	0,47	0,30
	Enchente	Baixa-mar + 3 h	13/02/2021 21:36	10	0,01	0,28	0,15
	Estofo	Preamar	13/02/2021 23:03	60	0,06	0,54	0,30
	Vazante	Preamar + 1 h	14/02/2021 01:06	7	0,01	1,09	0,55
	Vazante	Preamar + 2 h	14/02/2021 02:13	8	0,26	1,57	0,96
	Vazante	Preamar + 3 h	14/02/2021 03:23	20	0,09	1,77	0,93
	Vazante	Preamar + 4 h	14/02/2021 04:27	27	0,12	1,78	0,95
	Estofo	Baixa-mar	14/02/2021 05:21	55	0,09	1,11	0,60

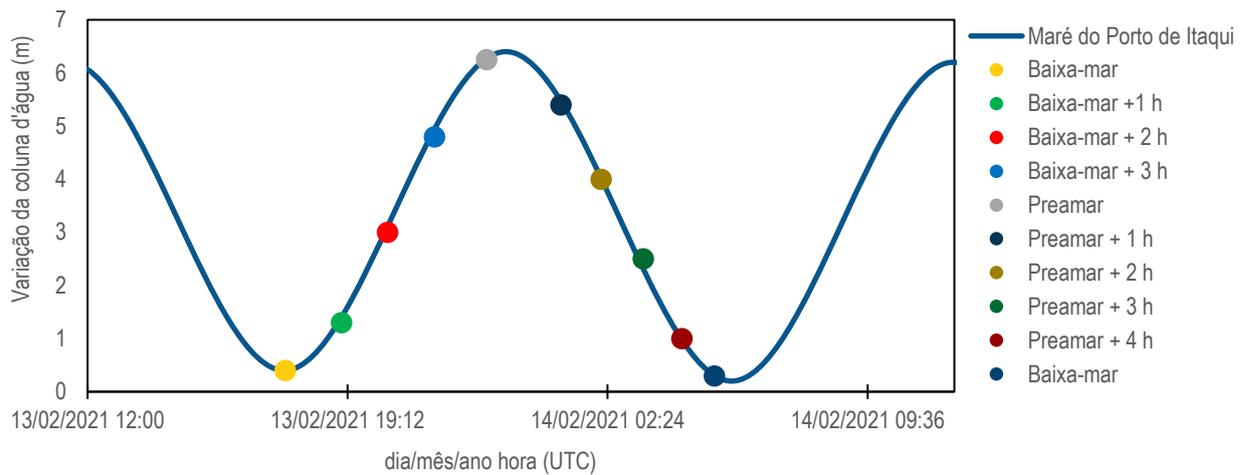


Figura 27: Identificação dos intervalos de aquisição de dados de corrente nos transectos realizados na curva de maré do Porto de Itaqui fornecido pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM-BNDO).

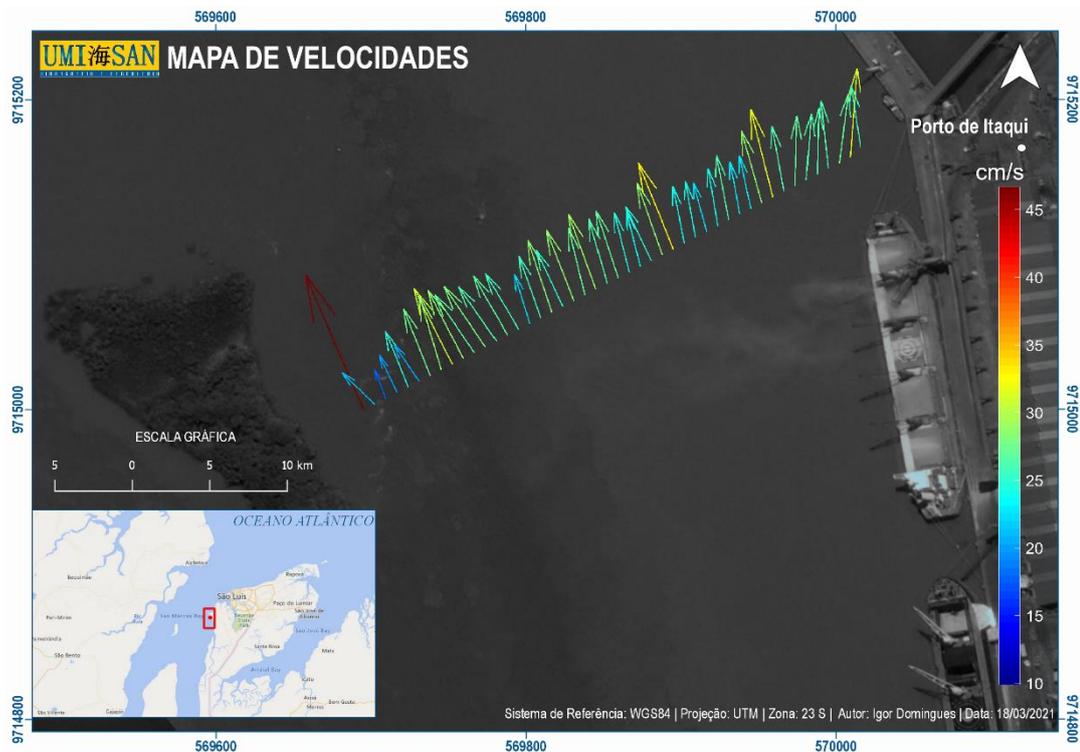


Figura 28: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia instantânea de estófo da preamar.

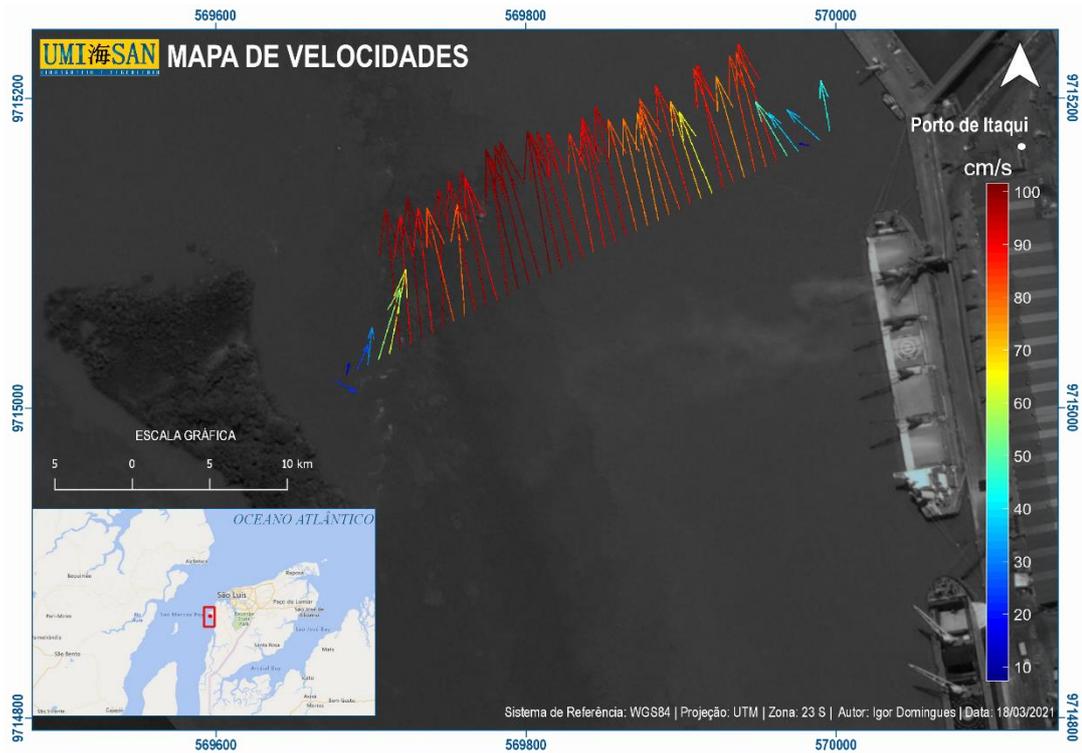


Figura 29: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia 1 hora depois do instante de preamar.

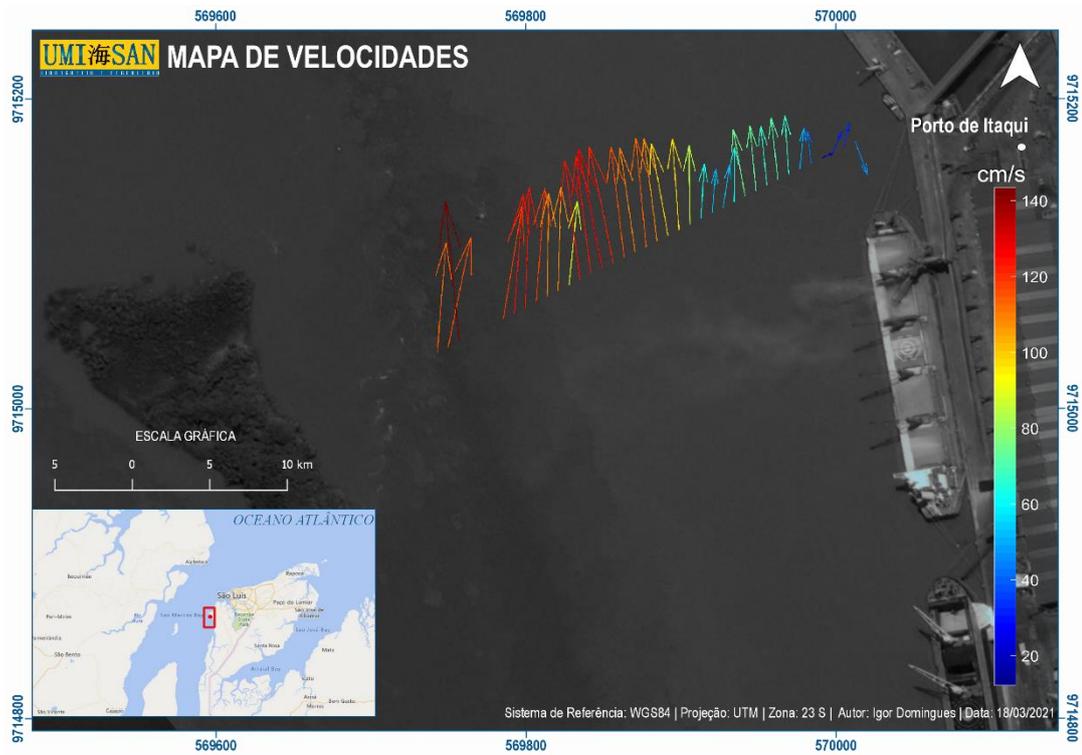


Figura 30: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia 2 horas depois do instante de preamar.

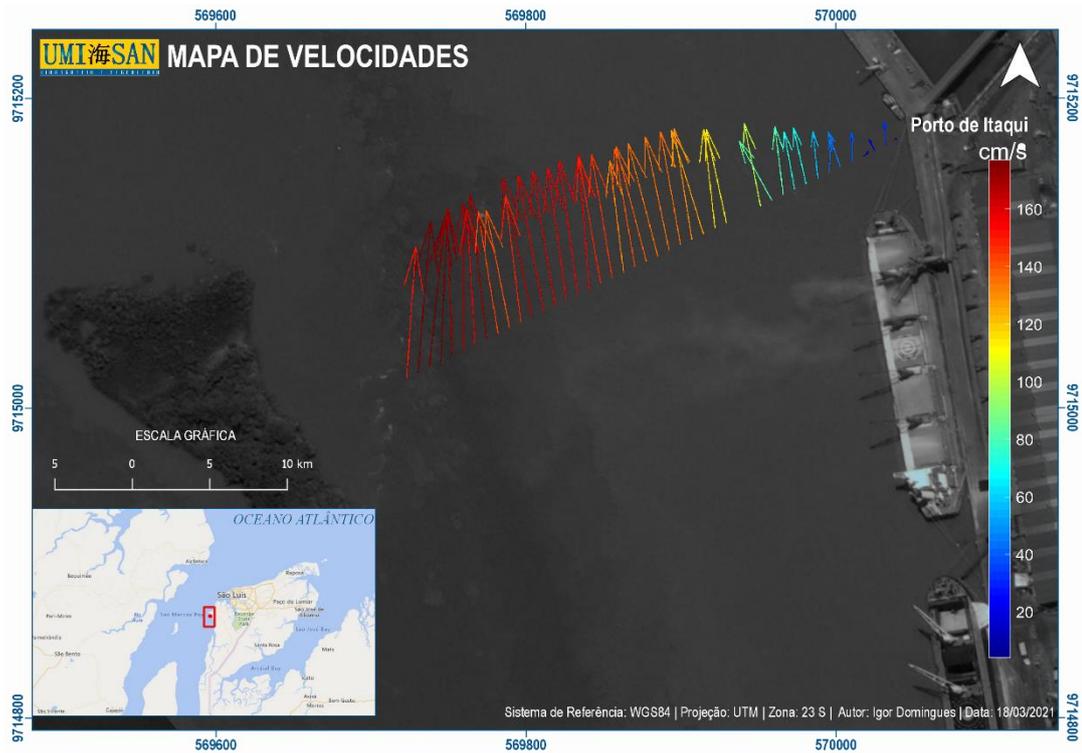


Figura 31: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 3 horas do instante de preamar

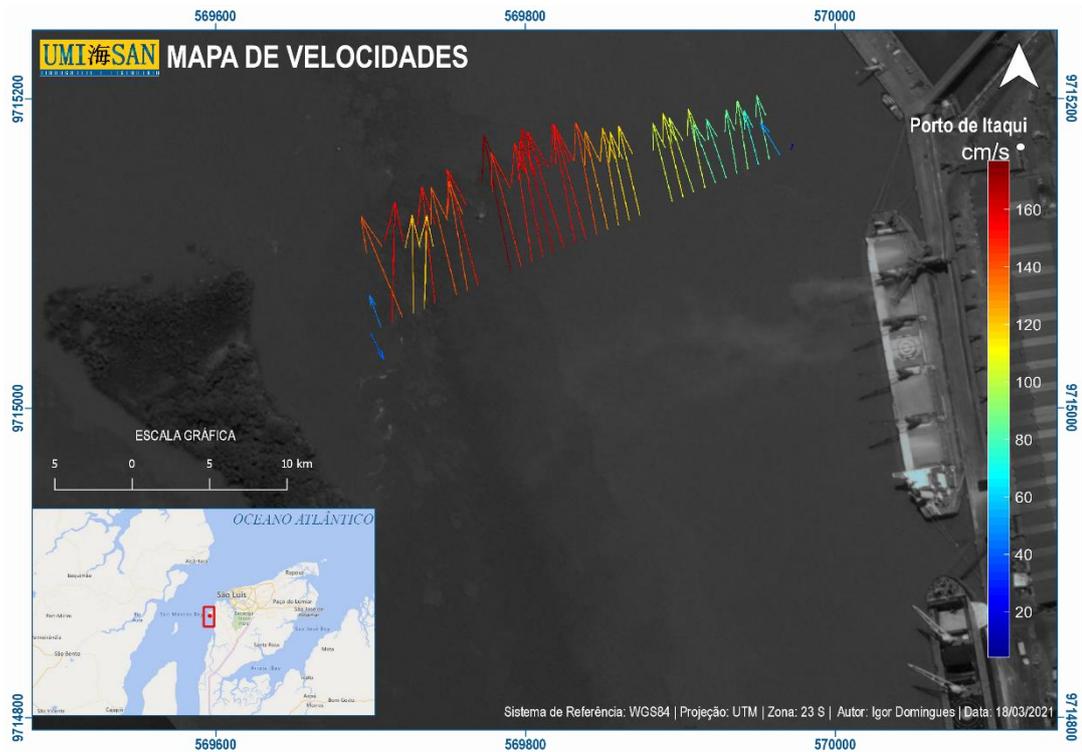


Figura 32 : Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 4 horas do instante de preamar.

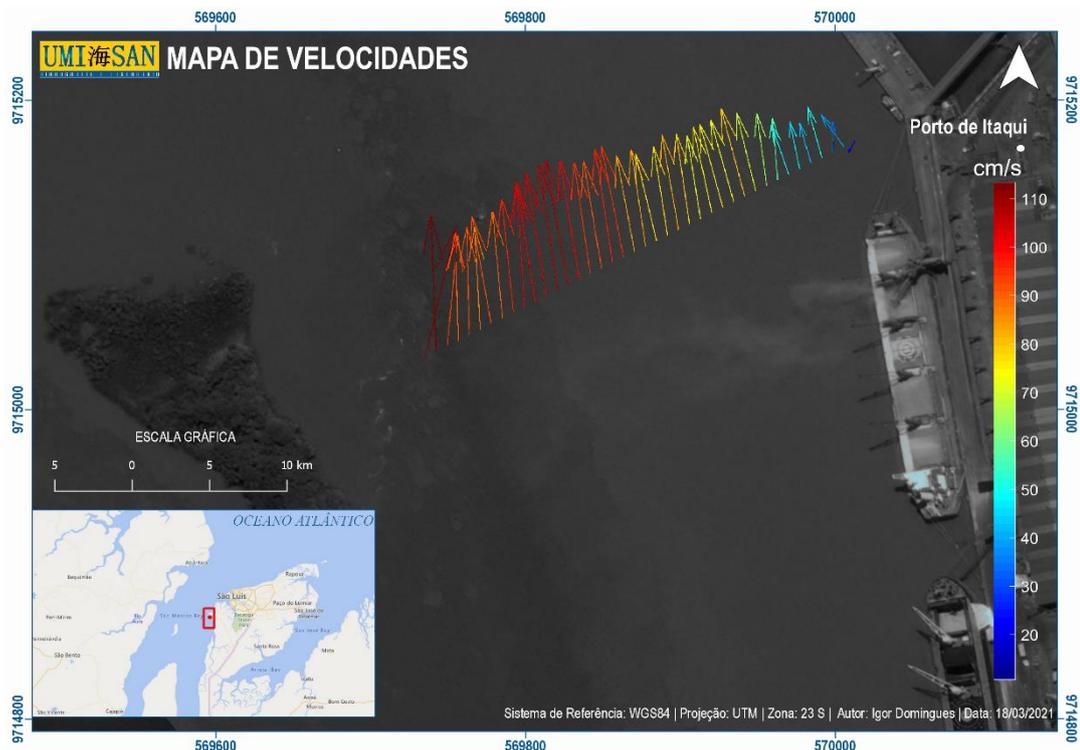


Figura 33 : Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia no instante de baixa-mar.

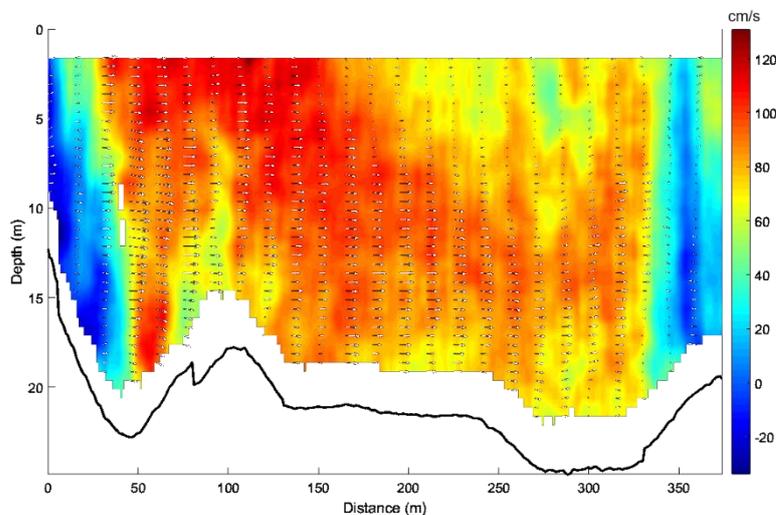


Figura 34: Magnitude das correntes medidas no transecto em período de sizígia durante a vazante de maré do dia 13 e 14/02/2021. Os vetores representam a componente da velocidade perpendicular ao escoamento principal.

4.2.2 Sizígia: enchente

Os intervalos de aquisição ao longo dos levantamentos, em cada linha, desse período são identificados na Tabela 8.

Dentre os transectos levantados a maior velocidade registrada foi de 1,3 m/s, o qual ocorre no final do estofo de baixa-mar.

Durante os instantes de vazante, e sem considerar o estofo da maré, a velocidade média ao longo do transecto foi de aproximadamente 0,85 m/s, já para os instantes de enchente a velocidade média foi de aproximadamente 0,31 m/s, indicando que as correntes de maré de enchente são mais afetadas pelos efeitos da baixa profundidade da região e da dinâmica hídrica. Nos transectos com maior magnitude de velocidade as seções transversais demonstram maiores índices de velocidade do meio para oeste das linhas.

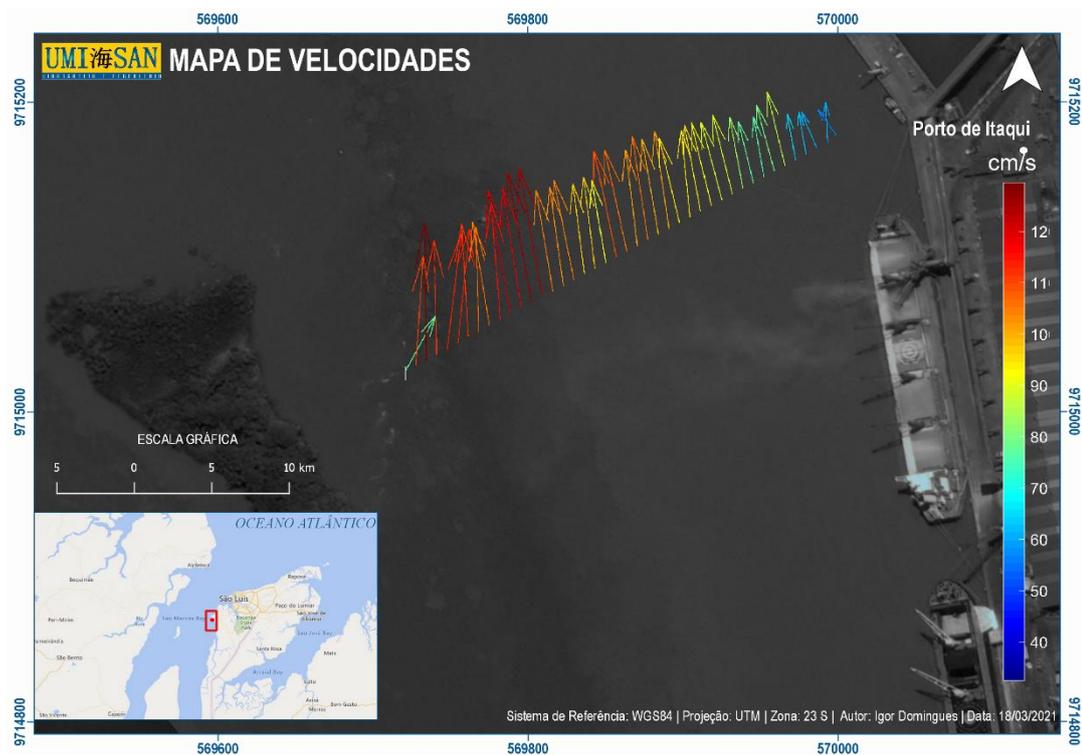


Figura 35: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia durante o instante de baixa-mar no dia 13/02/2021.

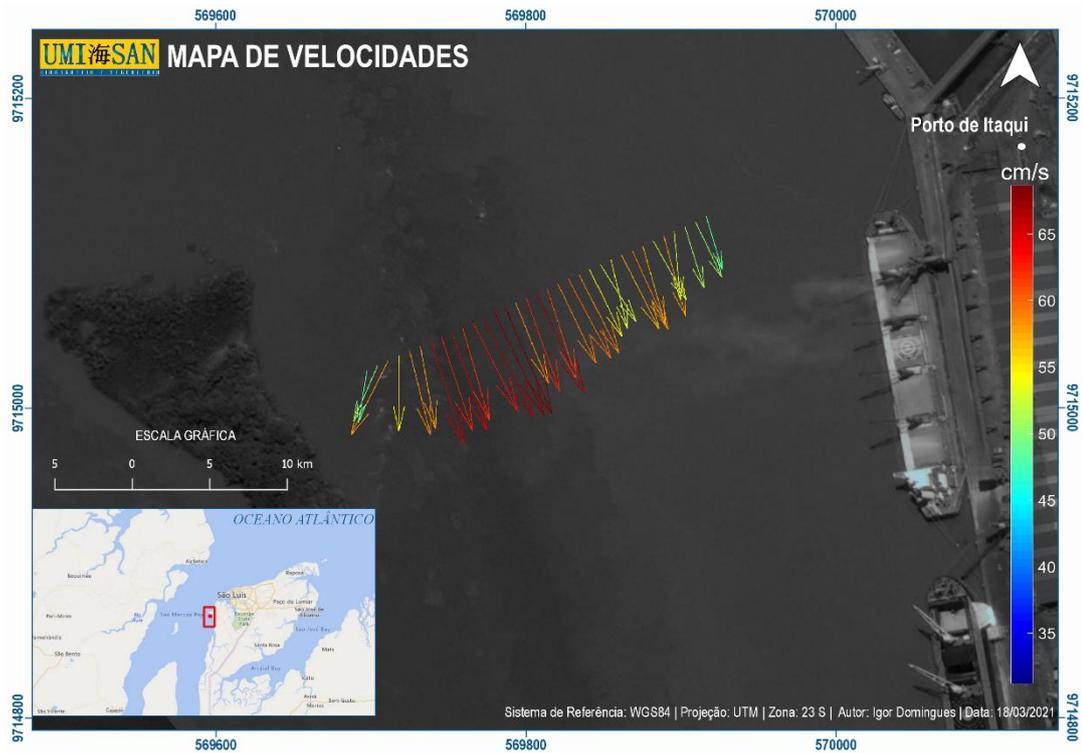


Figura 36: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 1 hora do instante de baixa-mar.

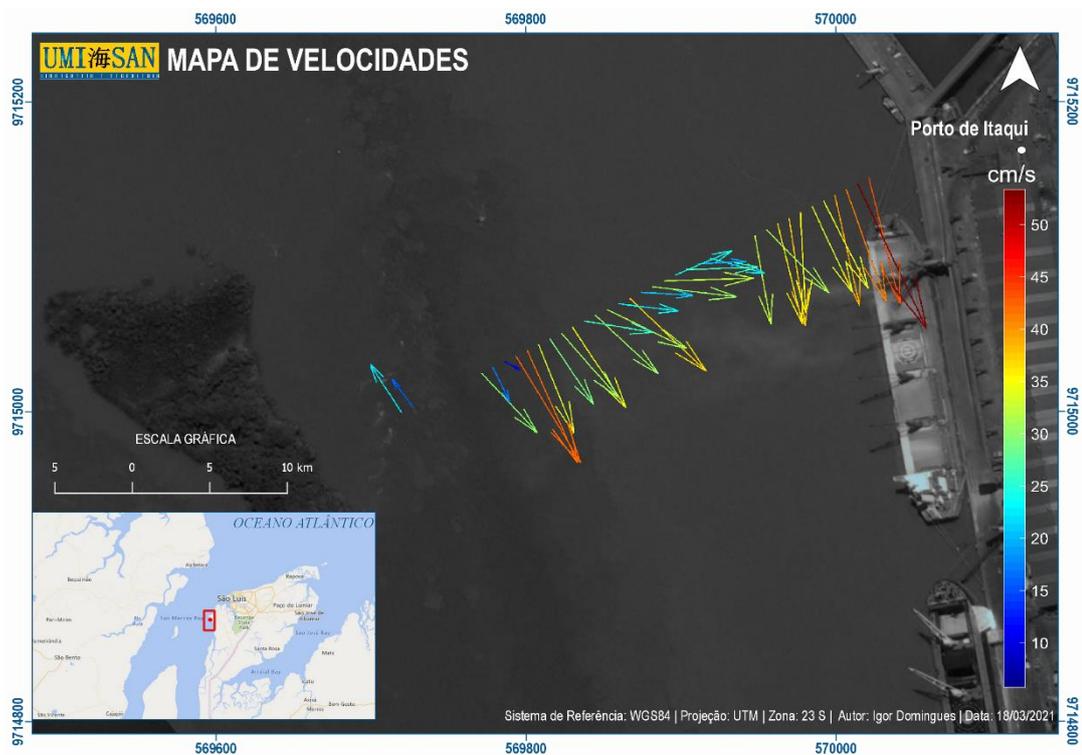


Figura 37: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 2 horas do instante de baixa-mar.

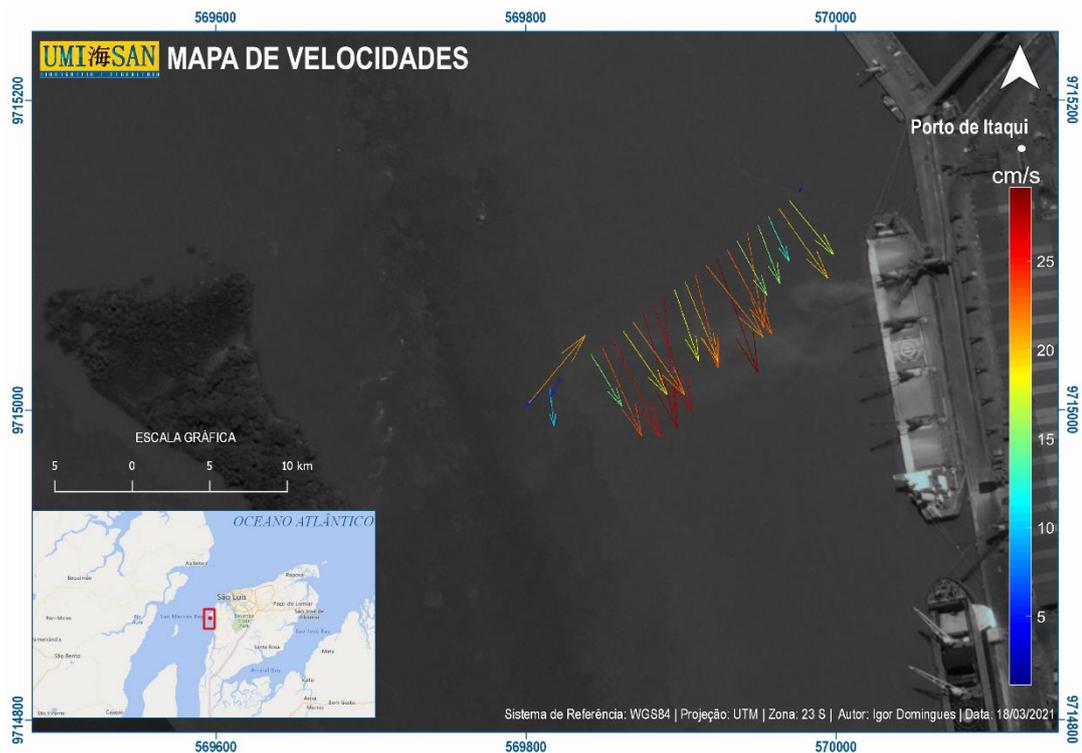


Figura 38: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de sizígia após 3 horas do instante de baixa-mar.

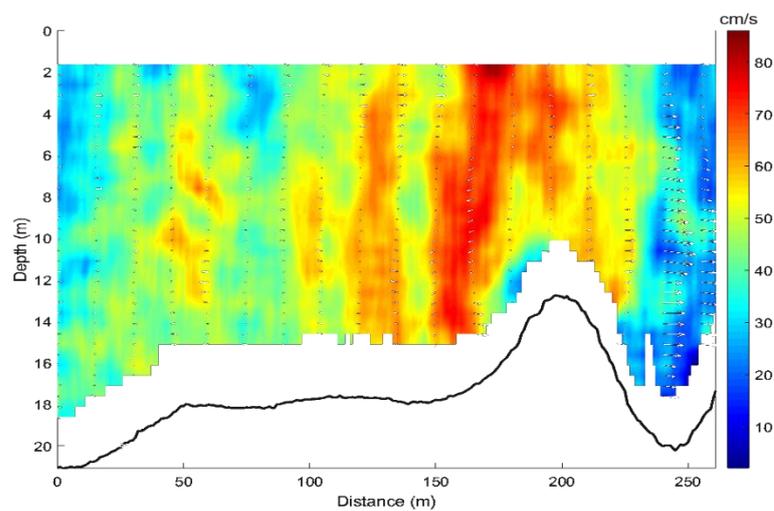


Figura 39: Magnitude das correntes medidas no transecto em período de sizígia durante a enchente da maré no dia 13/02/2021. A origem da transecto (0 m) se encontra em sua margem oeste. Os vetores representam a componente da velocidade perpendicular ao escoamento principal.

4.2.3 Quadratura: vazante

Os intervalos de aquisição ao longo dos levantamentos, em cada linha, de enchente e vazante da maré no período de quadratura são identificados na Tabela 9.

Dentre os transectos levantados a maior velocidade registrada foi de 2,38 m/s, o qual ocorre no meio da linha. Nota-se que de maneira geral as velocidades de corrente são superiores do meio para o limite mais a oeste da linha, como pode ser visto nas figuras com as seções transversais de cada transecto (Figura 46).

Observa-se durante o estofa da preamar nos transectos amostrados correntes com sentido de enchente e vazante, indicando a formação de vórtices na região, como também foi evidenciado durante o estofa da preamar na sizígia (Figura 40).

Tabela 9: Intervalos de aquisição de dados de corrente nos transectos realizados em período de maré de quadratura.

QUADRATURA							
Transecto	Instante da Maré	Período da Maré	Início da Coleta (UTC)	Tempo de Coleta (min)	Velocidade (m/s)		
					Mín.	Máx.	Média
Porto de Itaqui	Estofa	Preamar	08/02/2021 06:54	61	0,02	0,15	0,09
	Vazante	Preamar + 1 h	08/02/2021 09:00	8	0,18	1,06	0,62
	Vazante	Preamar + 2 h	08/02/2021 10:07	5	0,06	1,31	0,86
	Vazante	Preamar + 3 h	08/02/2021 11:12	7	0,08	1,79	0,94
	Vazante	Preamar + 4 h	08/02/2021 12:23	4	0,07	1,46	0,77
	Estofa	Baixa-mar	08/02/2021 13:09	55	0,04	2,38	1,21
	Estofa	Preamar	08/02/2021 18:05	61	0,03	0,46	0,25

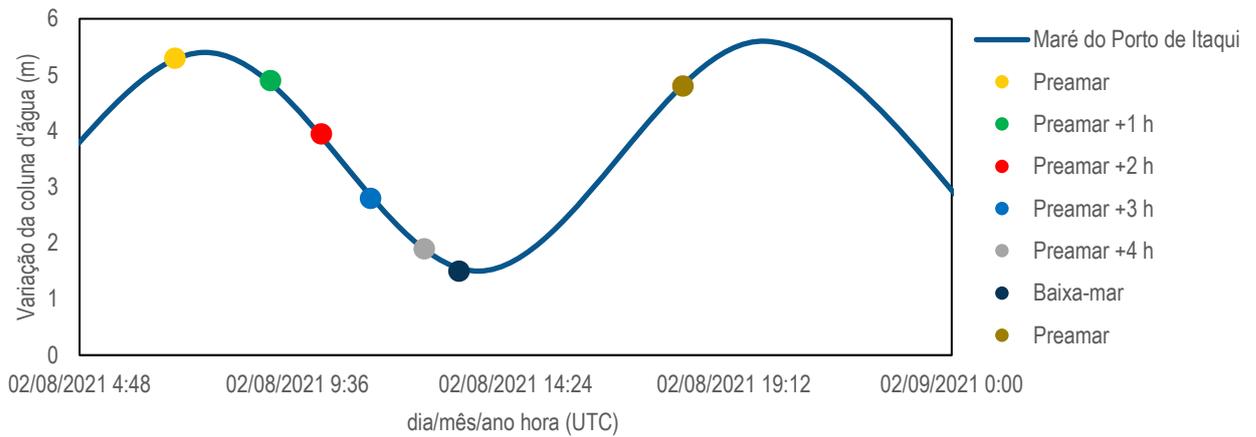


Figura 40: Identificação dos intervalos de aquisição de dados de corrente nos transectos realizados em período de maré de quadratura, na curva de maré medida no Porto de Itaqui.

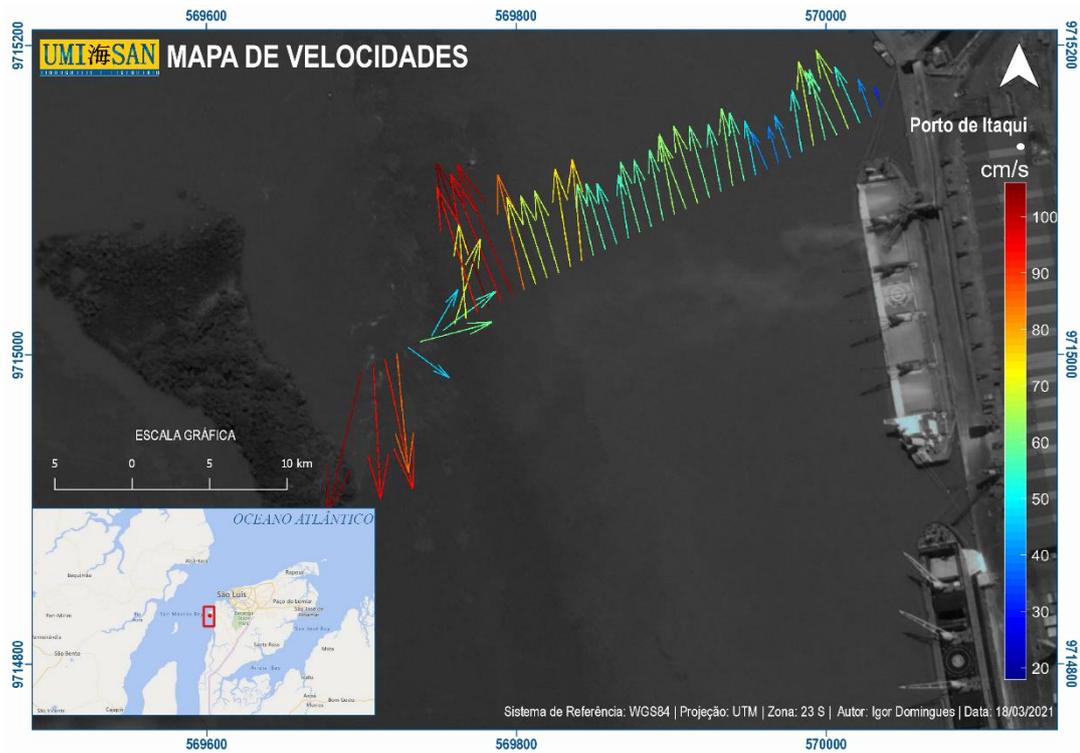


Figura 41: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura durante o instante de preamar.

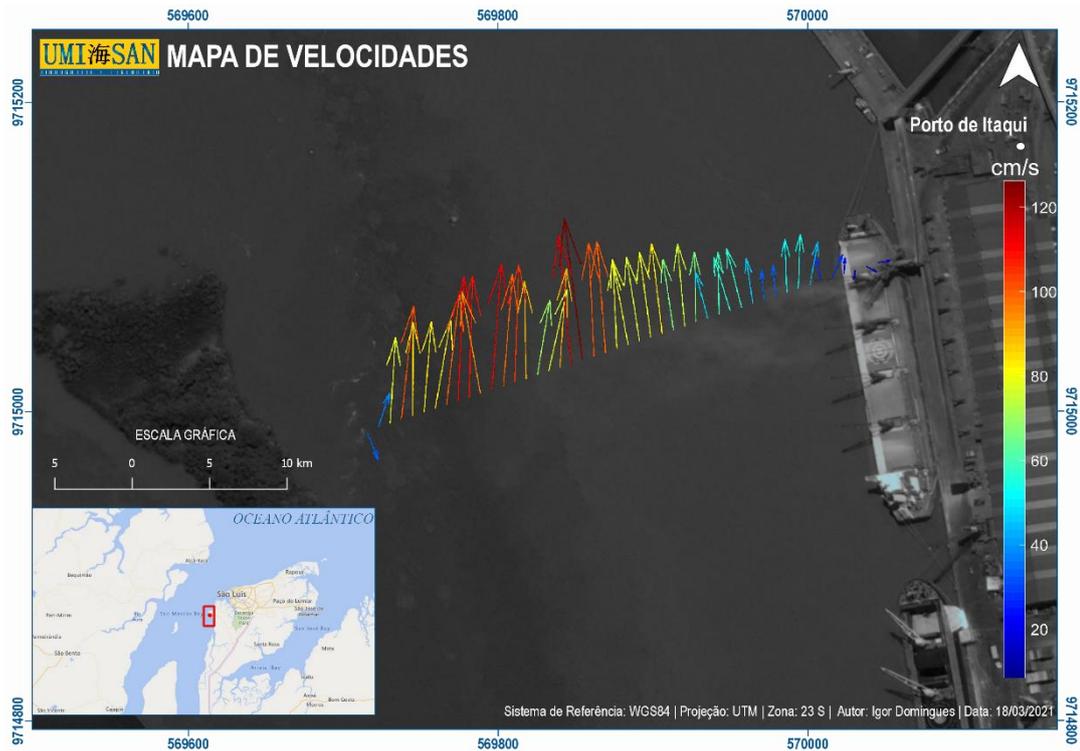


Figura 42: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura após 1h e 00min do instante de preamar.

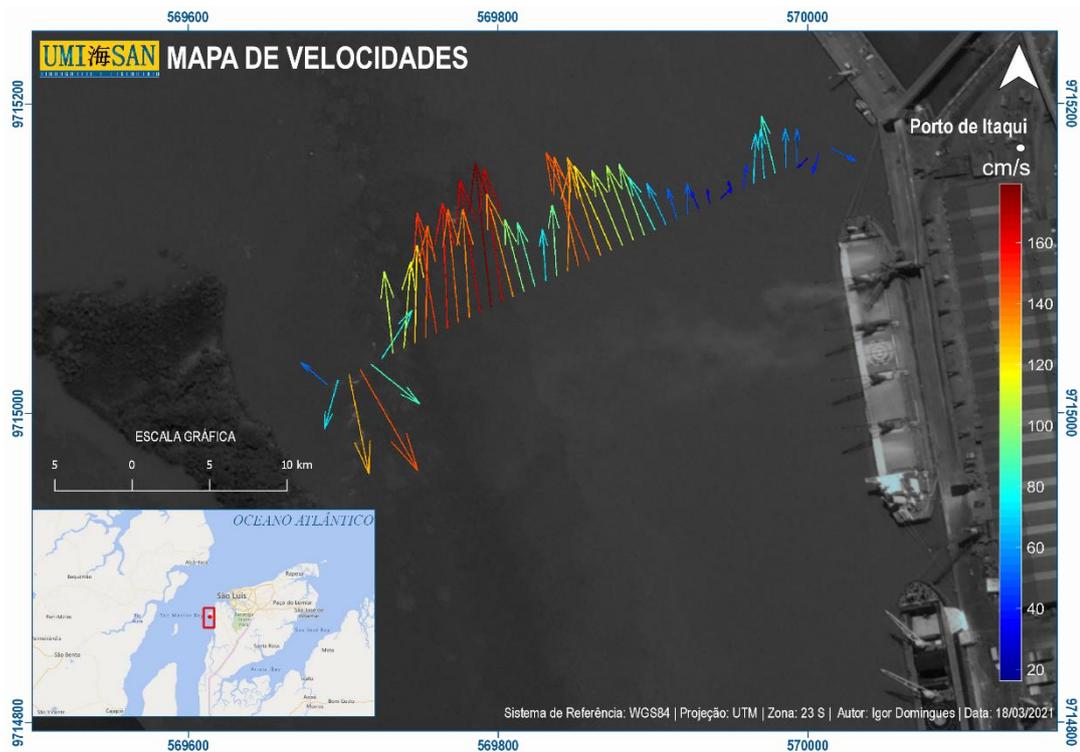


Figura 43: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura após 2h e 00min do instante de preamar.

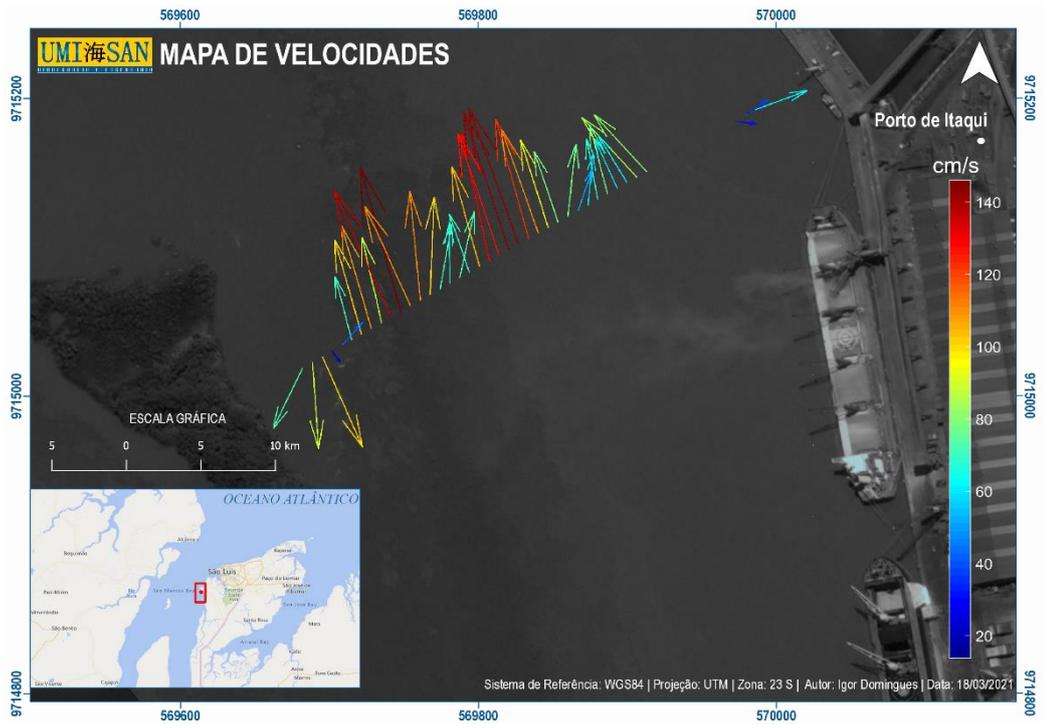


Figura 44: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura após 2h e 30min do instante de preamar.

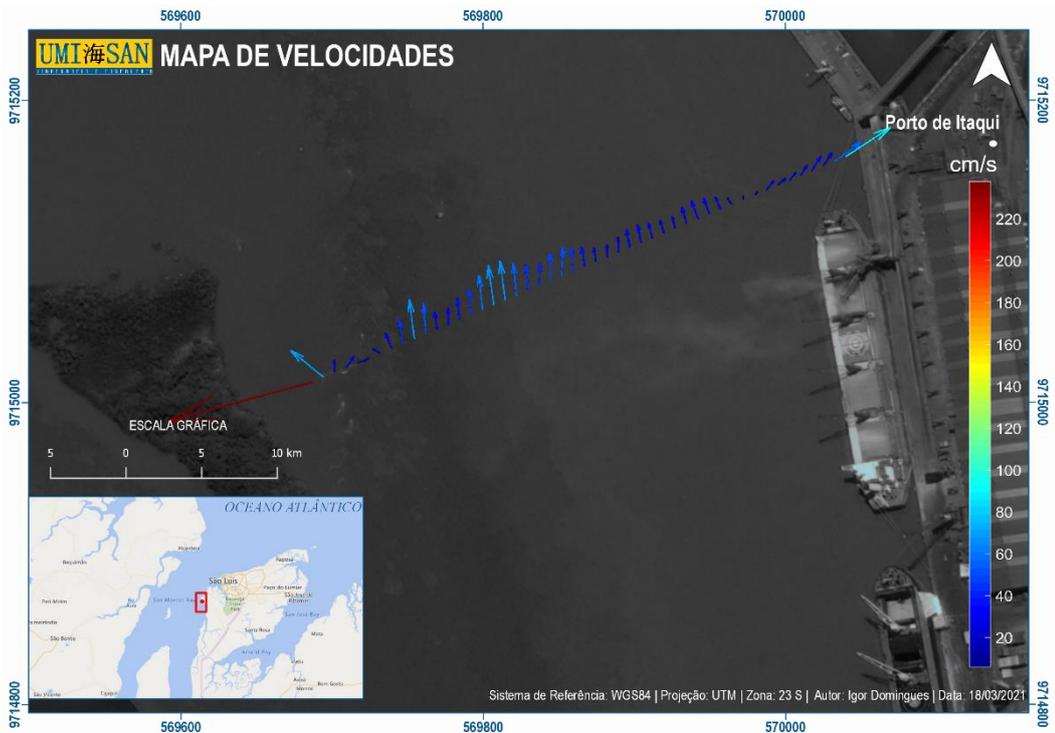


Figura 45: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura durante instante de Baixa-mar.

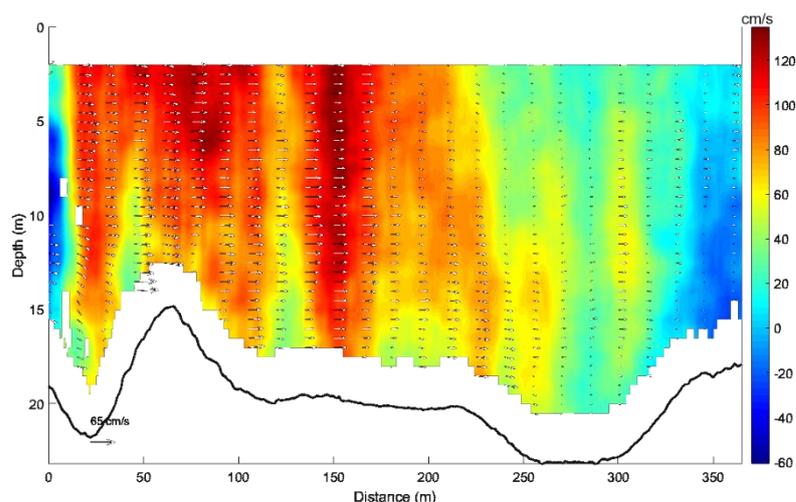


Figura 46: Magnitude das correntes medidas em período de quadratura durante a vazante da maré nos dias 13 e 14/02/2021. A origem da transecto (0 m) se encontra em sua margem oeste. Os vetores representam a componente da velocidade perpendicular ao escoamento principal.

4.2.4 Quadratura: enchente

Os dados adquiridos durante a enchente apresentaram inconsistência e foram descartados. Portanto, nesse capítulo apresenta-se os dados referentes apenas ao estofo da preamar, que ocorreu no final do período descartado e que tem início 30 minutos antes e se estende até 30 minutos depois do horário do estofo.

Durante o período do estofo da preamar, a maior velocidade registrada foi de 0,46 m/s, a qual ocorre no limite mais a oeste da linha, no sentido da vazante. É possível observar durante o período do estofo a existência de vetores com direção tanto de vazante quanto de enchente, isto é um indício de formação de vórtices na região

Durante o período apresentado, a velocidade média ao longo do transecto é de aproximadamente 0,25 m/s. não há distinção significativa entre a sizígia e quadratura. Na seção transversal e pelo mapa com os vetores de velocidade integrados na vertical, nota-se que as maiores magnitudes de velocidade se encontram no meio e em direção a oeste da linha exceto próximo às margens onde os efeitos da baixa profundidade são mais perceptíveis.

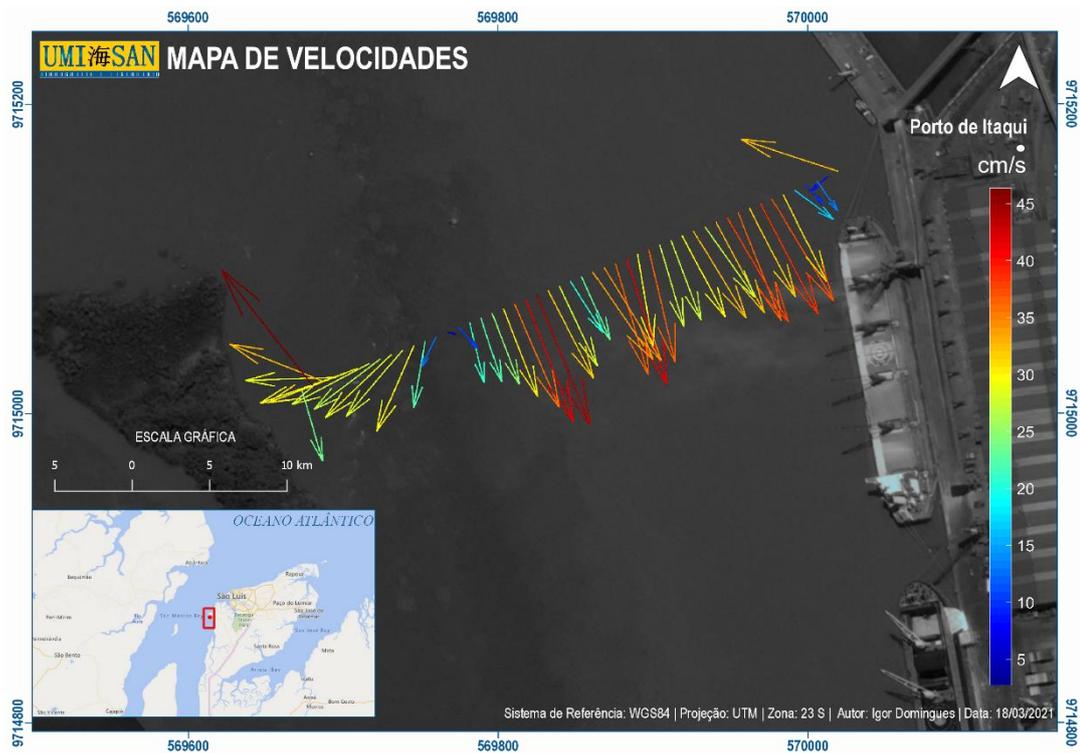


Figura 47: Velocidades integradas na vertical ao longo dos transectos realizados em período de quadratura no instante de preamar.

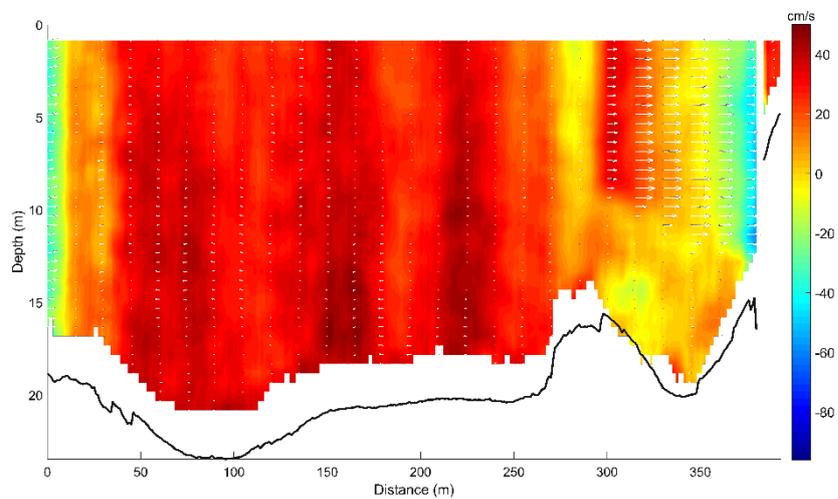


Figura 48: Magnitude das correntes medidas período de sizigia durante o estófo da preamar nos dias 13 e 14/02/2021. A origem da transecto (0 m) se encontra em sua margem oeste. Os vetores representam a componente da velocidade perpendicular ao escoamento principal.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados correntométricos adquiridos permitiram a caracterização das correntes ao longo dos ciclos de maré de quadratura e sizígia em três pontos de fundeio e um transecto ao longo da baía de São Marcos, no estado do Maranhão. Os locais de medição foram selecionados na região adjacente ao Porto de Itaqui, pontos PI-C1, PI-C3 e PI-C5, conforme apresentado pela Figura 2. A partir de aquisições realizadas com o ADCP em movimento ao longo de um transecto, foram realizados levantamentos na região marinha adjacente ao Porto de Itaqui em momentos de vazante e de enchente de maré, tanto em período de quadratura quanto de sizígia. Com relação a esses levantamentos, destacam-se os seguintes resultados:

- As maiores velocidades no ponto PI-C1 foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1,29 m/s e direção 359° (N). Na quadratura o máximo registrado foi de 1,11 m/s, registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 14% da velocidade na quadratura em relação à sizígia. As máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças mais expressivas no período de quadratura, com uma diferença de 27%, já para o período de sizígia a diferença foi de 23%.
- As maiores velocidades no ponto PI-C3 registradas durante a enchente de sizígia, com um valor máximo de 1,46 m/s e direção 102,4° (ESE). Na quadratura o máximo registrado foi 1,26 m/s, também registrado durante a enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 13% da velocidade na quadratura em relação à sizígia.
Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças significativas, com a maior diferença observada na quadratura, de 60 %, enquanto na sizígia foi de 57 %.
- As maiores velocidades no ponto PI-C5 foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.57 m/s e direção 316,7° (NO). Na quadratura o máximo registrado foi de 1,38 m/s, também registrado durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados em cada período indica uma redução de 7 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, redução de 37% e 40%, respectivamente.

- Quanto ao transecto da região adjacente ao Porto de Itaqui, observa-se que durante a enchente e vazante, tanto em período de sizígia quanto de quadratura, as maiores velocidades ocorrem do meio para oeste das linhas. Em todos os transectos levantados. Na área sondada, as baixas profundidades atuam como um obstáculo para as correntes de maré, as forças de atrito do fundo e a dinâmica hídrica da região desaceleram as correntes de maré, sendo que, essa desaceleração é mais proeminente durante a enchente. Além disso, durante os estofos tanto da baixa-mar quanto da preamar observou-se correntes de maré com direção de enchente e vazante o que indica a formação de vórtices na região. Ressalta-se que devido inconsistência nos dados, todo o período de enchente da quadratura teve que ser descartado. Devido a isso, para análise realizada utilizou-se o transecto da preamar, que tem início 30 minutos antes e se estende até 30 minutos depois do horário do estofo.

6 REFERÊNCIAS

COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. 1976. Distribuição de sedimentos na baía de São José, Estado do Maranhão (Brasil). *Arquivo de Ciências do Mar*, Fortaleza, 16(2): 123-127.

CHM, Centro de hidrografia da marinha. 2004. Cartas de correntes de maré: proximidades da baía de São Marcos e portos de São Luís e Itaqui. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-publicacoes/publicacoes/ccm/CCM-Baia-Sao-Marcos.pdf>>.

CHULLIAT, A., S. *et al.* 2015. The US/UK World Magnetic Model for 2015-2020: Technical Report, National Geophysical Data Center, NOAA. doi: 10.7289/V5TB14V7.

DAMAZIO, E. *et al.* 1989. Golfo do Maranhão: levantamento bibliográfico sobre oceanografia, biologia marinha e ecologia marinha. *Cad. Pesq.*, São Luís, 5 (2):41-86.

FEMAR, Fundação de Estudos do Mar: Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Disponível em: <<https://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/indice.html#maranhao>>. Acesso em: 22 de março de 2017.

FIRING, E.; HUMMON, J. M. 2010. Shipboard ADCP measurements. In: The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: A Collection of Expert Reports and Guidelines. Hood, E.M., C.L. Sabine, and B.M. Sloyan, eds. IOCCP Report Number 14, ICPO Publication Series Number 134. Disponível em: <<http://www.go-ship.org/HydroMan.html>>.

PEREIRA, J. E. R.; HARARI, J. 1995. Modelo numérico tri-dimensional linear da plataforma continental do Estado do Maranhão. *Bolm Inst. Oceanogr.*, São Paulo, 43(1):11-26.

RIBEIRO JR, F.C. 2005. Evolução geomorfológica da franja costeira da Ponta do Bonfim nas décadas de 80 a 00 do século XX. Monografia de Graduação em Geografia (UFMA). São Luís.

UFMA. 2009. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da Refinaria Premium I. V. 2. São Luís: UFMA.

ANEXOS

ANEXO 01 – Autorização CHM

APÊNDICES

APÊNDICE A - Calibração e configuração dos equipamentos

APÊNDICE B - Arquivo Digital

ANEXO 01
Autorização CHM



MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA

AUTORIZAÇÃO Nº 413/20

CATEGORIA “B”

O Diretor do Centro de Hidrografia da Marinha, de acordo com as delegações de competência estabelecidas pelas Portarias nº 156/MB, de 3 de junho de 2004 e nº 39/DHN, de 23 de março de 2012, AUTORIZA a UMI SAN – Serviços de Apoio à Navegação e Engenharia Ltda., inscrita sob o nº 135 no Cadastro de Entidades Executantes de Levantamentos Hidrográficos, em conformidade com o art. 37 do Decreto-Lei nº 243, de 28/02/1967, e nos termos das Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos - NORMAM-25/DHN (2ª Revisão), a realizar Levantamento Hidrográfico nas proximidades do Porto de Itaqui, município de São Luís, estado do Maranhão, no período de 07 de setembro de 2020 a 07 de março de 2021, conforme descrito no projeto de Levantamento Hidrográfico recebido por este Centro em 28 de agosto de 2020.

Esta Autorização não isenta a entidade requerente de obter outras autorizações e/ou licenças federais, estaduais e municipais legalmente exigíveis para realização desta atividade, incluindo aquelas relacionadas a órgãos ambientais e à segurança da navegação, emanadas por Agentes ou Representantes da Autoridade Marítima, sendo obrigatória a sua disponibilização no local de realização do Levantamento Hidrográfico, para efeito de fiscalização.

Conforme o item 0203 da NORMAM-25/DHN (2ª Revisão), a coleta e/ou processamento dos dados deverão ser realizados exclusivamente pela Entidade Executante autorizada. A cessão dos dados a terceiros só deverá ser feita à Entidade Contratante do LH. Caso alguma discrepância seja observada, serão aplicadas as sanções cabíveis à Entidade Executante.

Niterói, 02 de setembro de 2020.

Por ordem:

LUMA COSTA LIMA DOS SANTOS
Primeiro-Tenente (RM2-EN)
Ajudante da Seção de Controle de Levantamento Hidrográfico

APÊNDICE B

Calibração e configuração dos equipamentos



Declination

Date 2021-03-19

Latitude 2° 30' 54" S

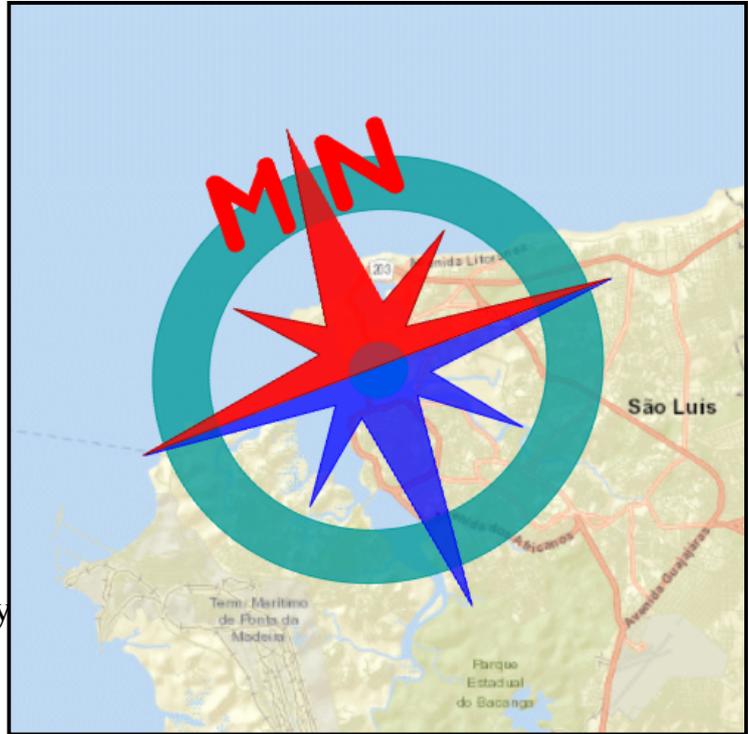
Longitude 44° 18' 4" W

Elevation 0.0 km GPS

Model Used WMM-2020

Declination 20° 47' W changing by
0° 1' E per year

Uncertainty 0° 20'



Compass shows the magnetic bearing of the magnetic north (MN)

Magnetic declination is the angle between true north and the horizontal trace of the local magnetic field. In general, the present day field models such as the IGRF and World Magnetic Model (WMM) are accurate to within 30 minutes of arc for the declination. However, local anomalies exceeding 10 degrees, although rare, do exist.

APÊNDICE C
Arquivo Digital
