

**RELATÓRIO TÉCNICO**  
**RELATÓRIO DE LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO**  
**BAÍA DE SÃO MARCOS E DE SÃO JOSÉ – MA**

**UMI 海SAN RT 53 2020**

**PERÍODO DO LEVANTAMENTO: 16/02/2020 a 19/03/2020**

**AUTORIZAÇÃO: 030/20**

**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 53 20

PP 002 16

Rev	Descrição	Preparado	Verificado	Aprovado	Data
0	Interno	Guilherme Cruz	Thiago Nascimento	Thiago Nascimento	25 fevereiro 2020

**APRESENTAÇÃO**

Este relatório apresenta os resultados do Levantamento Hidrográfico (correntometria), respaldado pela autorização n° 030 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

<b>Jéssica Venturini</b> Oceanógrafa, MSc Oceanografia Ambiental	Trabalhos de gabinete
<b>Kaio Lacerda</b> Oceanógrafo, MSc Engenharia Ambiental	Trabalhos de gabinete
<b>Larissa Neves</b> Oceanógrafa	Gestora do contrato
<b>Hugo Pozzolini</b> Oceanógrafo	Trabalhos de campo
<b>Thiago Nascimento</b> Oceanógrafo, MSc Engenharia Ambiental	Gerente de Processamento

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
2	<b>ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	14
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	16
4	<b>RESULTADOS</b> .....	20
4.1	ADCP EC-01 .....	21
4.1.1	<b>Sizígia</b> .....	21
4.1.2	<b>Quadratura</b> .....	25
4.1.3	<b>Análise integrada EC-01: sizígia e quadratura</b> .....	28
4.2	ADCP CJ-01.....	30
4.3.1	<b>Sizígia</b> .....	30
4.3.2	<b>Quadratura</b> .....	33
4.3.3	<b>Análise integrada CJ-01 : sizígia e quadratura</b> .....	36
4.3	ADCP CJ-03.....	38
4.4.1	<b>Sizígia</b> .....	38
4.2	<b>Quadratura</b> .....	41
4.4.3	<b>Análise integrada CJ-03: sizígia e quadratura</b> .....	44
4.4	ADCP CJ-04.....	46
4.5.1	<b>Sizígia</b> .....	46
4.5.2	<b>Quadratura</b> .....	49
4.5.3	<b>Análise integrada CJ-04: sizígia e quadratura</b> .....	52
4.5	ADCP AF-4B .....	54
4.6.1	<b>Sizígia</b> .....	54
4.6.2	<b>Quadratura</b> .....	57
4.6.3	<b>Análise integrada AF-4b: sizígia e quadratura</b> .....	60
4.6	ADCP SJ-02.....	62
4.7.1	<b>Sizígia</b> .....	62
4.7.2	<b>Quadratura</b> .....	65
4.7.3	<b>Análise integrada SJ-02: sizígia e quadratura</b> .....	69
4.1	ADCP SJ-03.....	71
4.7.1	<b>Sizígia</b> .....	71
4.7.2	<b>Quadratura</b> .....	74
4.7.3	<b>Análise integrada SJ-03: sizígia e quadratura</b> .....	78
4.1	ADCP SJ-06.....	80
4.7.1	<b>Sizígia</b> .....	80

4.7.2	Quadratura.....	83
4.7.3	Análise integrada SJ-06: sizígia e quadratura.....	86
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	88
6	REFERÊNCIAS .....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Batimetria da baía de São José. Fonte: Coutinho e Morais (1976).....	16
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. ....	17
Figura 3: Estrutura utilizada para estabilização do ADCP.....	19
Figura 4: Calibração de campo realizada com os ADCPs para compensar as influências magnéticas locais.....	20
Figura 5: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP EC-01. ....	22
Figura 6: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-01. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em preto, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.....	23
Figura 7: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-01. ....	24
Figura 8: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP EC-01. ....	26
Figura 9: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-01. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em preto, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui. ....	26
Figura 10: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-01. ....	27
Figura 11: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP EC-01. ....	29
Figura 19: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01.....	31
Figura 20: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01. 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. ....	31
Figura 21: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01.....	32

Figura 22: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01.....	34
Figura 23: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01. 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.....	34
Figura 24: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01.....	35
Figura 25: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP CJ-01.....	37
Figura 26: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP CJ-03.....	39
Figura 27: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP CJ-03. 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.....	39
Figura 28: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP CJ-03. ....	40
Figura 29: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP CJ-03.....	42
Figura 30: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-03. 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.....	42
Figura 31: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-03.....	43
Figura 32: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP CJ-03.....	45
Figura 33: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP CJ-04.....	47
Figura 34: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP CJ-04. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira.....	47



Figura 35: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP CJ-04. .....	48
Figura 36: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP CJ-04.....	50
Figura 37: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-04. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira. ....	50
Figura 38: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-04.....	51
Figura 39: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP CJ-04.....	53
Figura 40: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP AF-4B. ....	55
Figura 41: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4b. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira. ....	55
Figura 42: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4b. .....	56
Figura 43: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b. ....	58
Figura 44: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b. 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.....	58
Figura 45: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b.....	59
Figura 46: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-4b.....	61
Figura 47: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP SJ-02.....	63

Figura 48: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-02. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira. ....	63
Figura 49: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-02. ....	64
Figura 50: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP SJ-02. ....	66
Figura 51: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-02. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira. ....	66
Figura 52: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-02. ....	68
Figura 53: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP SJ-02. ....	70
Figura 54: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP SJ-03. ....	72
Figura 55: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-03. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira. ....	72
Figura 56: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-03. ....	73
Figura 57: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP SJ-03. ....	75
Figura 58: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-03. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira. ....	75
Figura 59: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-03. ....	77
Figura 60: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP SJ-06. ....	79

Figura 61: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP SJ-06.....	81
Figura 62: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-06. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira. ....	81
Figura 63: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-06. ....	82
Figura 64: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP SJ-06.....	83
Figura 65: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-06. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira. ....	84
Figura 66: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-06. ....	85
Figura 67: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP SJ-06. As regiões sem valor acima da linha do fundo representam pontos em que ocorreu algum erro na aquisição do dado pelo equipamento. ....	87

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Período de levantamento realizado em cada ponto de coleta.....	20
Tabela 2: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-01 durante o período de sizígia.....	21
Tabela 3: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP EC-01 no período de quadratura.....	25
Tabela 7: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP CJ-01 no período de sizígia.....	30
Tabela 8: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta CJ-01 durante o período de quadratura.....	33
Tabela 9: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta CJ-03 durante o período de sizígia.....	38
Tabela 10: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP CJ-03 no período de quadratura.....	41
Tabela 11: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta CJ-04 durante o período de sizígia.....	46
Tabela 12: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta CJ-04 durante o período de quadratura.....	49
Tabela 13: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-4b durante o período de sizígia.....	54
Tabela 14: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PE-1 durante o período de quadratura.....	57
Tabela 22: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-7 durante o período de sizígia.....	62
Tabela 23: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP SJ-02 no período de quadratura.....	67
Tabela 22: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SJ-03 durante o período de sizígia.....	71
Tabela 23: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP SJ-03 no período de quadratura.....	76

Tabela 22: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SJ-06 durante o período de sizígia. ....	80
Tabela 23: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP SJ-06 no período de quadratura. ....	84

## 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 16 de fevereiro de 2020 a 19 de 26 de março de 2020:

- 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 e 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 quartzozas (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.

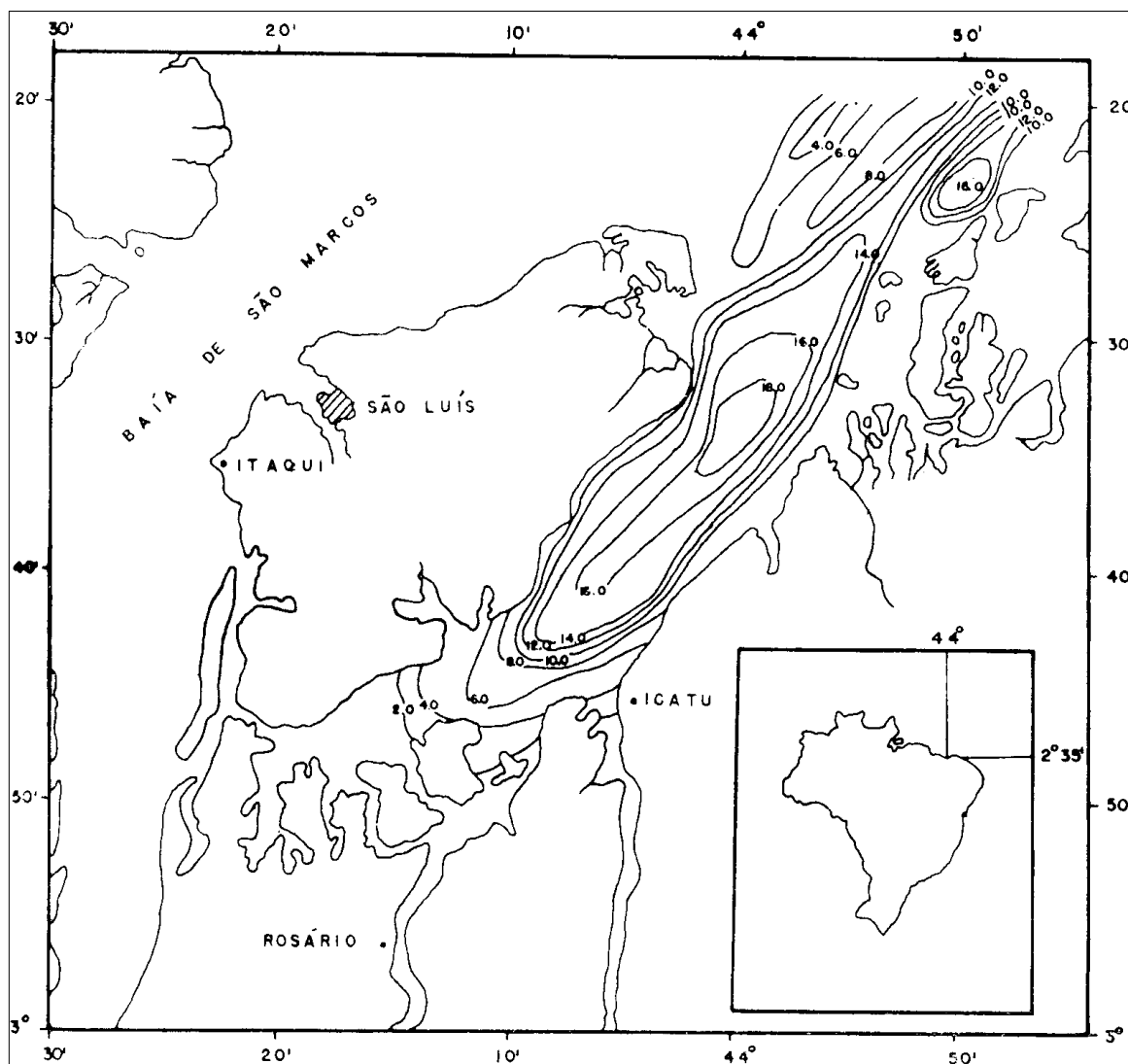


Figura 1: Batimetria da baía de São José. Fonte: Coutinho e Morais (1976).

### 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 9 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 pontos de fundeio



foram distribuídos da seguinte forma: 5 pontos nas proximidades da Baía de São Marcos (CJ-01, CJ-03, CJ-04, EC-01, AF-4B), 3 pontos na Baía de São José (SJ-02, SJ-03) e um ponto na Baía de Arraial (SJ-06). Devido as variações morfológicas no local e pela presença de um banco de areia o ponto de coleta teve que ser deslocado com o intuito de representar melhor as velocidades de corrente, conforme apresentado pela Figura 2.



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.

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 3) 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 3: 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 4). 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 4: Calibração de campo realizada com os ADCPs para compensar as influências magnéticas locais.

## 4 RESULTADOS

Nas seções 4.1 a 4.8 serão apresentados os resultados obtidos a partir das medições realizadas nos sete (7) pontos de coleta realizados com o barco fundeado ao longo de períodos em torno de 13h: EC-01, CJ-01, CJ-03, CJ-04, AF4b, SJ-02, SJ-03 e SJ-06, respectivamente. Na seção 4.8 serão apresentados os resultados obtidos a partir dos três (3) transectos realizados na região marinha adjacente ao Porto do Itaqui, Ponta da Espera e Irmã de Dentro. 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 realizado 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)
EC-01	02/23/2020 22:28	02/24/2020 14:41	16:13	03/01/2020 18:01	03/02/2020 12:42	18:41
CJ-01	02/24/2020 21:23	02/25/2020 11:54	14:31	03/03/2020 0:06	03/03/2020 16:00	15:54
CJ-03	02/24/2020 22:23	02/25/2020 12:21	13:58	03/02/2020 17:54	03/03/2020 10:45	16:51
CJ-04	02/25/2020 16:11	02/26/2020 6:18	14:07	03/03/2020 14:30	03/04/2020 7:33	17:03
AF-4b	02/25/2020 15:28	02/26/2020 6:08	14:40	03/03/2020 21:25	03/04/2020 11:29	14:04
SJ-02	03/08/2020 20:56	03/09/2020 16:21	19:24	03/17/2020 21:57	03/18/2020 11:37	13:36
SJ-03	03/10/2020 6:20	03/10/2020 23:02	16:42	03/18/2020 15:22	03/19/2020 6:33	15:11
SJ-06	03/10/2020 9:36	03/10/2020 23:50	14:14	03/18/2020 7:02	03/19/2020 1:42	18:44

## 4.1 ADCP EC-01

### 4.1.1 Sizígia

O levantamento teve início 23/02/2020 22:28 (UTC) e se estendeu até 24/02/2020 14:41 (UTC), totalizando cerca de 16h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.23 m/s na região logo abaixo da superfície, após 1,4h de coleta, a 1.7 m de 25.7 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0.0004 m/s foi registrada durante o período de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 1 e 2 horas de coleta (Figura 5), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.1 m/s. As maiores velocidades ocorreram na região superficial da coluna de água (máximo de 1.2 m/s), reduzindo pouco no sentido do meio da coluna d'água e do fundo (máximo de 1 m/s), como se observa na Figura 7, Figura 10 e Figura 11.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 8 e 10 horas de coleta, onde o máximo registrado foi de aproximadamente 1 m/s, o que representa uma redução de 16% (0.2 m/s) em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 7), com direções de vazante entre NO-N e de enchente variou em torno de SE, seguindo o alinhamento do braço de rio da Baía de Marcos.

A partir da Figura 5 e da Figura 6 fica evidente a predominância das correntes de vazante no período de levantamento, onde as correntes com direção de vazante (NO-N) ocorrem em maior frequência. A região de levantamento atua como um abrigo às correntes de enchente, sendo essa predominância das correntes de vazante mais expressiva nos pontos mais próximos da costa.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta EC-01 durante o período de sizígia.

Tabela 2: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta EC-01 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,23	0,0004
Direção	338,9	332,2
Período	Vazante	Baixa-mar

<b>Hora de coleta</b>	1,4	6,5
<b>Data (UTC)</b>	24/02/2020 0:13	24/02/2020 5:16
<b>Profundidade (m) da medida</b>	1,7	17,7
<b>Profundidade da coluna de água (m)</b>	25,7	25,7

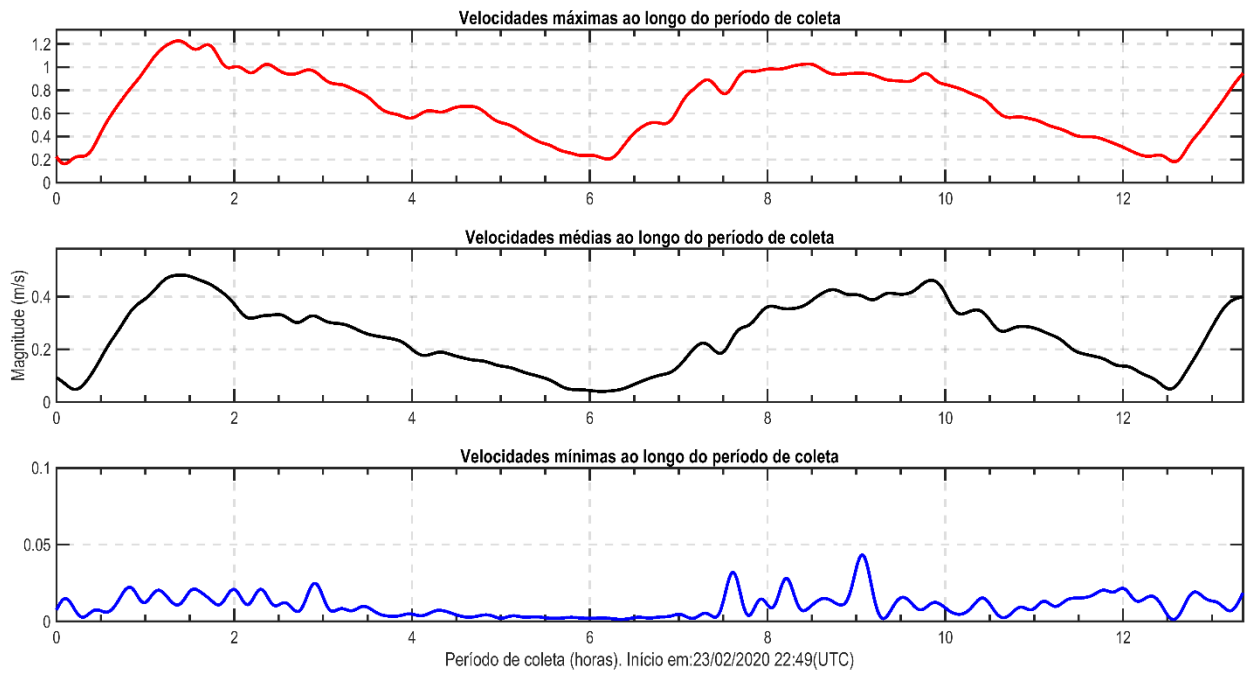


Figura 5: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP EC-01.

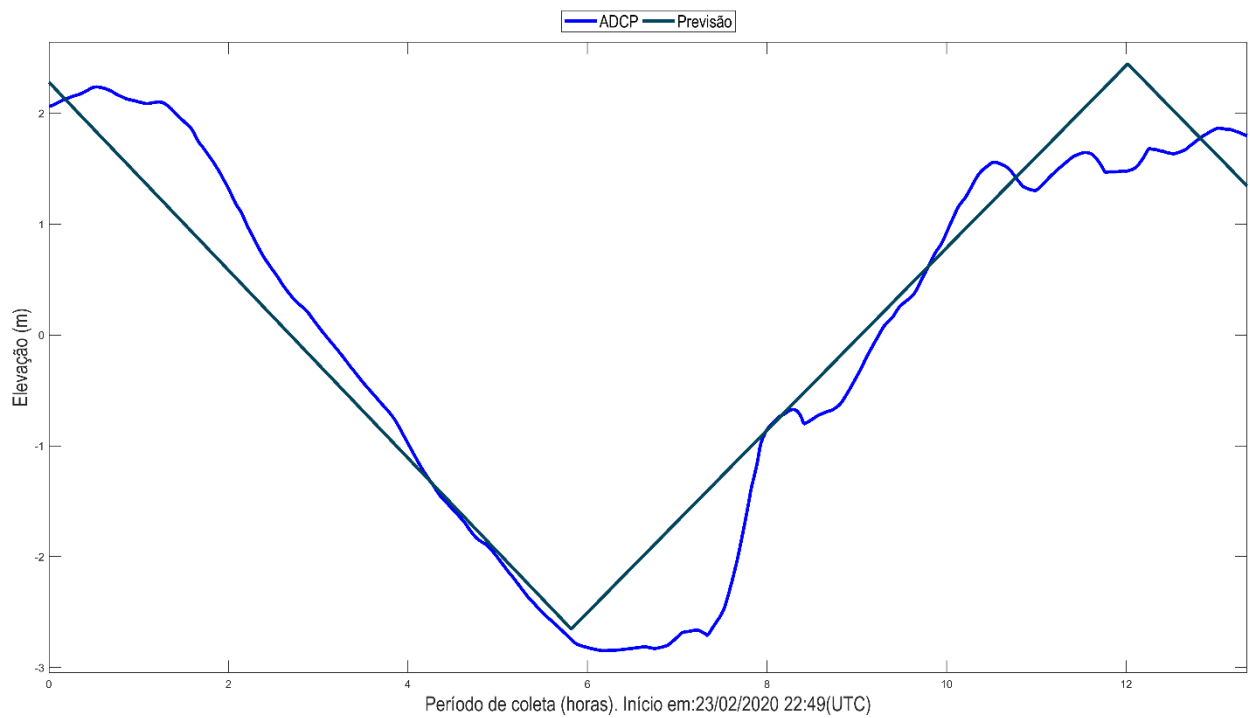


Figura 6: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-01. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em preto, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.



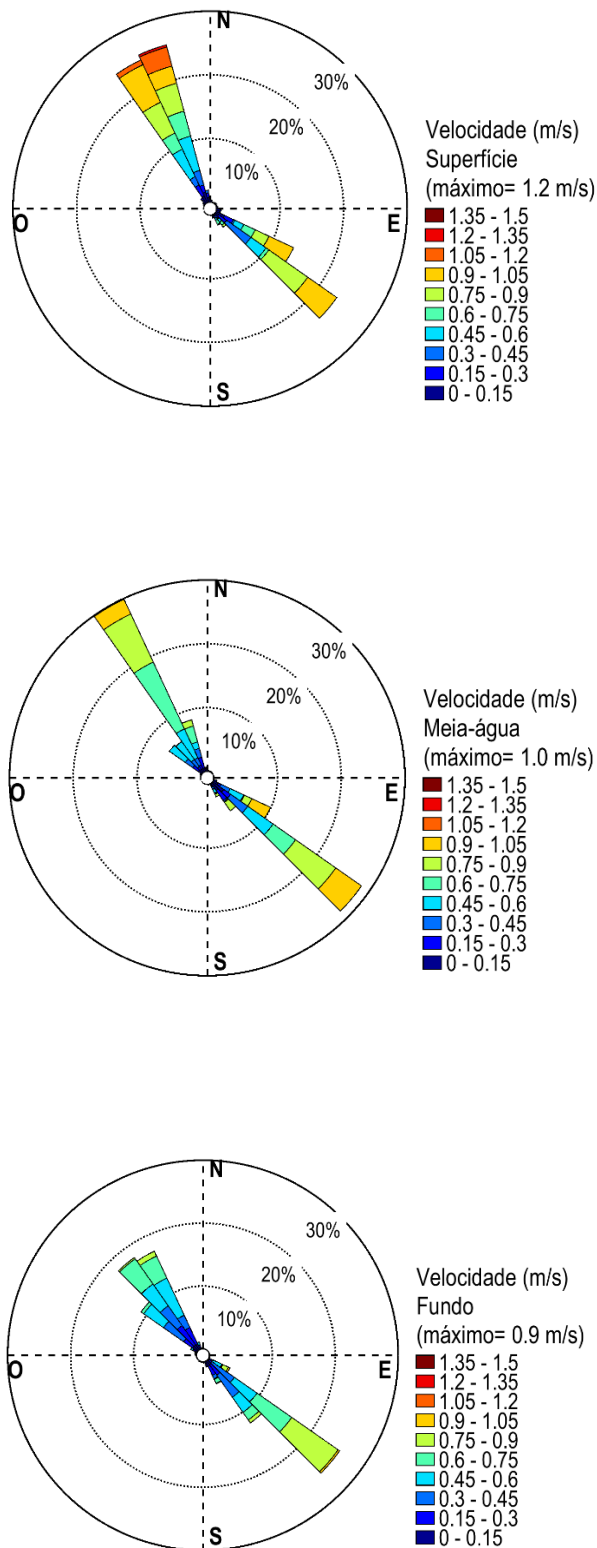


Figura 7: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP EC-01.



#### 4.1.2 Quadratura

O levantamento teve início 01/03/2020 18:01 (UTC) e se estendeu até 02/03/2020 12:42 (UTC), totalizando quase 18,4 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 0,83 m/s na região superficial da coluna d'água, a 11,9 m de 17,9 m de profundidade, durante o meio da enchente, enquanto a mínima registrada foi de 0.0006 m/s, medida durante o estofa da preamar (Figura 11).

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de enchente, entre 3 e 4 horas de coleta (Figura 8, Figura 9), quando as maiores velocidades variaram em torno de ~0,7 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 10), com direções de vazante entre N e NO e de enchente em torno de S e SE, seguindo o alinhamento do braço de rio da Baía de São Marcos.

Ao longo do período de vazante as máximas velocidades variaram em torno de 0.65 m/s entre 9 h e 10 h, com um máximo de 0.7 m/s (Figura 8, Figura 9). Não houve diferença significativa em relação ao máximo registrado na enchente.

**A Erro! Fonte de referência não encontrada.** resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta EC-01 durante o período de quadratura.

Tabela 3: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP EC-01 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	0,83	0,0006
Direção	141,8	119,8
Período	meio da enchente	preamar
Hora de coleta	4,4	1,5
Data (UTC)	01/03/2020 23:14	01/03/2020 20:17
Profundidade (m) da medida	11,9	10,9
Profundidade da coluna de água (m)	17,9	19,4

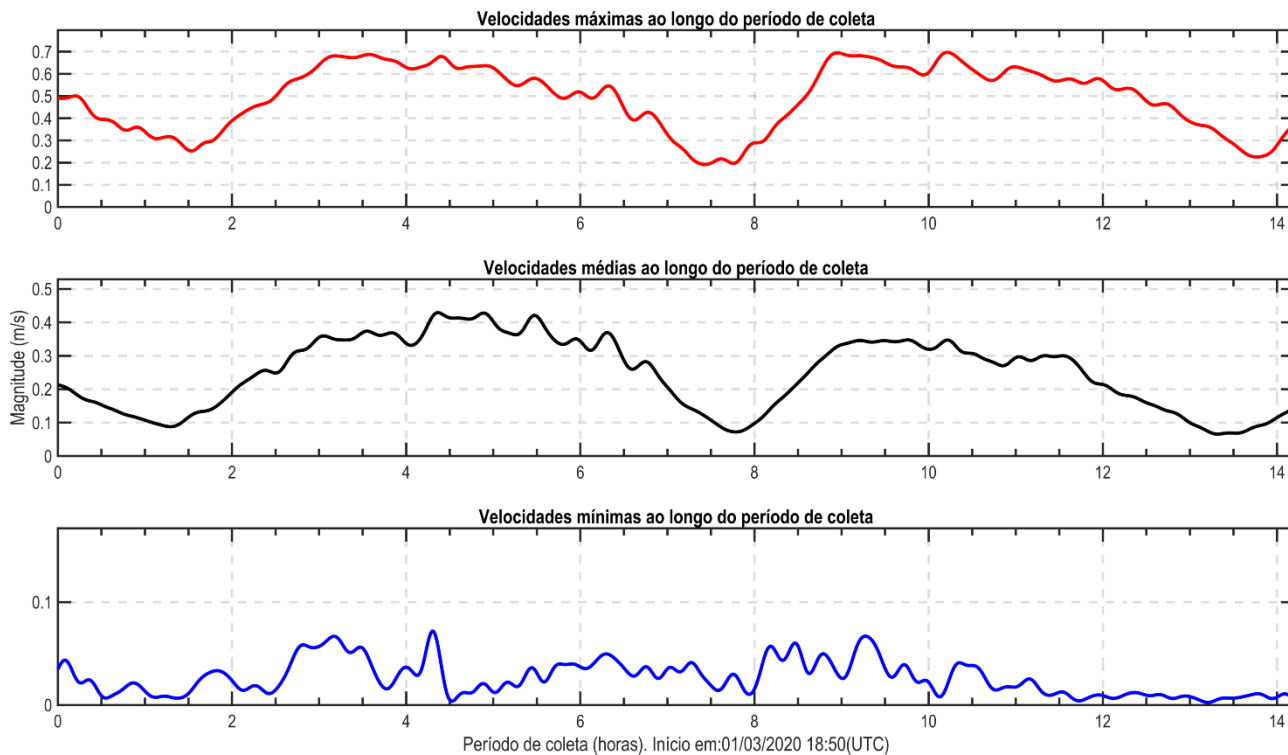


Figura 8: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP EC-01.

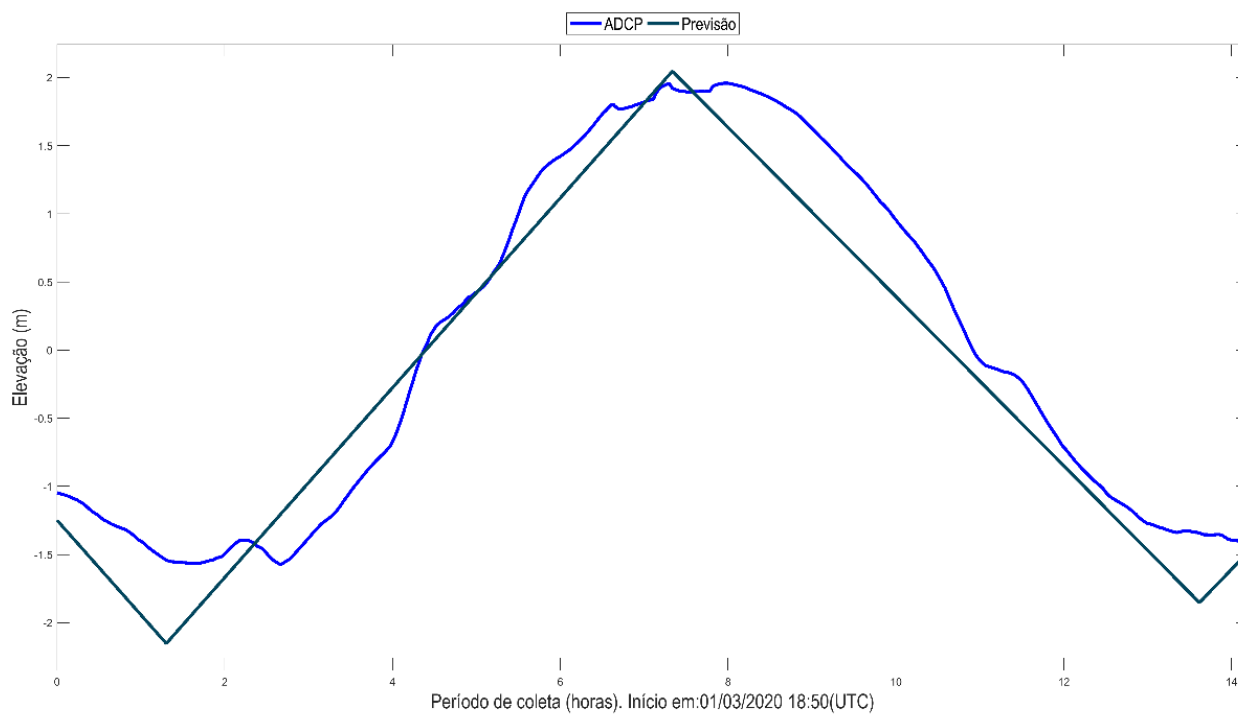


Figura 9: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-01. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em preto, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

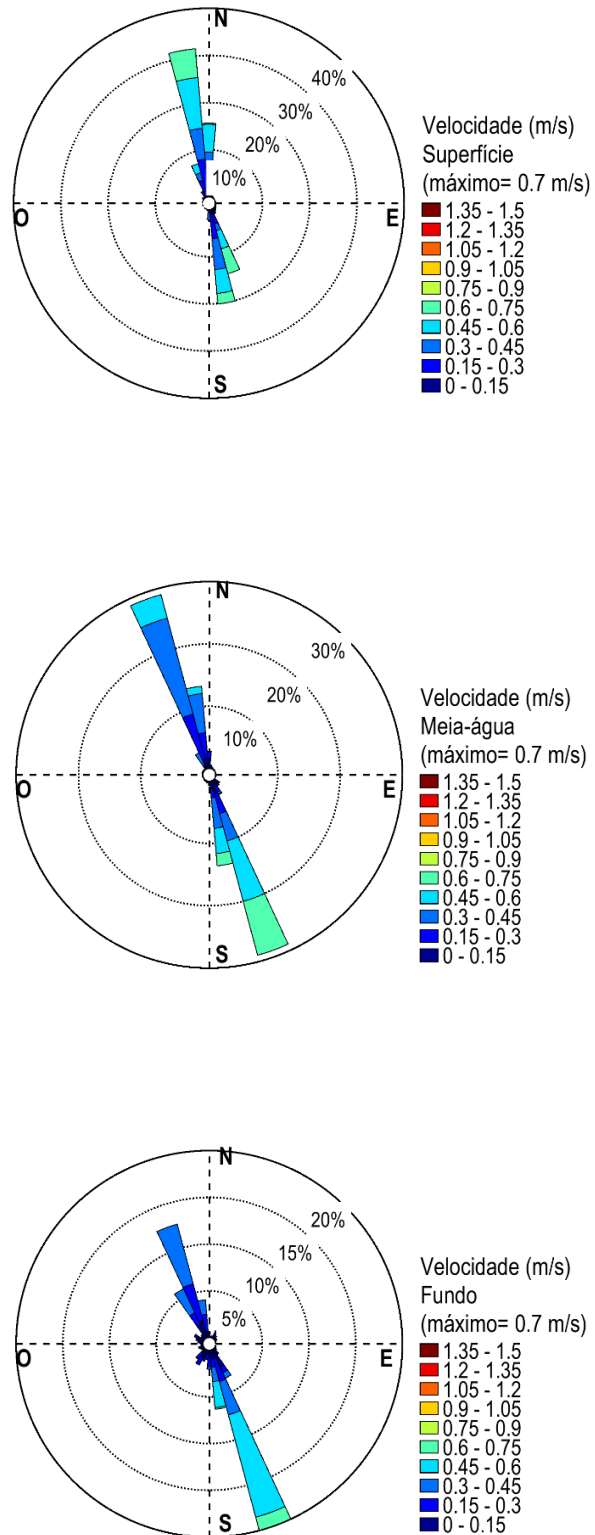


Figura 10: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP EC-01.

#### 4.1.3 Análise integrada EC-01: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.23 m/s e direção 339° (NO - N). Na quadratura o máximo registrado foi de 0.83 m/s, registrado durante a enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 32 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0.4 m/s.

As máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças mais expressivas no período de sizígia, com uma diferença de 16% (0.2 m/s), já para o período de quadratura não houve diferença significativa.

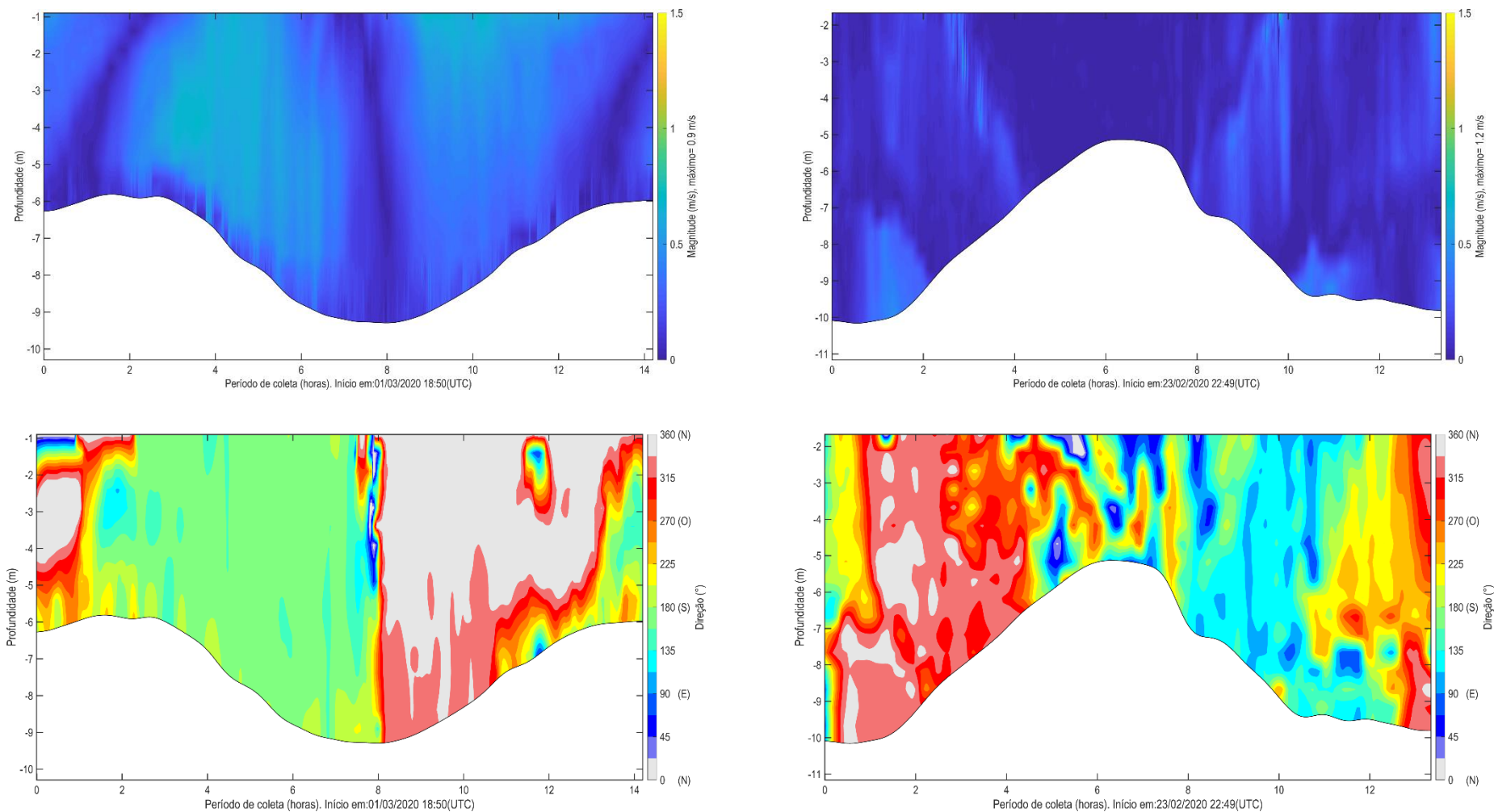


Figura 11: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP EC-01.

## 4.2 ADCP CJ-01

### 4.3.1 Sizígia

O levantamento teve início 24/02/2020 21:23 (UTC) e se estendeu até 25/02/2020 11:54, totalizando cerca de 14.5h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.43 m/s na região superficial da coluna d'água, a 0.9 m de 10.9 m de profundidade, durante o meio da enchente, enquanto a mínima de 0.002 m/s foi registrada durante o estófo de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a enchente entre 10.3 e 11 horas de coleta (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.3 m/s. As maiores velocidades ocorreram entre à superfície e o meio da coluna d'água (máximo de 1.4 m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 1.3 m/s), como se observa na Figura 14 e Figura 18.

Durante a vazante as maiores velocidades ocorreram entre 3 e 3.7 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1 m/s, o que representa uma redução de 23% (0.3 m/s) em relação às máximas da enchente.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 14), com direções de vazante variando em torno de E-SE e de enchente em torno de O-NO, seguindo o alinhamento do Rio Aura. A predominância das correntes de enchente no local é explicada pelo alinhamento do Rio Aura em relação a Baía de São Marco e por ocorrer obstáculos para as corrente de maré (Figura 2 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Tabela 4: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP CJ-01 no período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,43	0,0002
Direção	287,5	291,6
Período	meio da enchente	baixa-mar
Hora de coleta	10,4	8,4
Data (UTC)	25/02/2020 7:58	25/02/2020 5:58
Profundidade (m) da medida	0,9	2,4
Profundidade da coluna de água (m)	10,9	6,9

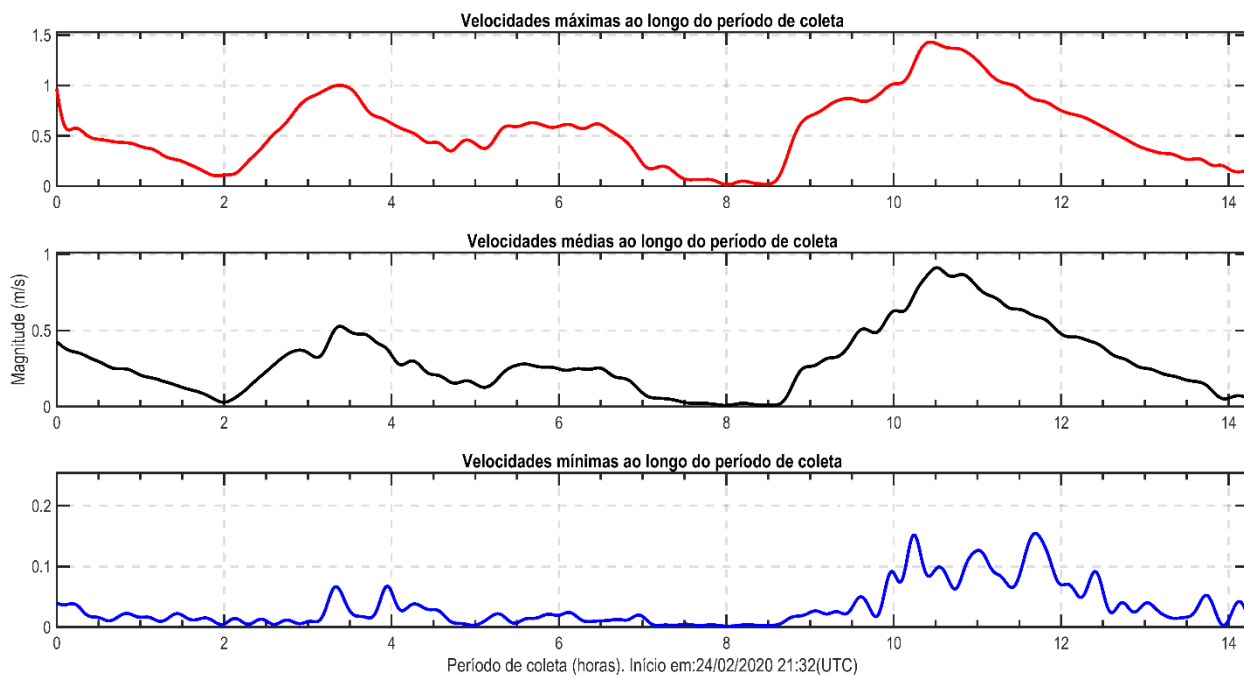


Figura 12: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01.

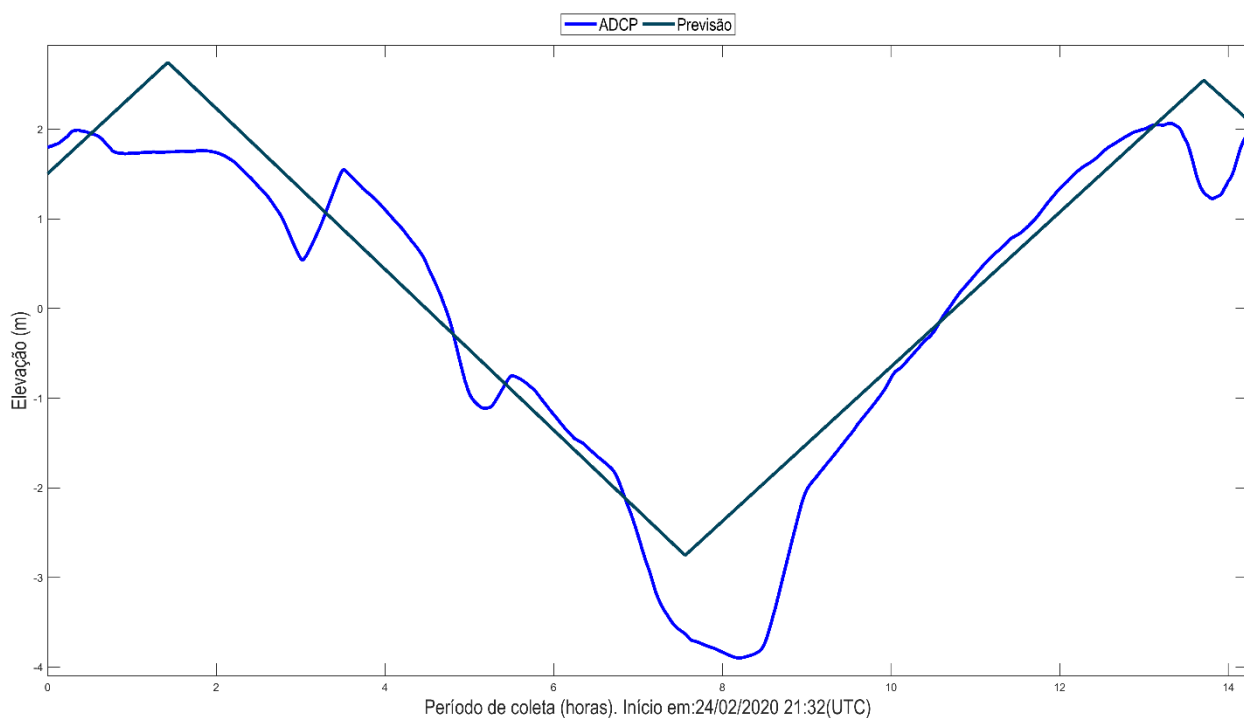


Figura 13: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

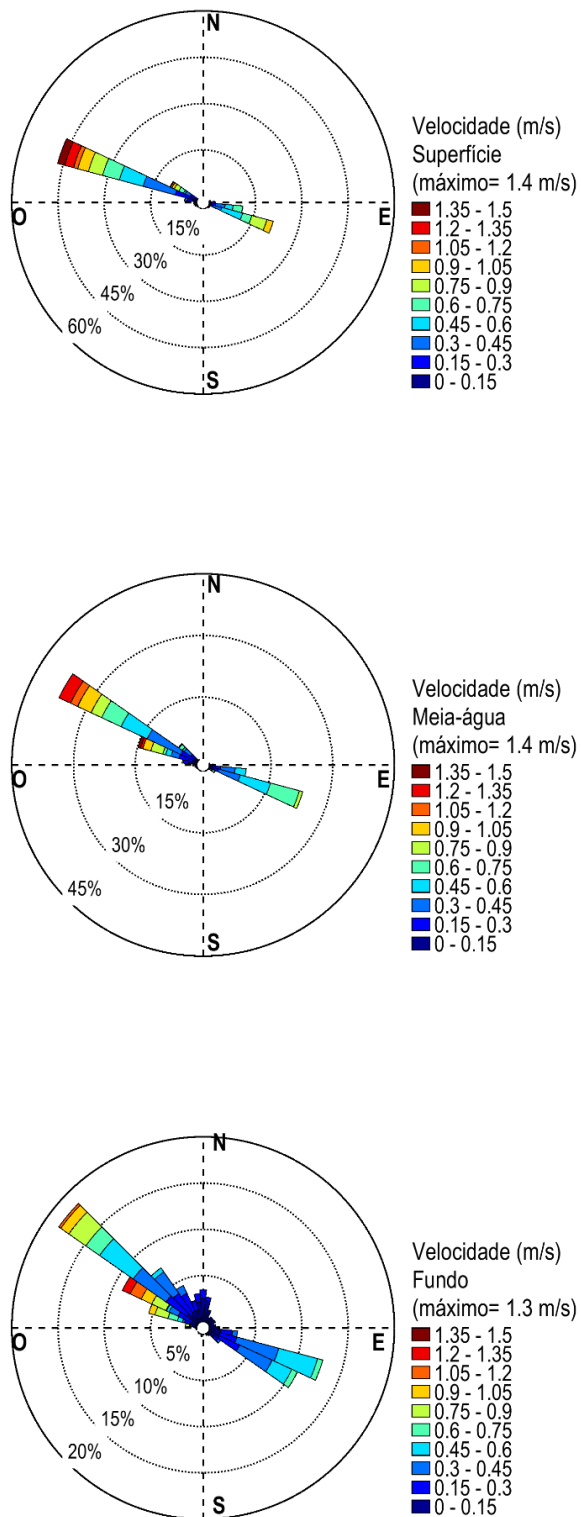


Figura 14: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01.



#### 4.3.2 Quadratura

O levantamento teve início 03/03/2020 00:06 (UTC) e se estendeu até 03/03/2020 16:00 (UTC), totalizando cerca de 16 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 0,78 m/s no meio da coluna d'água, a 11.4 m de 24.9 m de profundidade, durante a enchente, enquanto a mínima registrada foi de 0.001 m/s, medida durante o estofa da preamar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de enchente, entre 0.3 e 1 horas de coleta (Figura 15), quando as maiores velocidades variaram em torno de 0.7 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 17.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 17), com direções de enchente entre O e NO e de vazante em torno de SE.

Ao longo do período de vazante as máximas velocidades variaram em torno de 0.5 m/s entre 5 h e 7.5 h, com um máximo de 0.56 m/s (Figura 15), o que representa uma redução de 20 % 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 coleta CJ-01 durante o período de quadratura.

Tabela 5: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta CJ-01 durante o período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	0,78	0,001
Direção	129,8	187,0
Período	enchente	preamar
Hora de coleta	0,1	4,3
Data (UTC)	03/03/2020 0:10	03/03/2020 4:22
Profundidade (m) da medida	11,4	11,4
Profundidade da coluna de água (m)	24,9	24,9

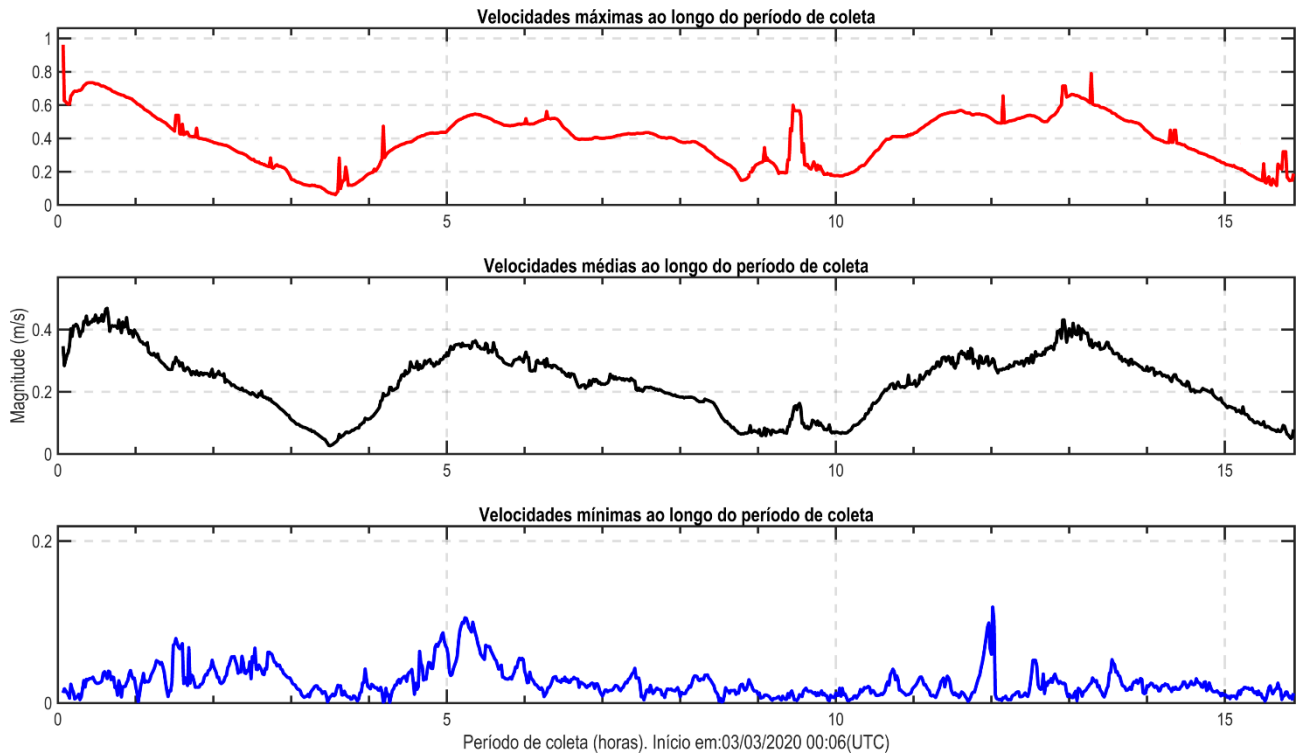


Figura 15: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01.

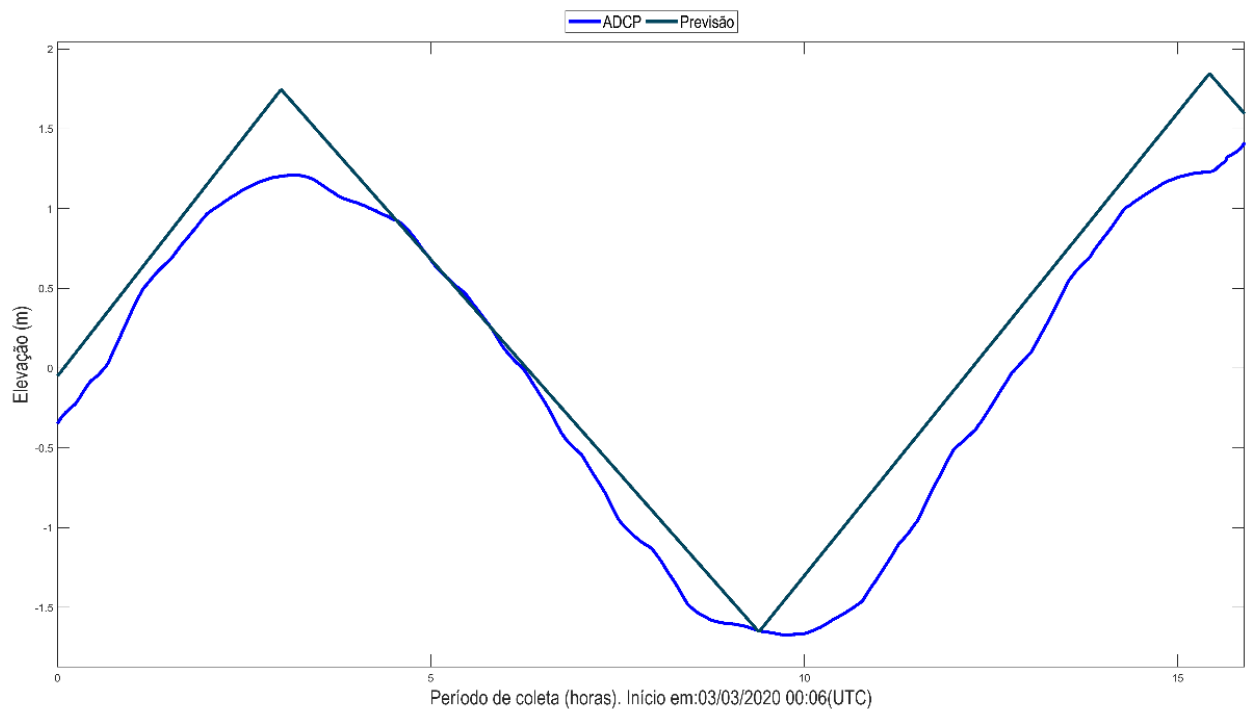


Figura 16: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaquí.

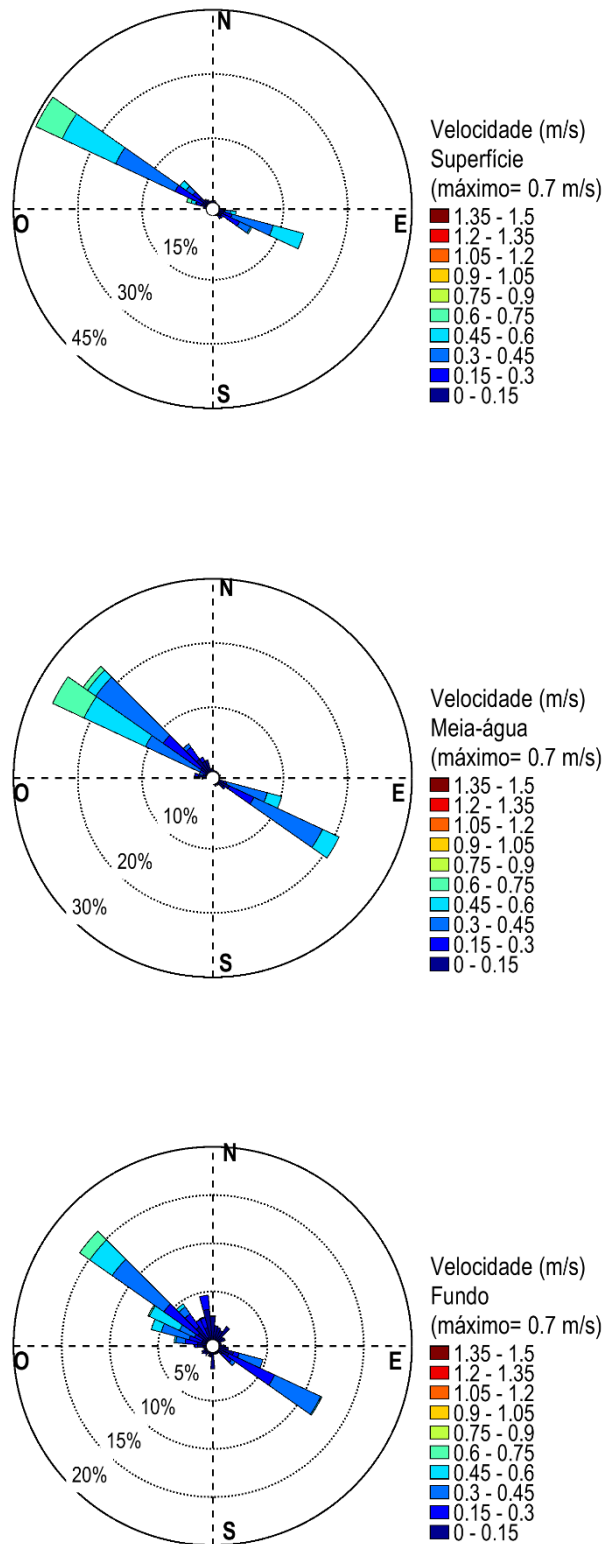


Figura 17: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-01.

#### 4.3.3 Análise integrada CJ-01 : 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).

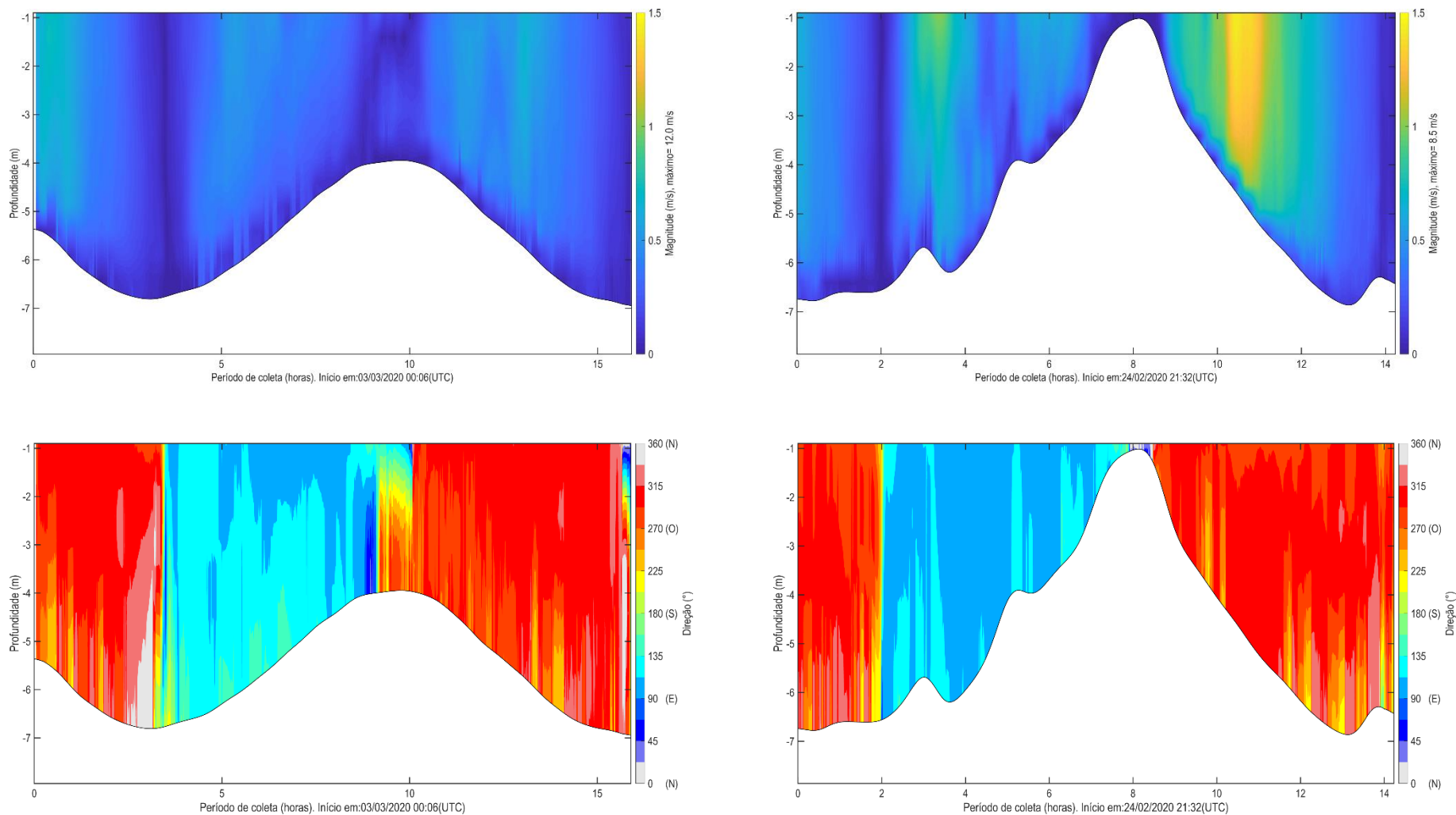


Figura 18: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP CJ-01.

### 4.3 ADCP CJ-03

#### 4.4.1 Sizígia

O levantamento teve início 24/02/2020 22:23 (UTC) e se estendeu até 25/02/2020 12:21, totalizando cerca de 14h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.57 m/s na região próxima à superfície da coluna d'água, a 3.8 m de 31.1 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima de 0.0003 m/s foi registrada durante o estofo de baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 3.3 e 4.5 horas de coleta (Figura 19 e Figura 20), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.5 m/s. As maiores velocidades ocorreram na região central da coluna de água (máximo de 1.3 m/s), reduzindo pouco em direção ao fundo (máximo de 1.2 m/s) e na superfície (máximo de 0.8 m/s), como se observa na Figura 21 e Figura 24.

Durante a vazante as maiores velocidades ocorreram entre 10 e 11 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1.1 m/s, o que representa uma redução de 26 % (0.4 m/s) em relação à máxima da enchente.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 21), com direções de vazante entre S e SE e de enchente em torno de NO e N, seguindo o alinhamento do Igarapé Cujupe. De maneira oposta ao que foi observado no ponto CJ-01, ocorre uma predominância de corrente de vazante, a qual pode ser explicada pela ilha a direita do Igarapé Cujupe que atua como uma barreira para as correntes de maré.

Tabela 6: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta CJ-03 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,57	0,0003
Direção	342,5	3,2
Período	meio da vazante	baixa-mar
Hora de coleta	3,8	4,9
Data (UTC)	25/02/2020 2:09	25/02/2020 3:16
Profundidade (m) da medida	31,1	17,1
Profundidade da coluna de água (m)	31,1	31,1

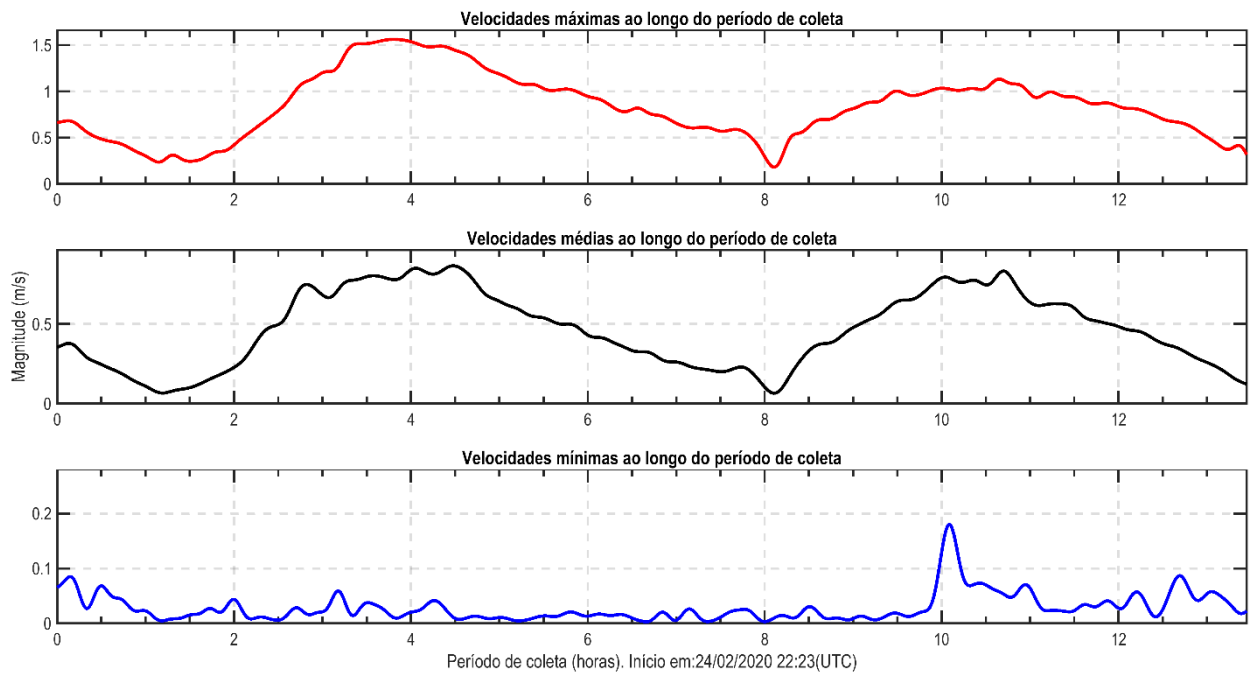


Figura 19: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP CJ-03.

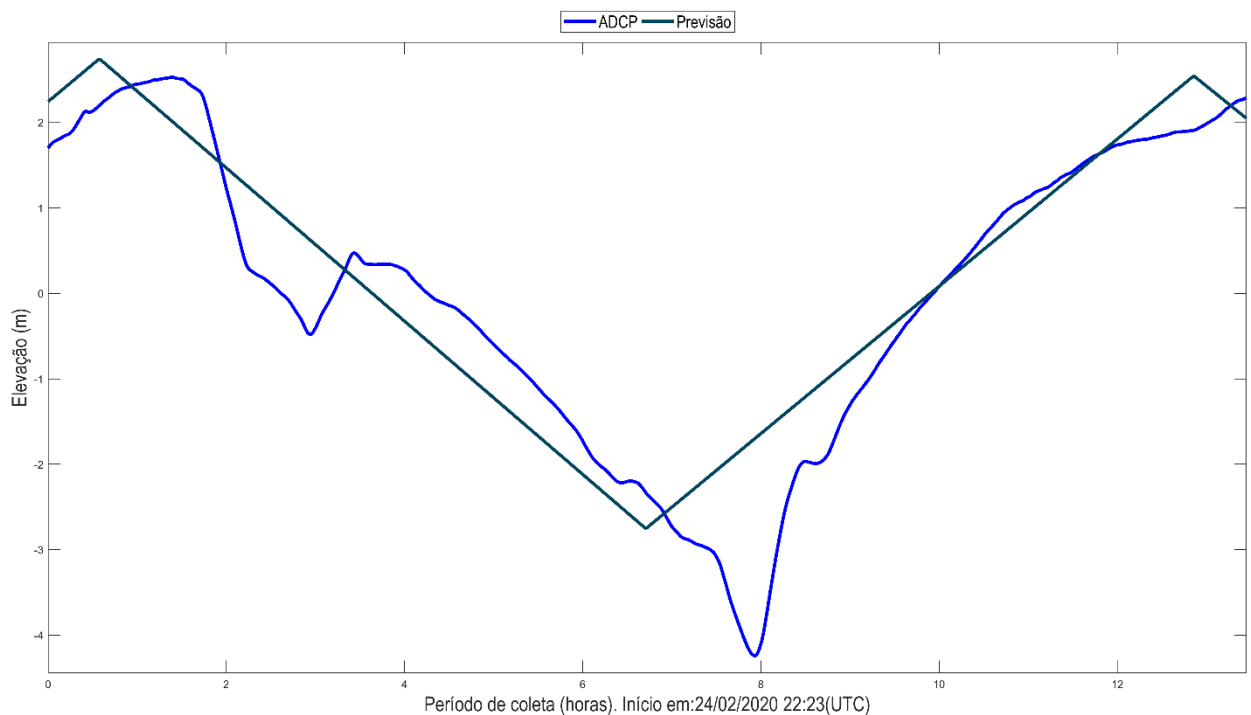


Figura 20: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP CJ-03. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

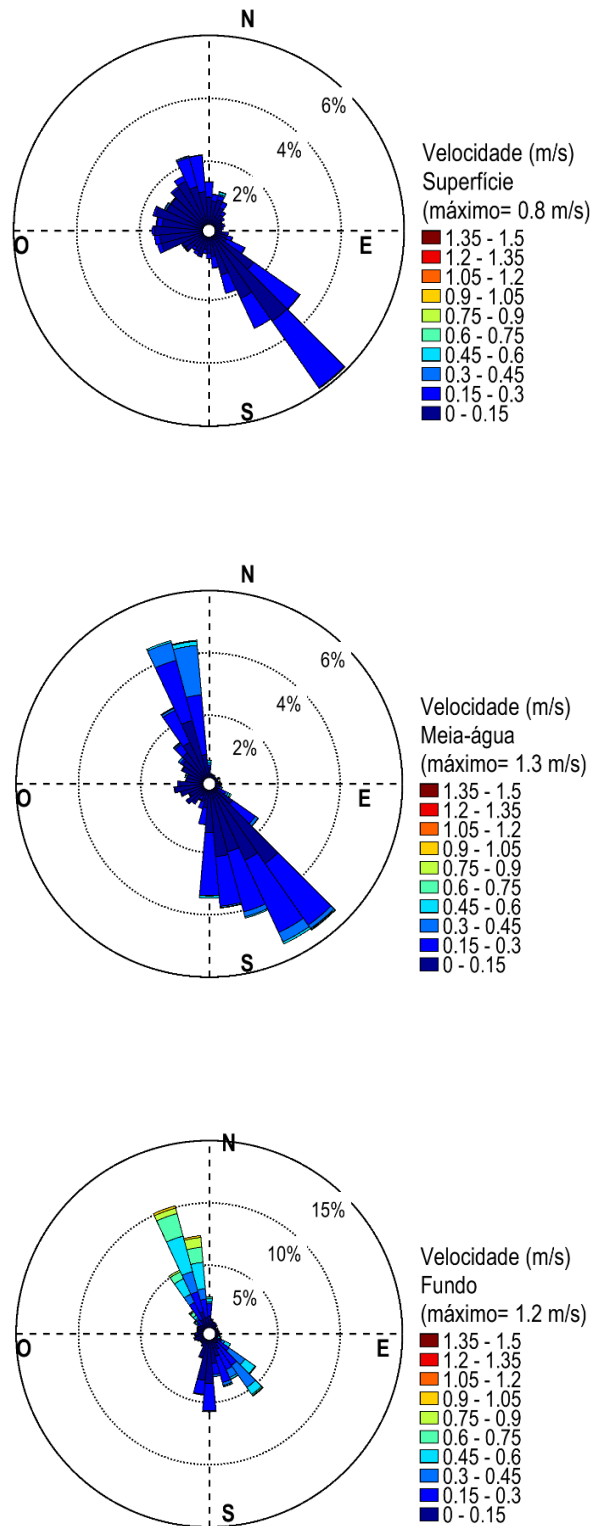


Figura 21: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP CJ-03.



## 4.2 Quadratura

O levantamento teve início 02/03/2020 17:54 (UTC) e se estendeu até 03/03/2020 10:45, totalizando cerca de 16 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.13 m/s na região superficial da coluna d'água, a 2.2 m de 31.2 m de profundidade, durante a vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.0005 m/s, medida próximo ao fundo durante a baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 10 e 12 horas de coleta (Figura 22), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.1 m/s. As maiores velocidades ocorreram na superfície da coluna de água (máximo de 1. m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 0.8 m/s), como se observa na Figura 24.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 24), com direções de vazante variando em torno de SE e de enchente em torno de N e NO, seguindo o alinhamento do Igarapé de Cujupe

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 0.75 m/s entre 3.5 h e 4.5 h, com um máximo de 0.8 m/s (Figura 22), o que representa uma redução de 27 % (0.35 m/s) em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao 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 CJ-03 durante o período de quadratura.

Tabela 7: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP CJ-03 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,13	0,0005
Direção	345,3	239,5
Período	vazante	baixa-mar
Hora de coleta	11,6	12,8
Data (UTC)	03/03/2020 7:56	03/03/2020 9:11
Profundidade (m) da medida	2,2	27,7
Profundidade da coluna de água (m)	31,2	31,2

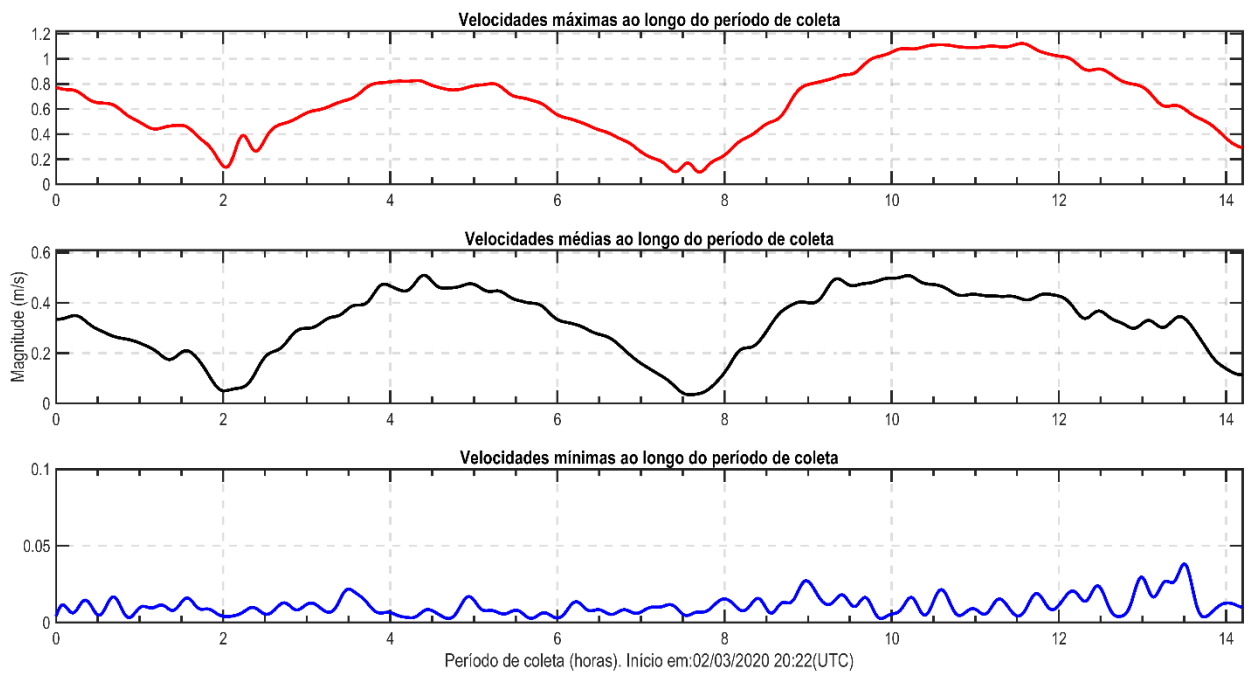


Figura 22: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP CJ-03.

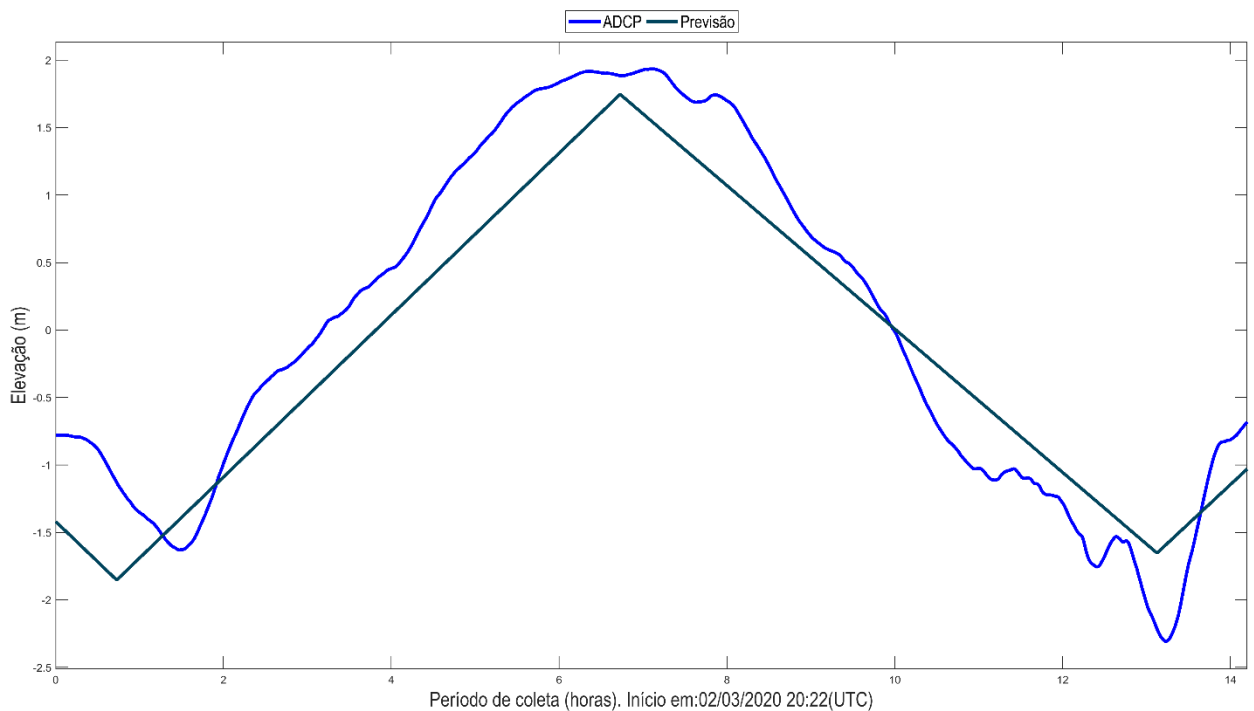


Figura 23: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-03. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

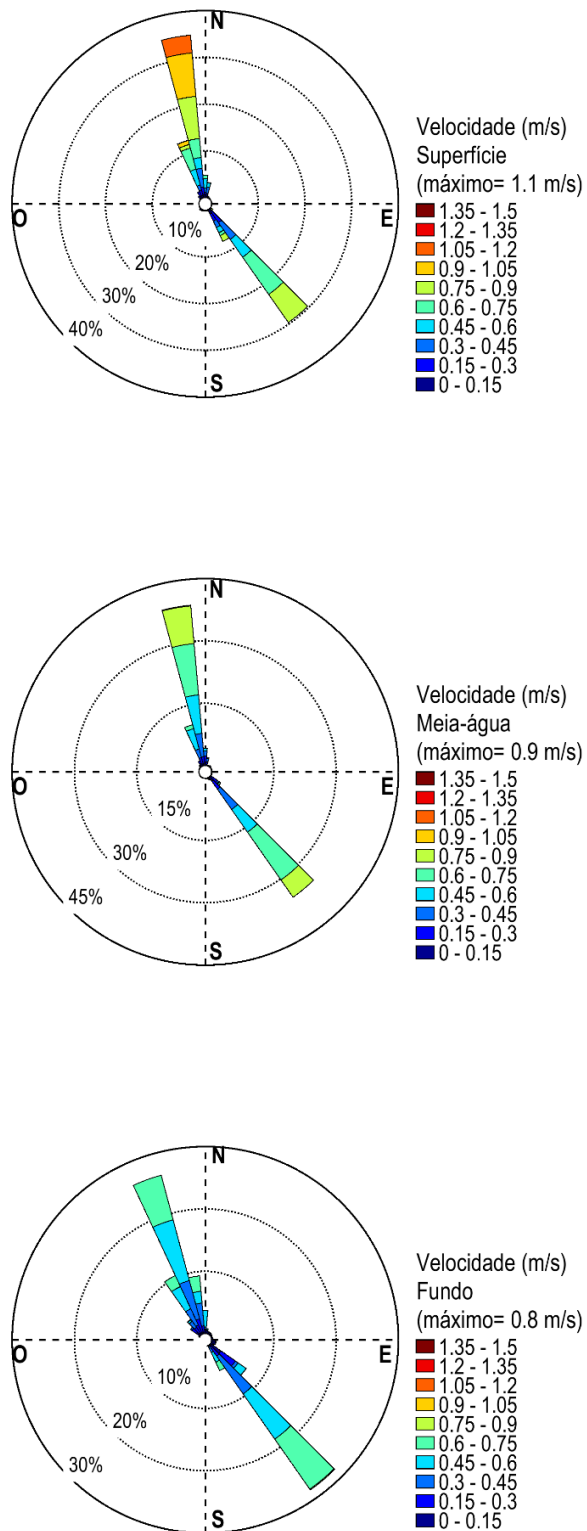


Figura 24: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-03.

#### 4.4.3 Análise integrada CJ-03: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.57 m/s e direção 342.5 (NO - N). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.13 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 28 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0.44 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, cerca de ~26 %, tanto para a sizígia quanto para a quadratura.

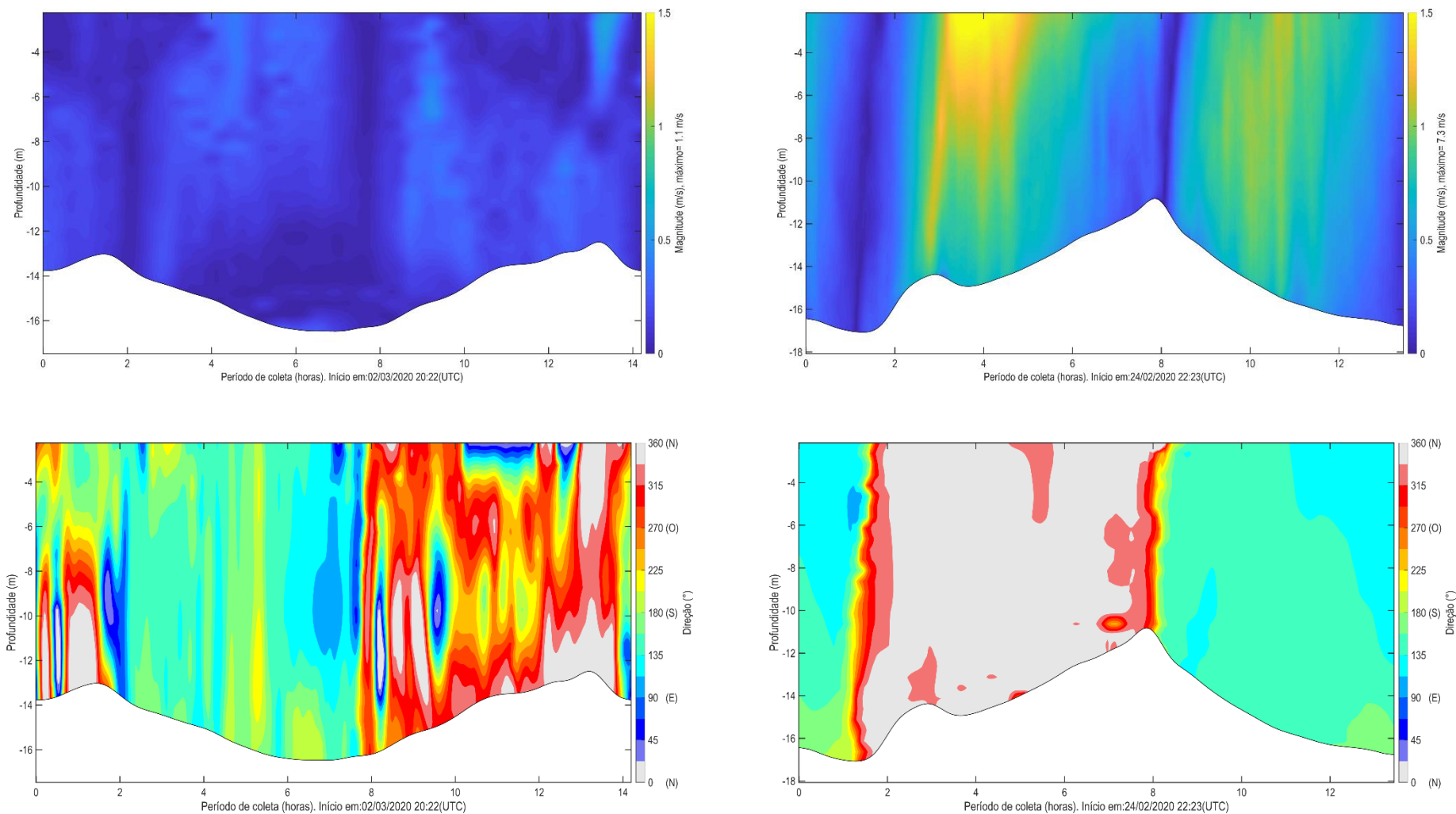


Figura 25: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP CJ-03.

#### 4.4 ADCP CJ-04

##### 4.5.1 Sizígia

O levantamento teve início 25/02/2020 16:11 (UTC) e se estendeu até 26/02/2020 06:18 (UTC), totalizando cerca de 14h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.22 m/s na região central da coluna d'água, a 12,9 m de 40,9 m de profundidade, durante o meio da enchente, enquanto a mínima de 0.0002 m/s foi registrada durante o estófo da preamar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 10.5 e 11 horas de coleta (Figura 26), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.8 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo ao fundo (máximo de 1.3 m/s), reduzindo em direção a superfície (máximo de 0.8 m/s), como se observa na Figura 28 e Figura 32.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 3 e 5 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1.5 m/s, o que representa uma redução de 17 % (0.3 m/s) em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 28), com direções de vazante variando em torno de S-SE e de enchente em torno de SO-O, seguindo o alinhamento do canal principal da Baía de São Marcos. Esse padrão atípico das correntes em relação aos outros pontos de coleta se deve pela proximidade da Ilha em frente a cidade de Alcântara, as correntes de maré de vazante são bloqueadas pela ilha e então desviadas com direção SO-O.

A Tabela 8 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta CJ-04 durante o período de quadratura.

Tabela 8: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta CJ-04 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
<b>Magnitude (m/s)</b>	2,22	0,0002
<b>Direção</b>	348,7	48,2
<b>Período</b>	meio da enchente	preamar
<b>Hora de coleta</b>	5,6	6,4
<b>Data (UTC)</b>	25/02/2020 21:54	25/02/2020 22:40
<b>Profundidade (m) da medida</b>	12,9	19,9
<b>Profundidade da coluna de água (m)</b>	40,9	40,9

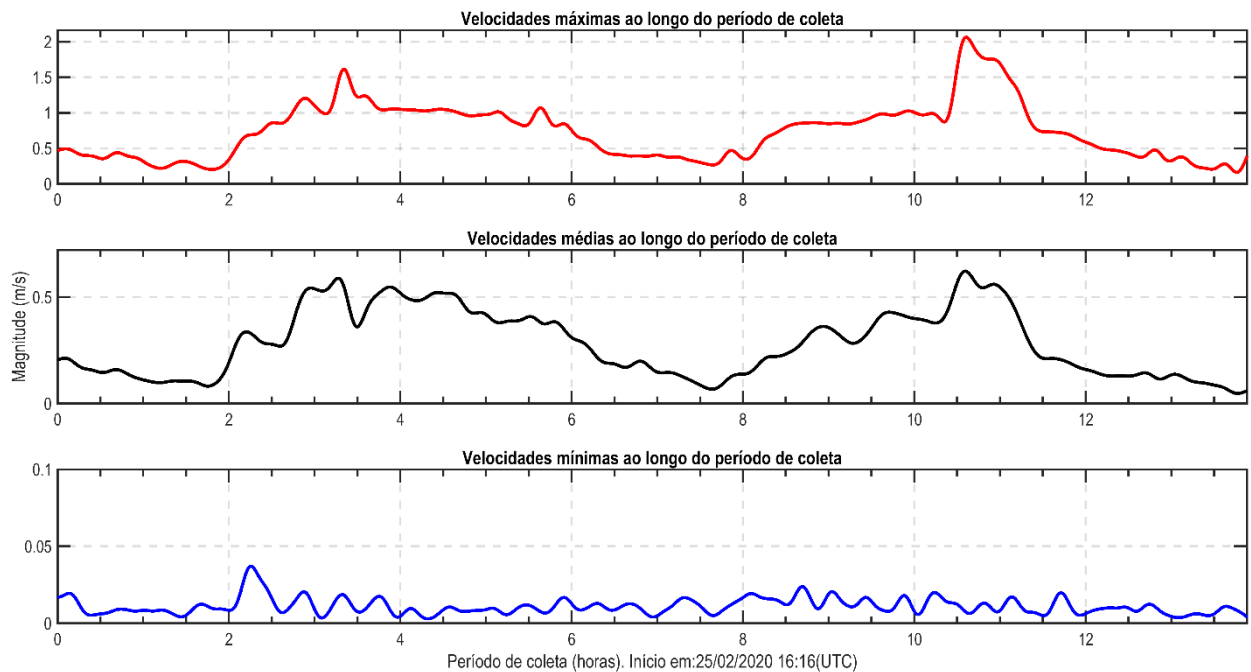


Figura 26: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP CJ-04.

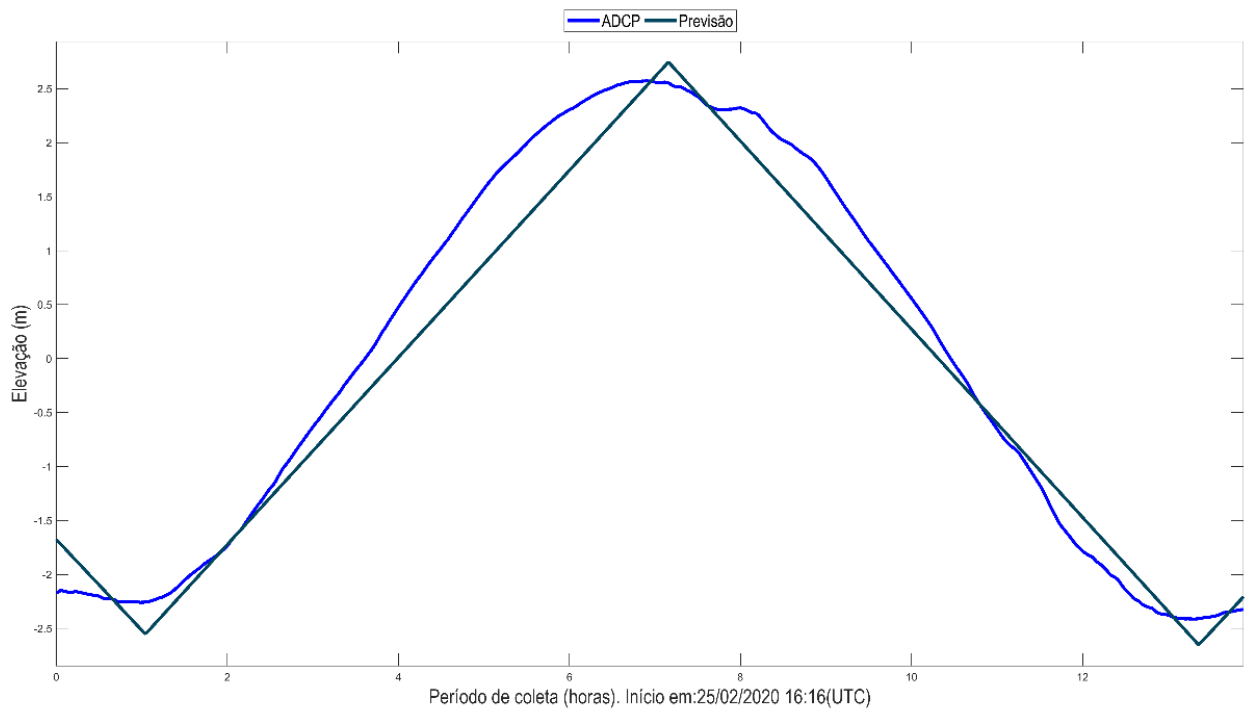


Figura 27: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP CJ-04. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira.

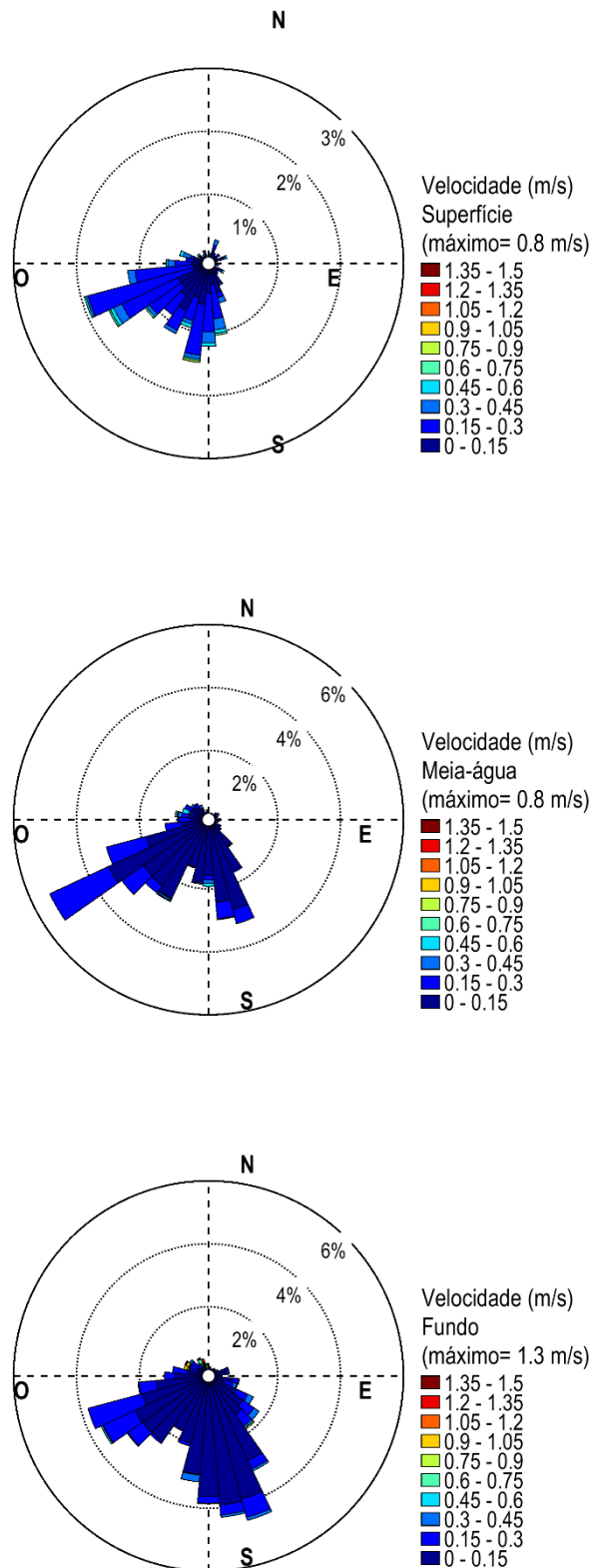


Figura 28: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP CJ-04.



#### 4.5.2 Quadratura

O levantamento teve início 03/03/2020 14:30 (UTC) e se estendeu até 04/03/2020 07:33, totalizando cerca de 16 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.29 m/s na região superficial da coluna d'água, a 6.1 m de 31.1 m de profundidade, durante a vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.0001 m/s, medida próximo à superfície durante a baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 4.5 e 5.2 horas de coleta (Figura 29), quando as maiores velocidades variaram em torno de 0.8 m/s. As maiores velocidades ocorreram na região central da coluna d'água (máximo de 1.3 m/s), reduzindo em direção a superfície (máximo de 0.9 m/s) e fundo (máximo de 1.2 m/s), como se observa na Figura 31 e Figura 32.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 31), com direções de vazante variando em torno de E-SE e de enchente em torno de S, seguindo o alinhamento da Baía de São Marcos.

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 0.6 m/s entre 10.5 h e 12.5 h, com um máximo de 0.65 m/s (Figura 29), o que representa uma redução de 19 % (0.15 m/s) em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a vazante.

A Tabela 9 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta CJ-04 durante o período de quadratura.

Tabela 9: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta CJ-04 durante o período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,29	0,0001
Direção	118,2	48,2
Período	enchente	baixa-mar
Hora de coleta	12,3	8,5
Data (UTC)	04/03/2020 2:48	03/03/2020 10:57
Profundidade (m) da medida	6,1	4,1
Profundidade da coluna de água (m)	31,1	31,1

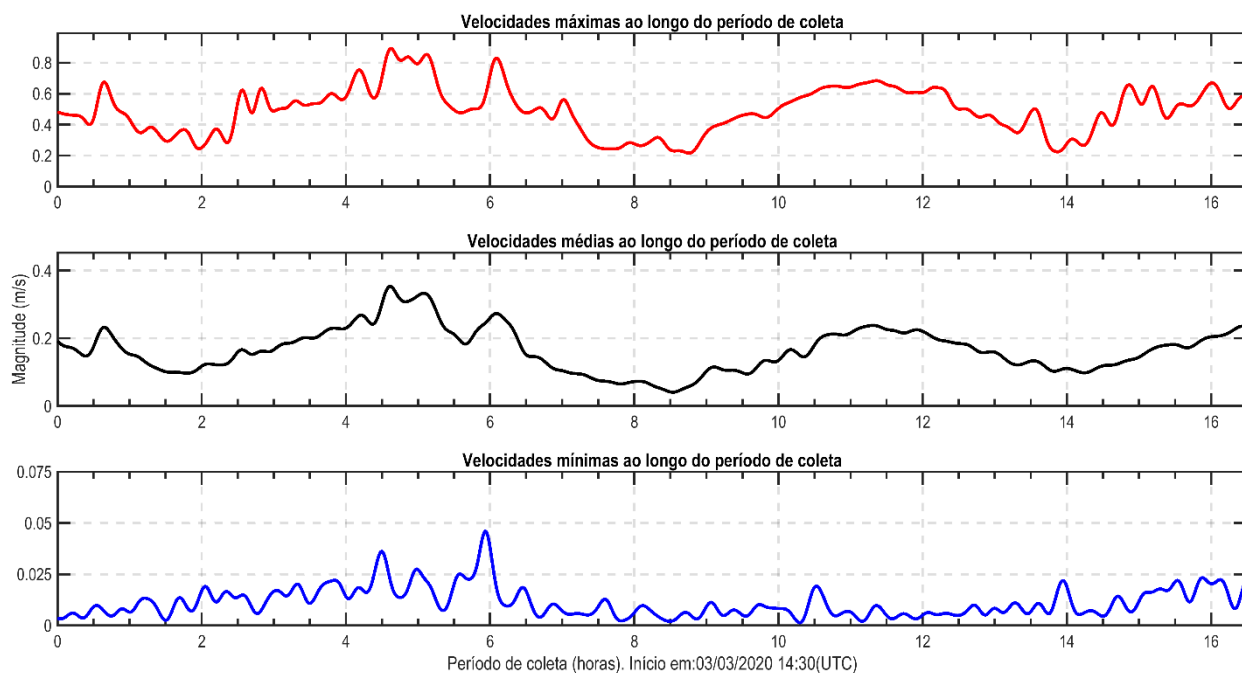


Figura 29: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP CJ-04.

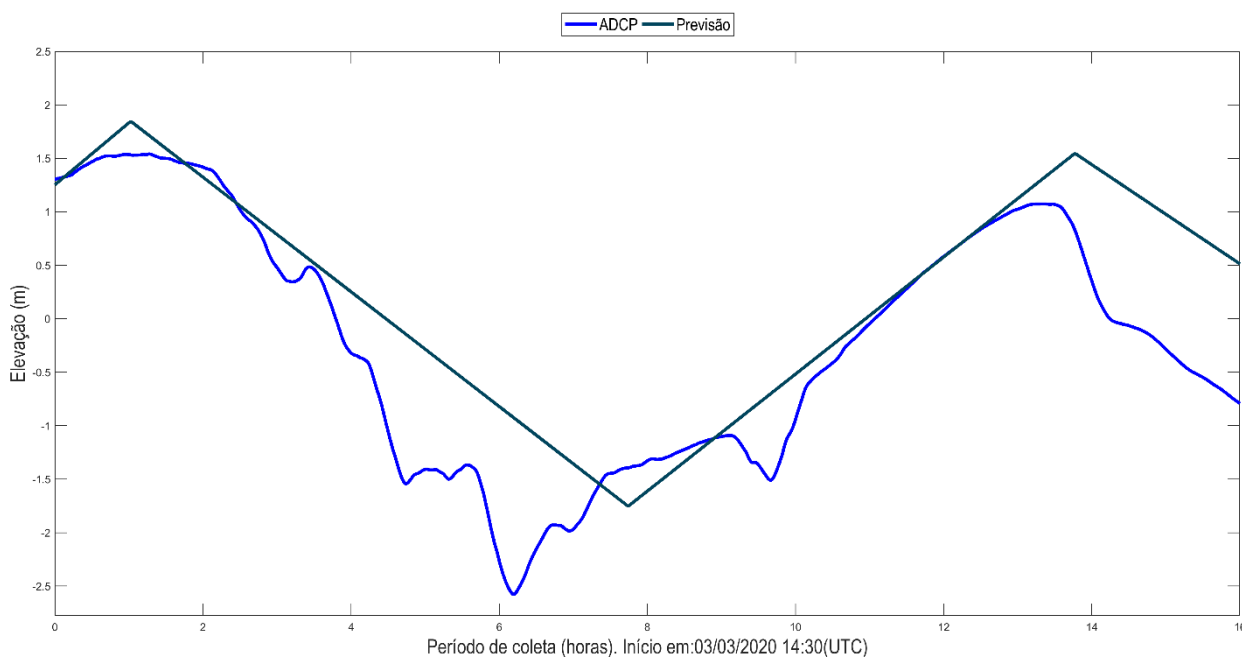


Figura 30: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-04. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DNH para o Terminal de Ponta da Madeira.

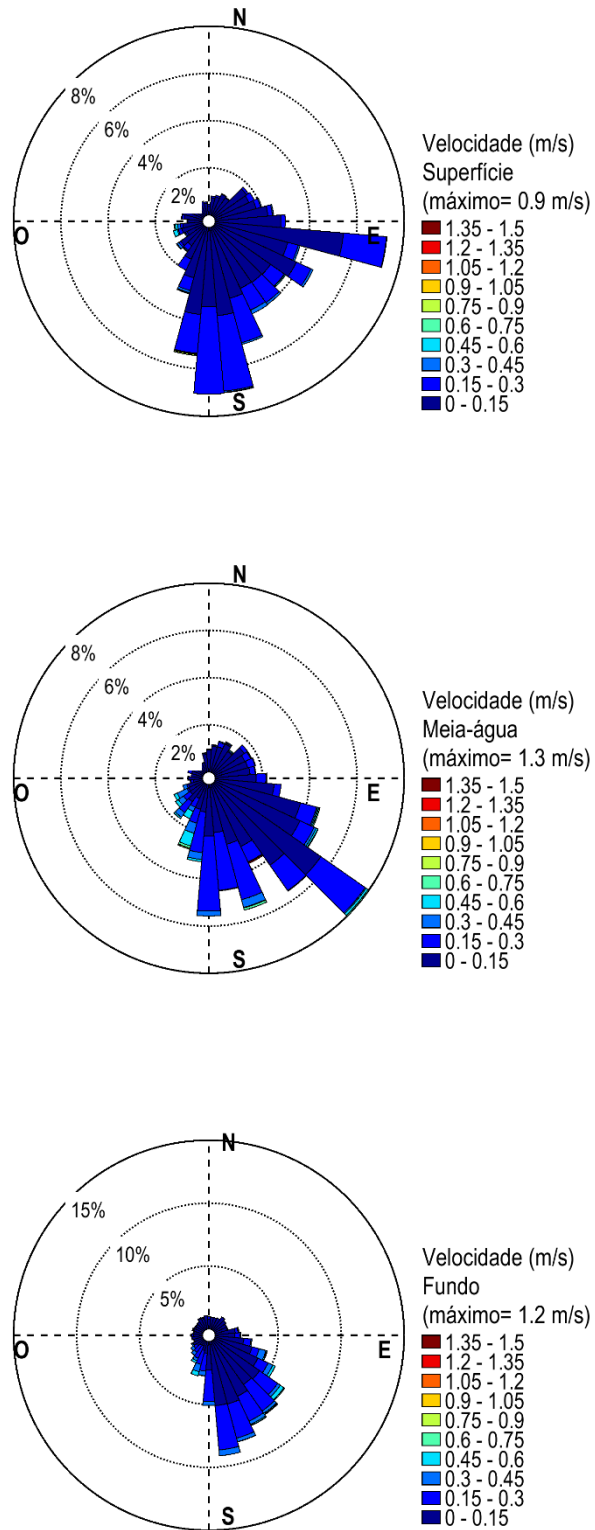


Figura 31: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP CJ-04.

#### 4.5.3 Análise integrada CJ-04: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a enchente de sizígia, com um valor máximo de 2.22 m/s e direção 349 (N - NO). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.29 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 42 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0.93 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças, com a maior diferença observada na quadratura, de 19 %, enquanto na sizígia foi de 17 %.

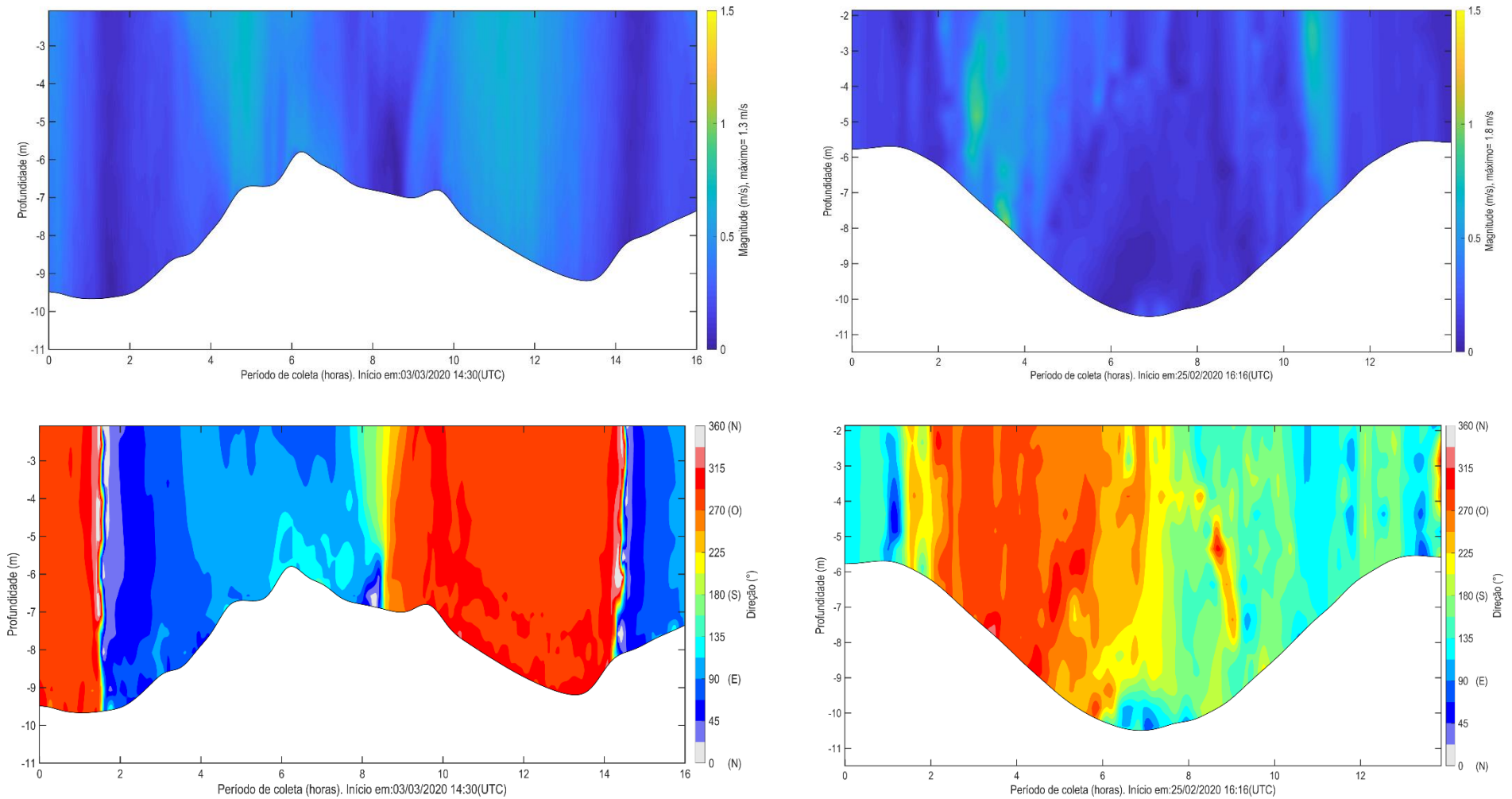


Figura 32: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP CJ-04.

## 4.5 ADCP AF-4B

### 4.6.1 Sizígia

O levantamento teve início 25/02/2020 15:28 (UTC) e se estendeu até 26/02/2020 06:08, totalizando cerca de 14.5h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.46 m/s na região central da coluna d'água, a 10.4 m de 29.4 m de profundidade, durante o meio da enchente, enquanto a mínima de 0.003 m/s foi registrada durante o estofa de preamar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a enchente entre 5 e 7 horas de coleta (Figura 33), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.4 m/s. As maiores velocidades se concentraram na região central da coluna d'água (máximo de 1.5 m/s) e permanecendo constante na superfície e fundo da coluna d'água como se observa na Figura 352 e Figura 39.

Durante a vazante as maiores velocidades ocorreram entre 10.5 e 11 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1.4 m/s, o que representa uma redução de 4% (0.06 m/s) em relação à máxima da enchente.

A Tabela 10 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-4b durante o período de sizígia.

Tabela 10: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-4b durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,46	0,003
Direção	236,6	167,4
Período	meio da enchente	preamar
Hora de coleta	5,7	8,7
Data (UTC)	25/02/2020 21:12	26/02/2020 0:11
Profundidade (m) da medida	10,4	27,9
Profundidade da coluna de água (m)	29,4	30,9

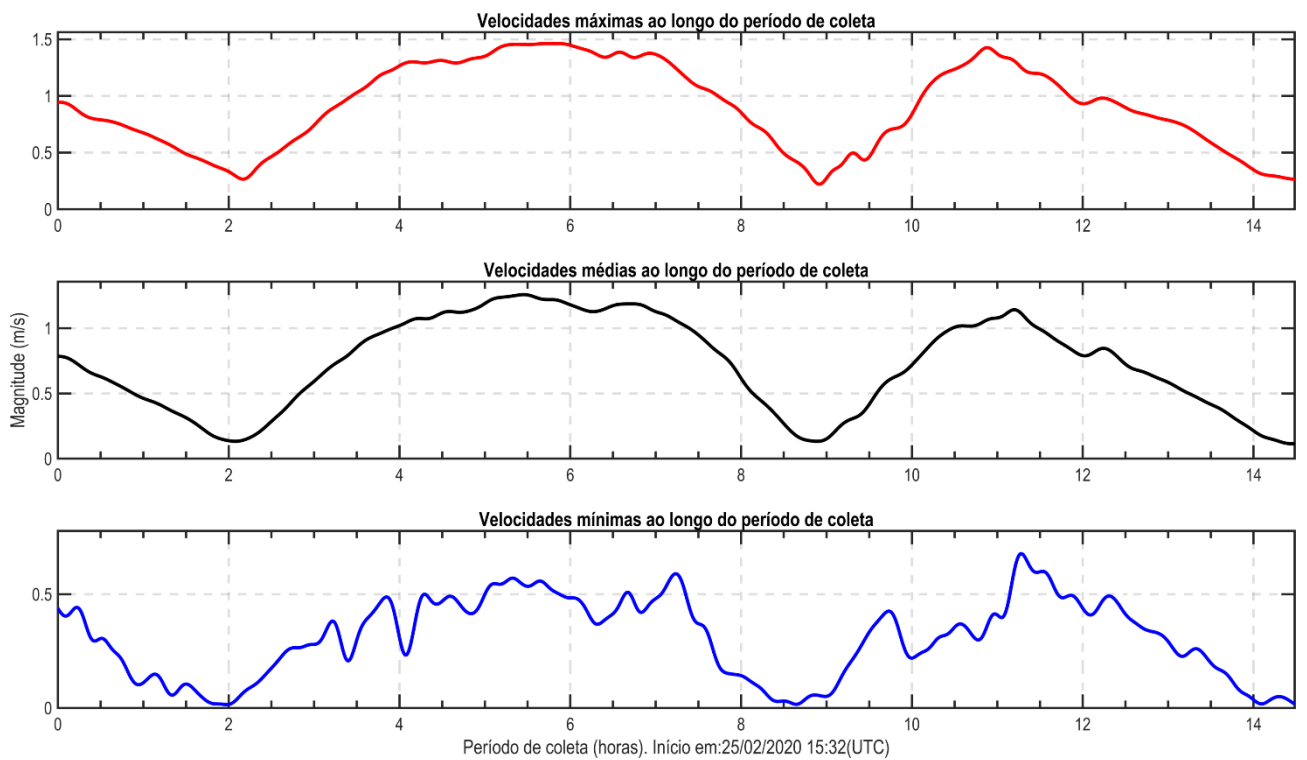


Figura 33: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP AF-4B.

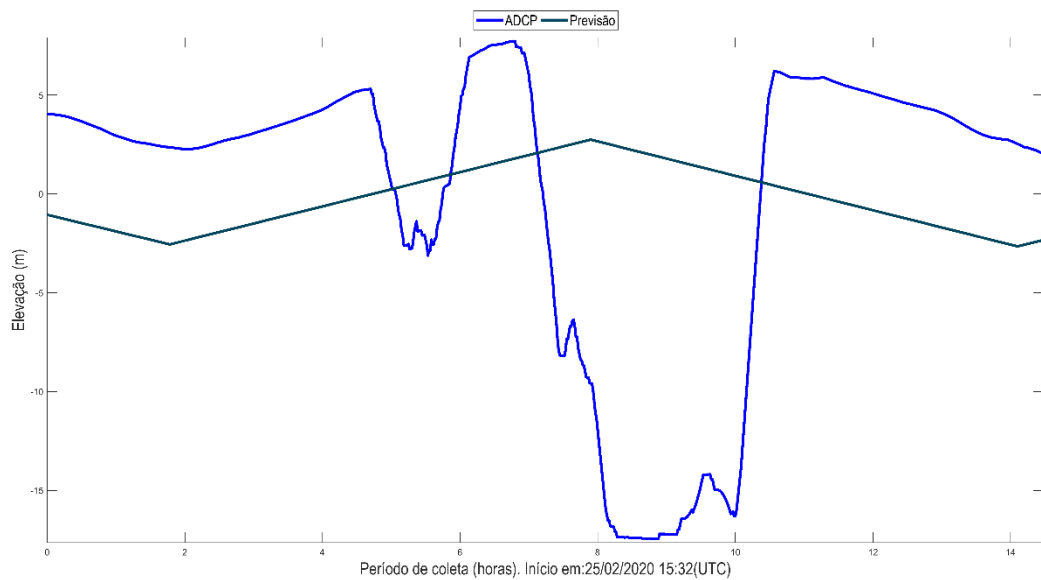


Figura 34: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4b. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira.

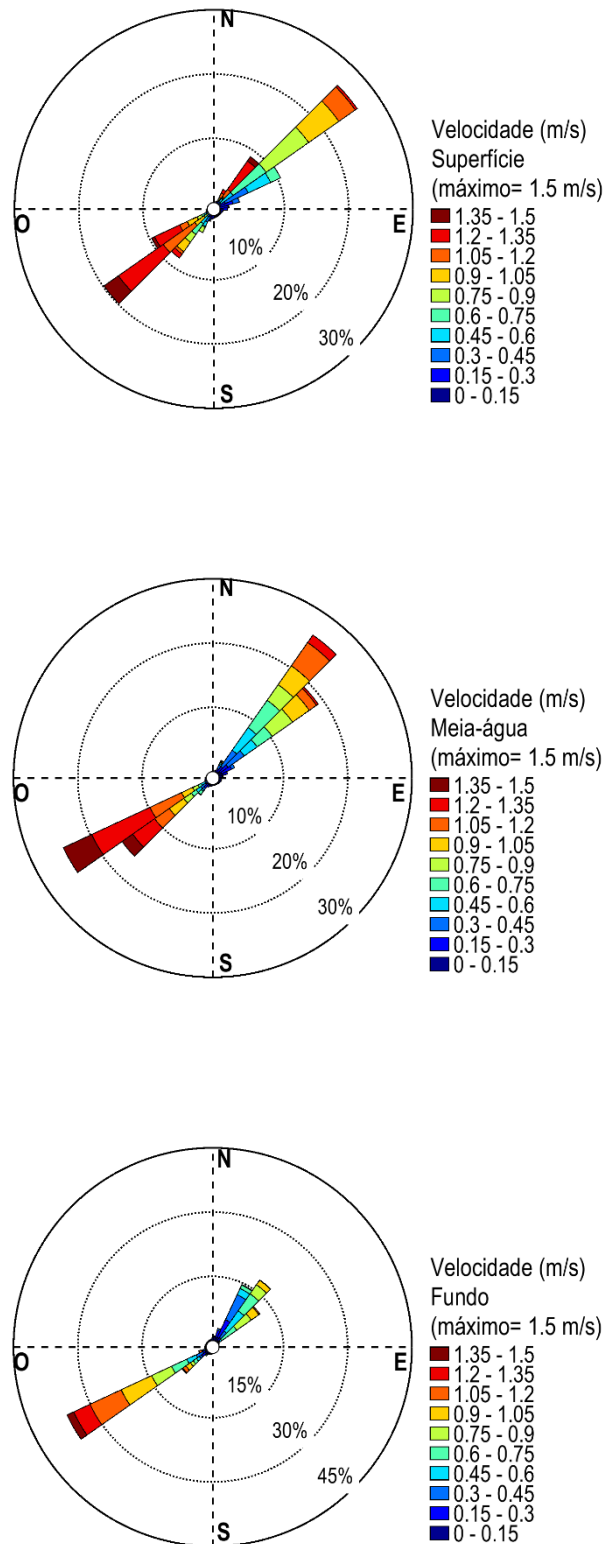


Figura 35: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP AF-4b.



#### 4.6.2 Quadratura

O levantamento teve início 03/03/2020 21:25 (UTC) e se estendeu até 04/03/2020 11:29 (UTC), totalizando cerca de 14 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.01 m/s na região central da coluna d'água, a 21 m de 33 m de profundidade, durante o meio da enchente, enquanto a mínima registrada foi de 0.002 m/s, medida próximo à região central durante o estófo de baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de enchente, entre 3.5 e 5.5 horas de coleta, quando as maiores velocidades variaram em torno de 0.9 m/s e com um máximo de 1 m/s (Figura 36) . Ao considerar os valores médios ao longo do tempo observa-se que as maiores velocidades de corrente permaneceram constantes ao longo da coluna d'água com um valor máximo de 1 m/s. (Figura 39).

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 38), com direções de enchente variando em torno de O e SO e de vazante em torno de NE, seguindo o alinhamento do canal da Baía de São Marcos.

Ao longo do período de vazante as máximas velocidades variaram em torno de 0.8 m/s entre 10.5 h e 11.5 h, com um máximo de 0.9 m/s (Figura 36), o que representa uma redução de 10% (0.1 m/s) em relação ao máximo registrado na enchente. Assim, de maneira similar ao observado na sizígia, as maiores velocidades ocorreram durante a enchente.

A Tabela 11 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta AF-4b durante o período de quadratura.

Tabela 11: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta PE-1 durante o período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
<b>Magnitude (m/s)</b>	1,01	0,002
<b>Direção</b>	251,7	70,0
<b>Período</b>	meio da enchente	baixa-mar
<b>Hora de coleta</b>	4,6	13,4
<b>Data (UTC)</b>	04/03/2020 2:01	04/03/2020 10:51
<b>Profundidade (m) da medida</b>	21,0	20,0
<b>Profundidade da coluna de água (m)</b>	33,0	30,5

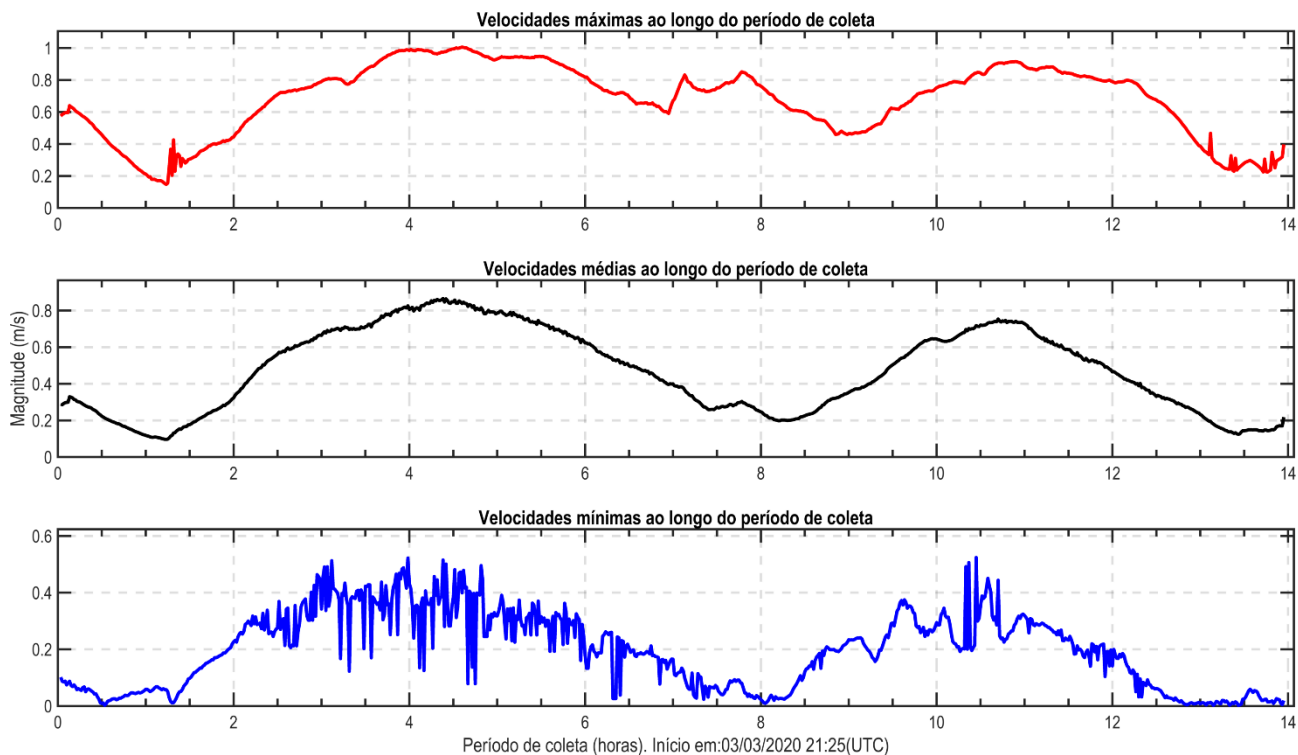


Figura 36: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b.

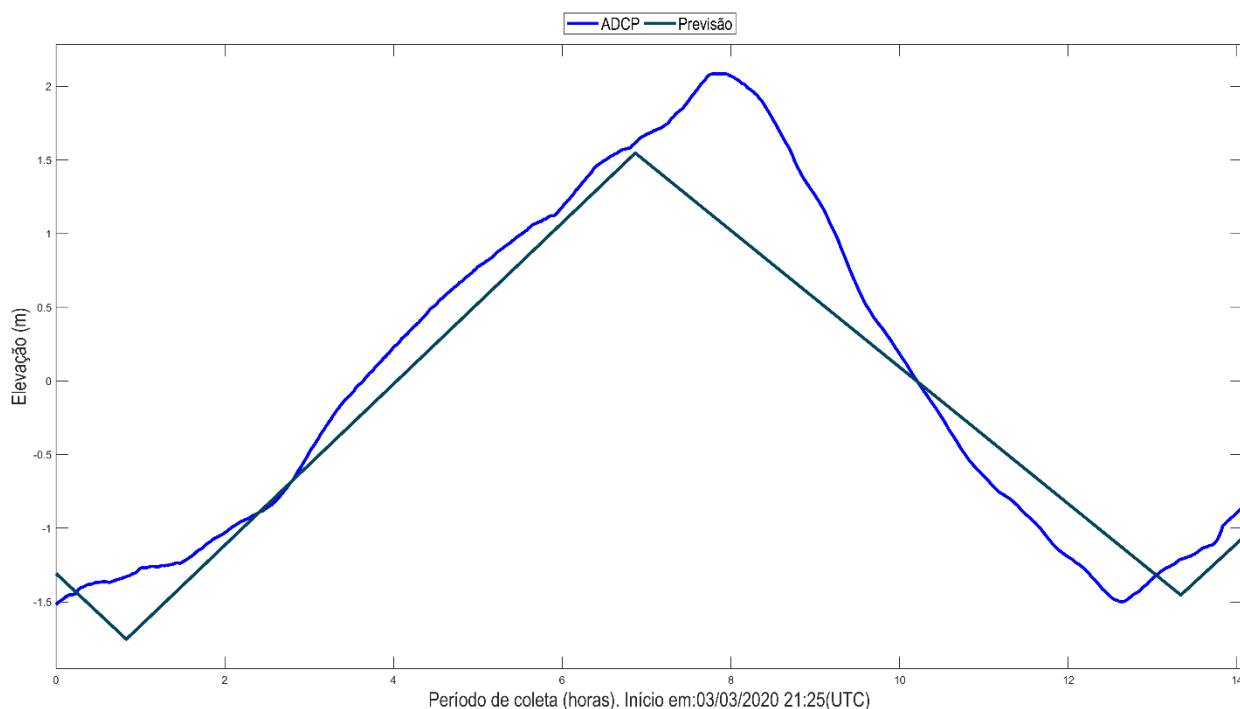


Figura 37: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Porto do Itaqui.

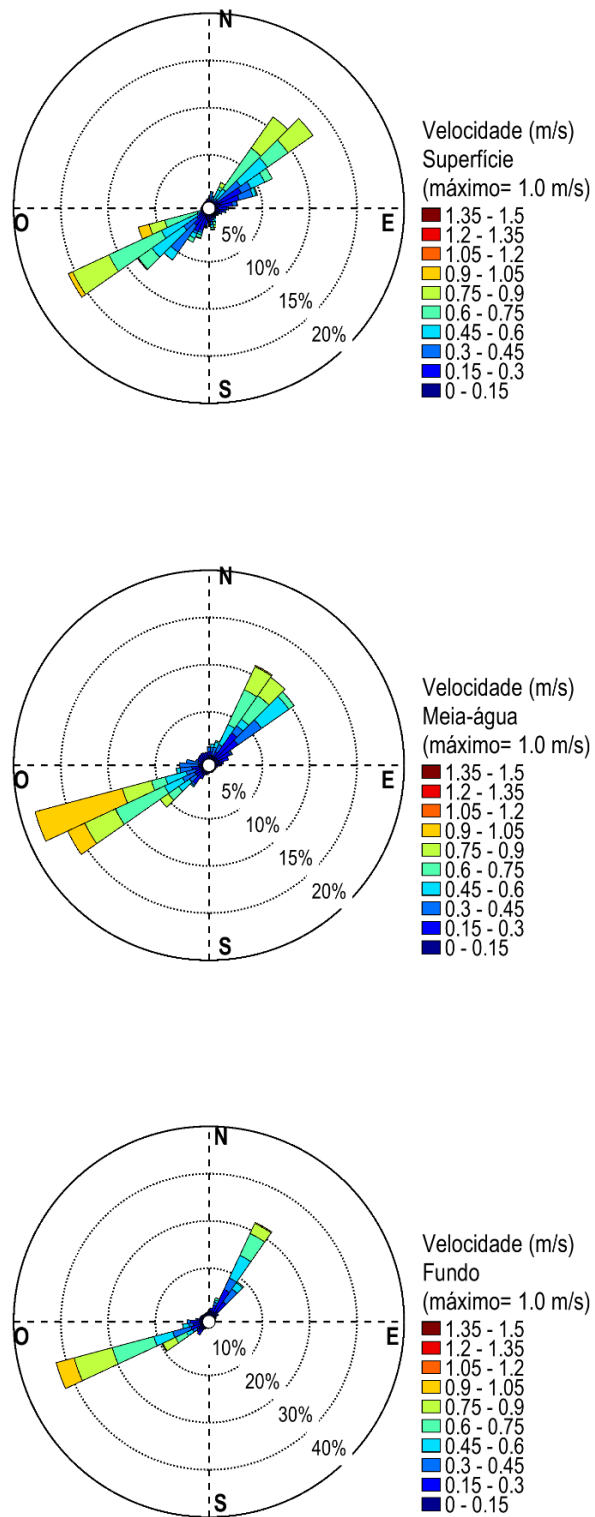


Figura 38: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP AF-4b.

#### 4.6.3 Análise integrada AF-4b: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a enchente de sizígia, com um valor máximo de 1.46 m/s e direção 236.6 (SO). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.01 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 31 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0.45 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças, com a maior diferença observada na quadratura, de 10 % (0.1 m/s), enquanto na sizígia foi de apenas 4 % (0.06 m/s).

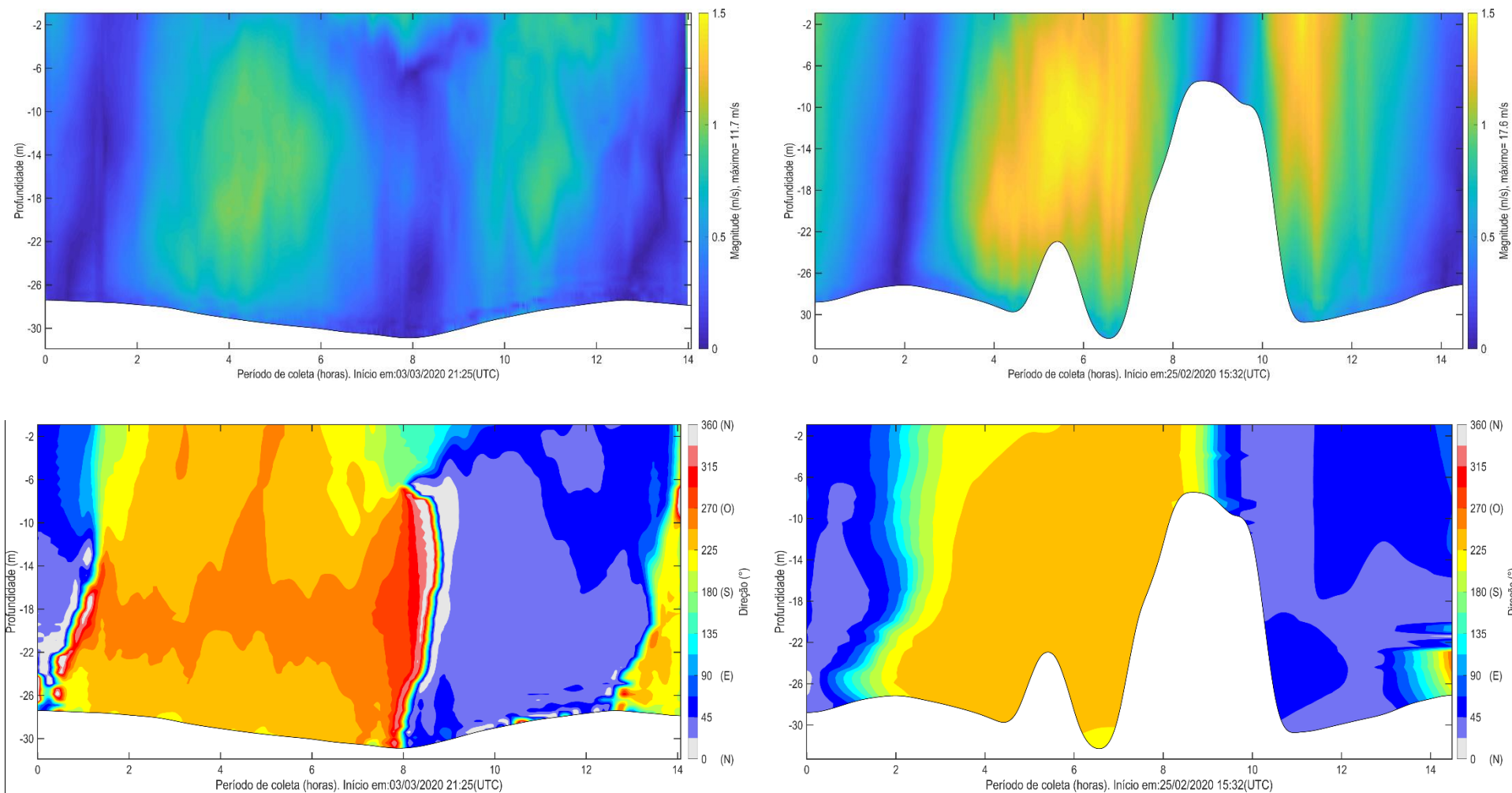


Figura 39: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP AF-4b.

## 4.6 ADCP SJ-02

### 4.7.1 Sizígia

O levantamento teve início 08/03/2020 20:56 (UTC) e se estendeu até 09/03/2020 16:21 (UTC), totalizando cerca de 19h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.36 m/s na região central da coluna d'água, a 9.3 m de 29.3 m de profundidade, durante a vazante, enquanto a mínima de 0.0003 m/s foi registrada durante a baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 2 e 4 horas de coleta (Figura 40), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.3 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à região central da coluna d'água (máximo de 1.4 m/s), reduzindo em direção ao fundo e superfície (máximo de 1.3 m/s), como se observa na Figura 40, Figura 42 e Figura 46.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 8 e 10 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 1 m/s, e, variando em torno de 0.8 m/s, o que representa uma redução de 23 % (0.3 m/s) em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água, com direção de vazante em torno de E-NE e de enchente variando em torno de O - SO, seguindo o alinhamento da Baía de São José na região medida. (Figura 42).

**A Erro! Fonte de referência não encontrada.** resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta SJ-02 durante o período de sizígia.

Tabela 12: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta AF-7 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1,36	0,0003
Direção	73,2	318,2
Período	vazante	baixamar
Hora de coleta	2,3	17,7
Data (UTC)	08/03/2020 23:19	09/03/2020 14:44
Profundidade (m) da medida	9,3	15,8
Profundidade da coluna de água (m)	29,3	31,3

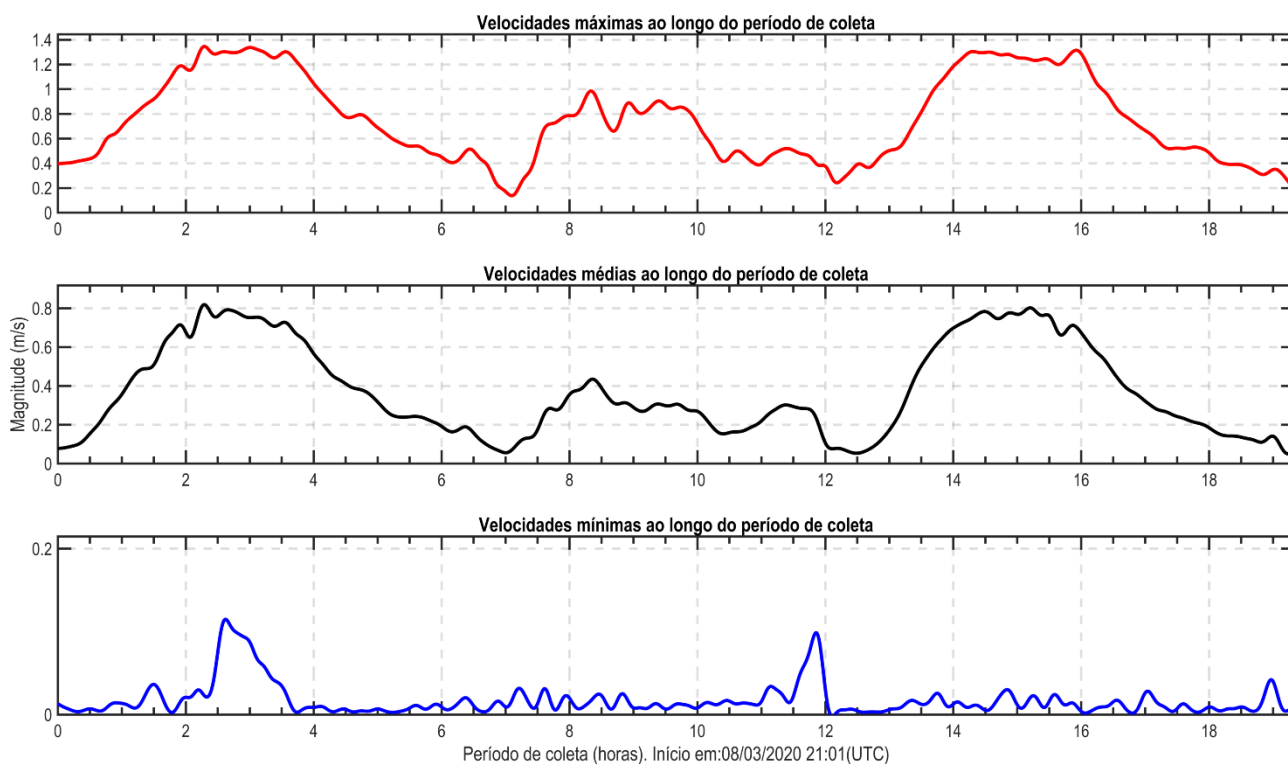


Figura 40: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP SJ-02.

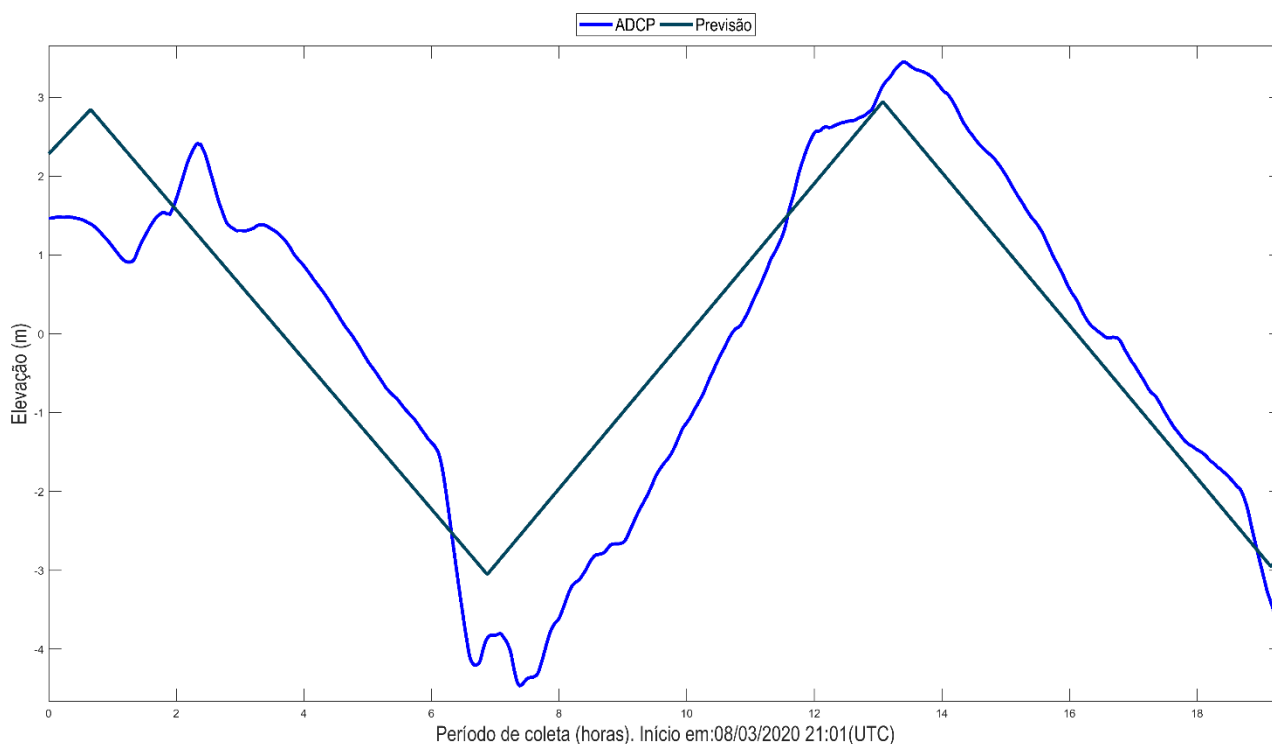


Figura 41: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-02. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira.

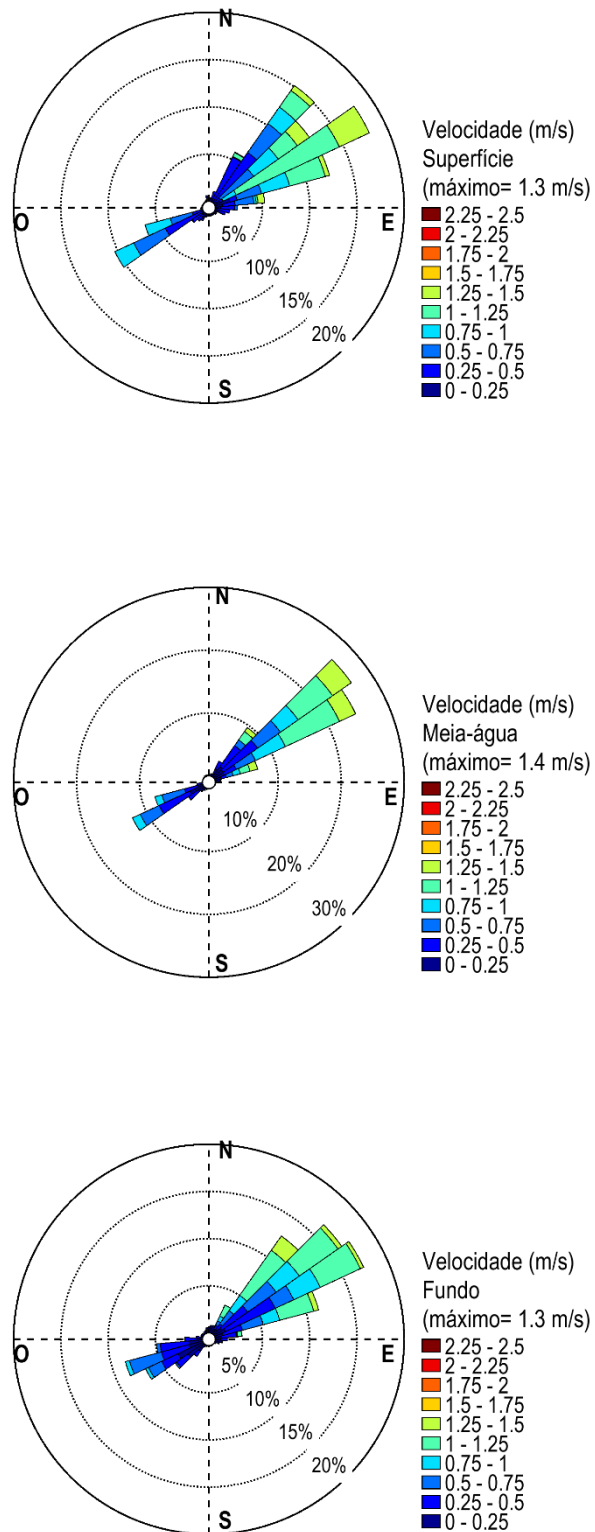


Figura 42: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-02.



#### 4.7.2 Quadratura

O levantamento teve início 17/03/2019 21:57 (UTC) e se estendeu até 18/03/2020 11:37 (UTC), totalizando cerca de 13,5 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 0.78 m/s na região superficial da coluna d'água, a 1.5 m de 25.5 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.0002 m/s, medida após início da enchente.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 8.5 e 9.5 horas de coleta (Figura 43, Figura 44), quando as maiores velocidades variaram em torno de 0.7 m/s e com um máximo de 0.8 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 45), com direções de vazante variando em torno de NE e de enchente em torno de O-SO, seguindo o alinhamento da baía de São José na região do ponto de coleta.

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 0.5 m/s entre 2.5 h e 4.5 h, com um máximo de 0.6 m/s (Figura 43 e Figura 44), o que representa uma redução de 25% (0.2 m/s) em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar aos outros levantamentos na Baía de São José as maiores velocidades ocorreram durante os períodos de vazante tanto para os períodos de sizígia quanto para os de quadratura.

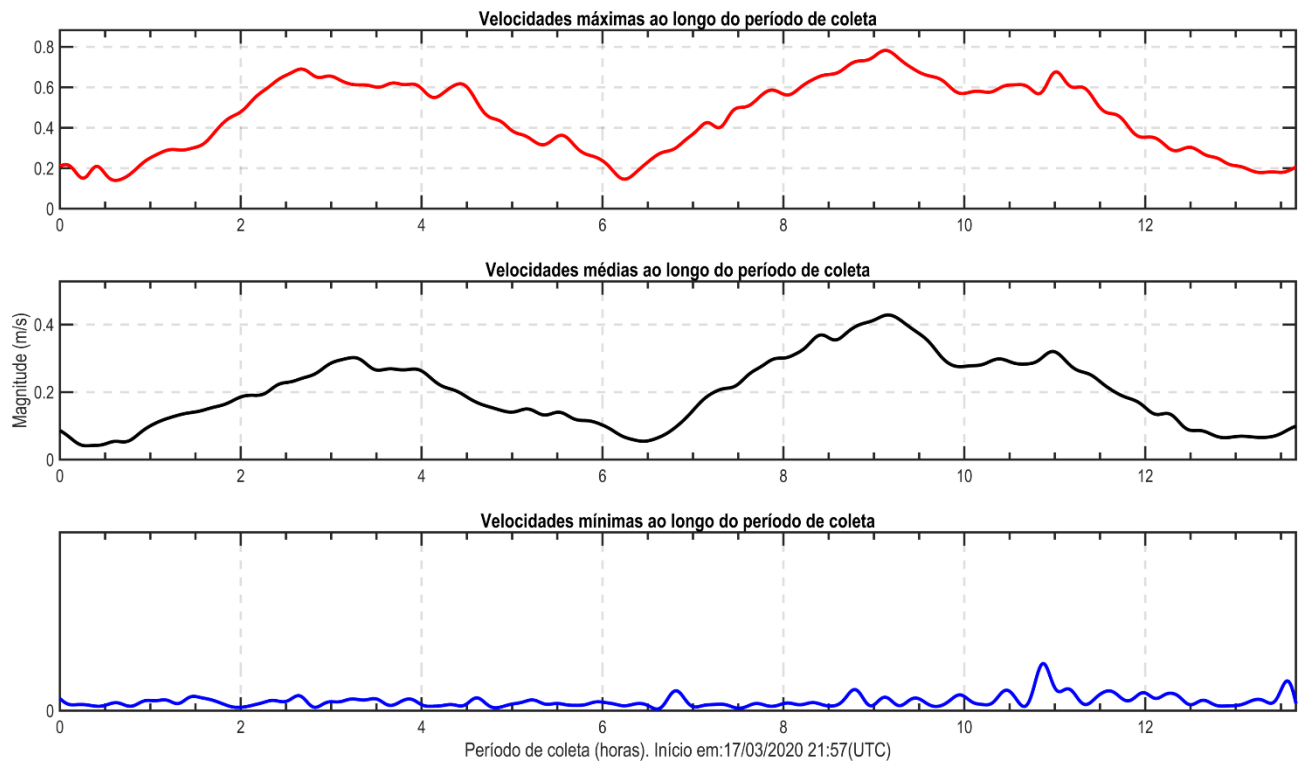


Figura 43: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP SJ-02.

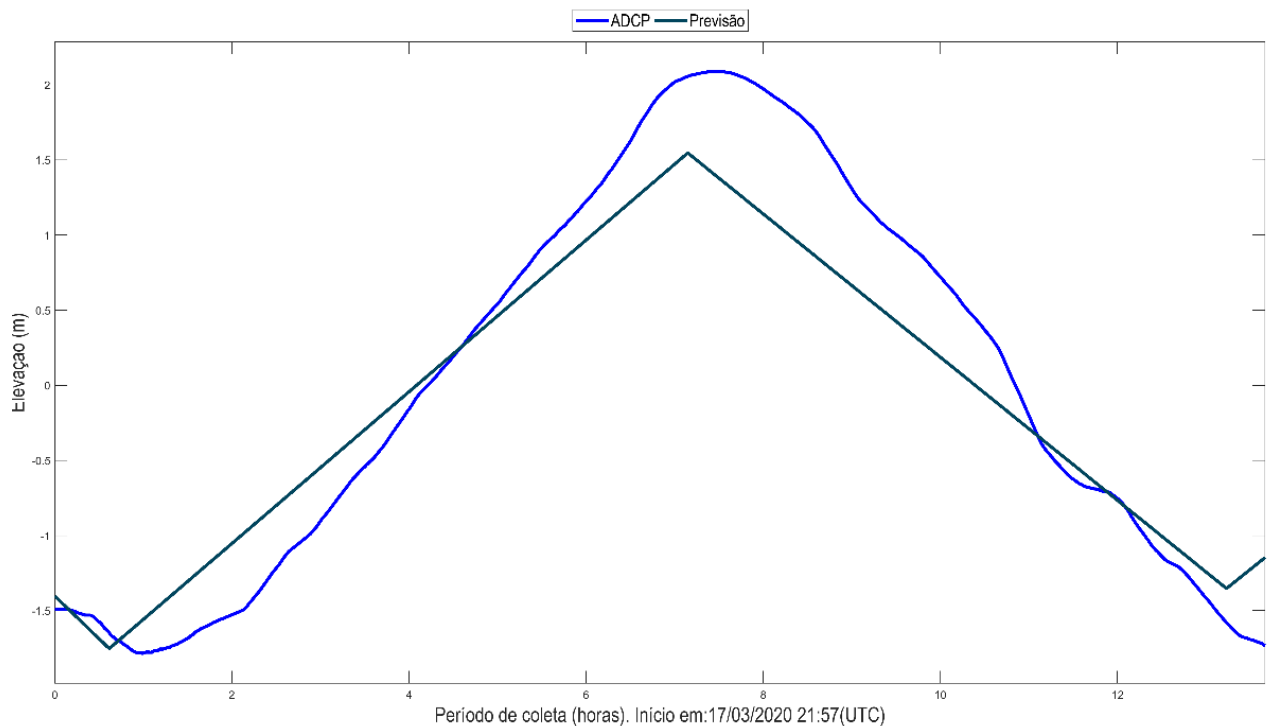


Figura 44: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-02. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira.

A Tabela 13 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta SJ-02 durante o período de quadratura.

Tabela 13: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP SJ-02 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	0.78	0.0002
Direção	41.3	318.2
Período	Meio da vazante	Início da enchente
Hora de coleta	9.1	4.7
Data (UTC)	18/03/2020 7:05	18/03/2020 2:38
Profundidade (m) da medida	1.5	17.5
Profundidade da coluna de água (m)	25.5	25.5

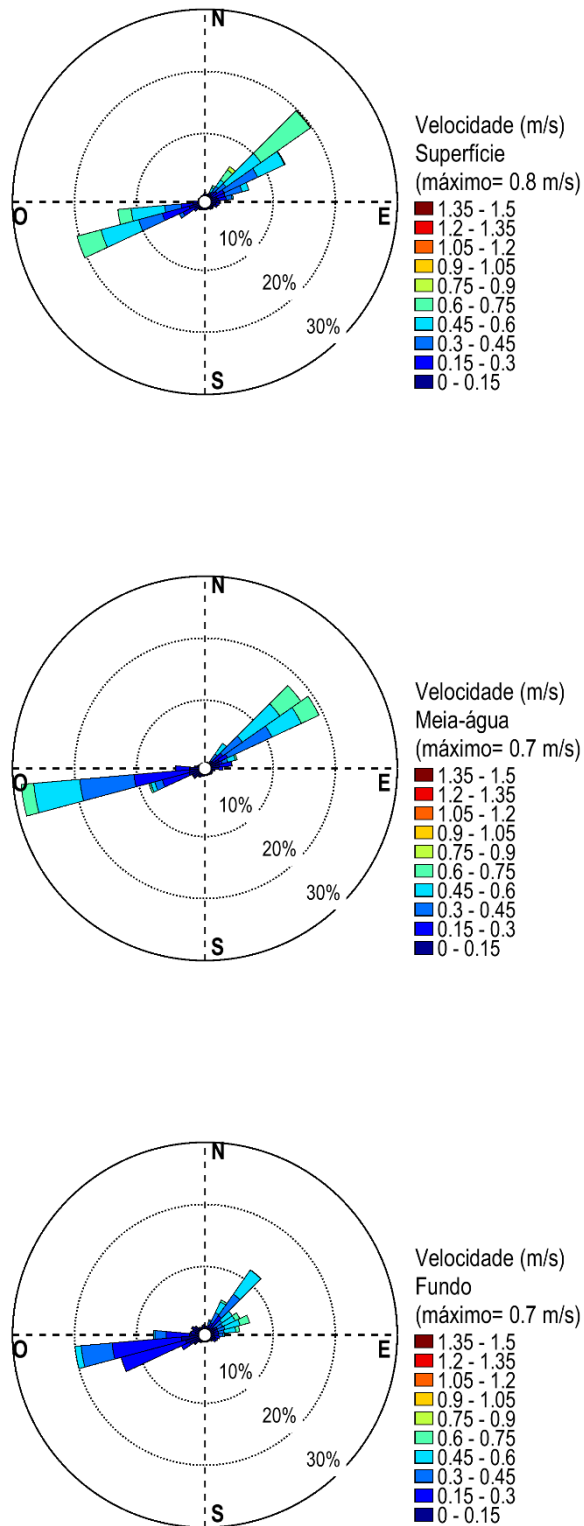


Figura 45: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-02.

#### 4.7.3 Análise integrada SJ-02: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a enchente de sizígia, com um valor máximo de 1.36 m/s e direção 73.2 (NE). Na quadratura o máximo registrado foi de 0.78 m/s, registrado durante o meio da vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 42 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0.58 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram expressivas, com a maior diferença observada na quadratura, de 25 % (0.2 m/s), enquanto na sizígia foi de 23 % (0.3 m/s).

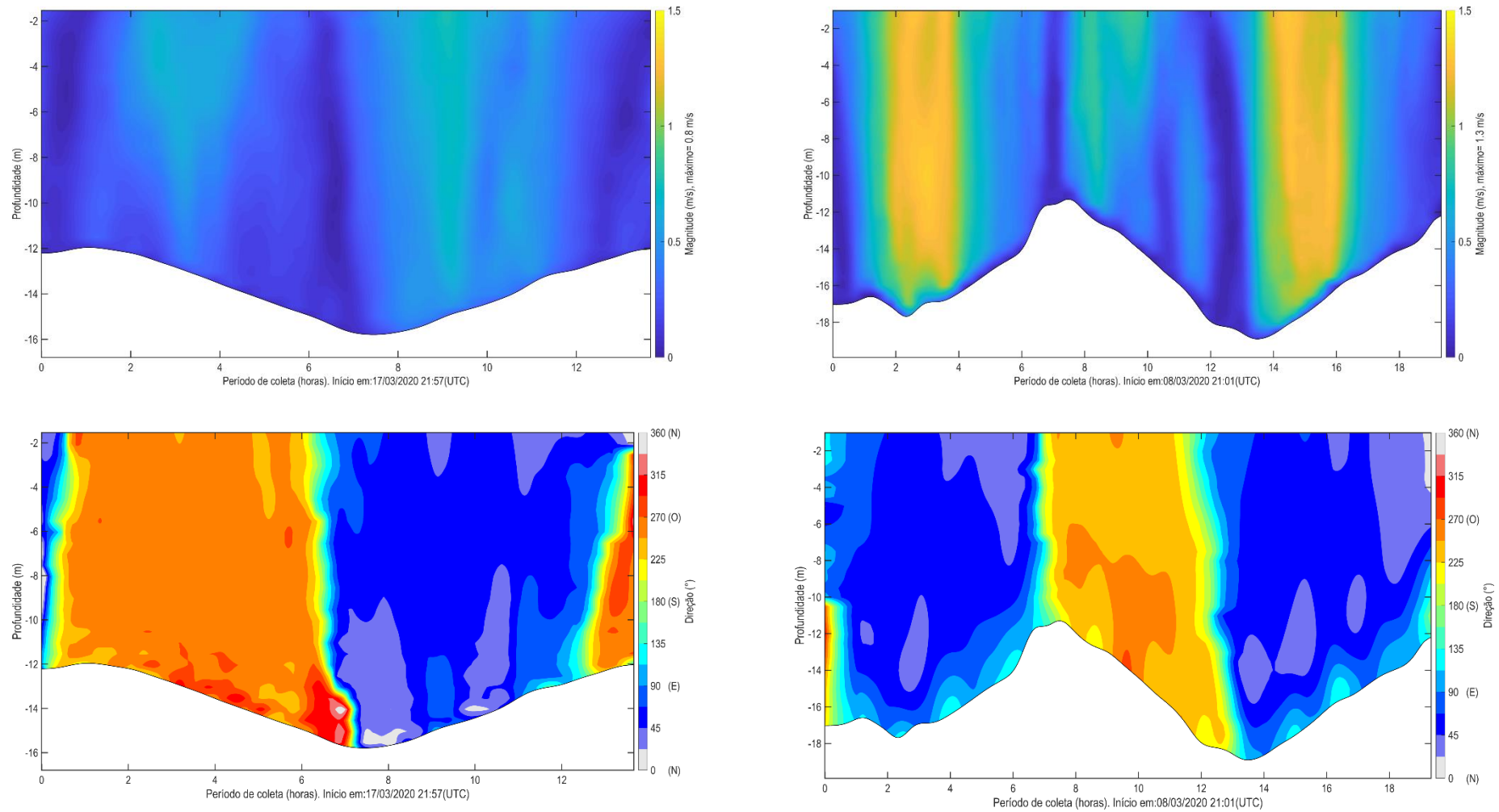


Figura 46: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP SJ-02.

#### 4.1 ADCP SJ-03

##### 4.7.1 Sizígia

O levantamento teve início 10/03/2020 06:20 (UTC) e se estendeu até 10/03/2020 23:02 (UTC), totalizando cerca de 16,5h de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 3.14 m/s na região central da coluna d'água, a 19.7 m de 26.2 m de profundidade, no meio da vazante, enquanto a mínima de 0.0004 m/s foi registrada durante a baixa-mar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 7 e 9 horas de coleta (Figura 47), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2.7 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 3 m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 2.6 m/s), como se observa na Figura 47, Figura 49 e Figura 53.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 13 e 15 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 2.4 m/s, o que representa uma redução de apenas 24% (0.74 m/s) em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d'água (Figura 49), com direção de vazante em torno de N - NE e de enchente variando em torno de S - SO, seguindo o alinhamento da Baía de São José na região medida. (Figura 49).

**A Erro! Fonte de referência não encontrada.** resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta SJ-03 durante o período de sizígia.

Tabela 14: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SJ-03 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	3,14	0,0004
Direção	37,1	183,2
Período	meio da vazante	baixa-mar
Hora de coleta	8,0	11,3
Data (UTC)	10/03/2020 14:21	10/03/2020 17:41
Profundidade (m) da medida	19,7	19,2
Profundidade da coluna de água (m)	26,2	25,2

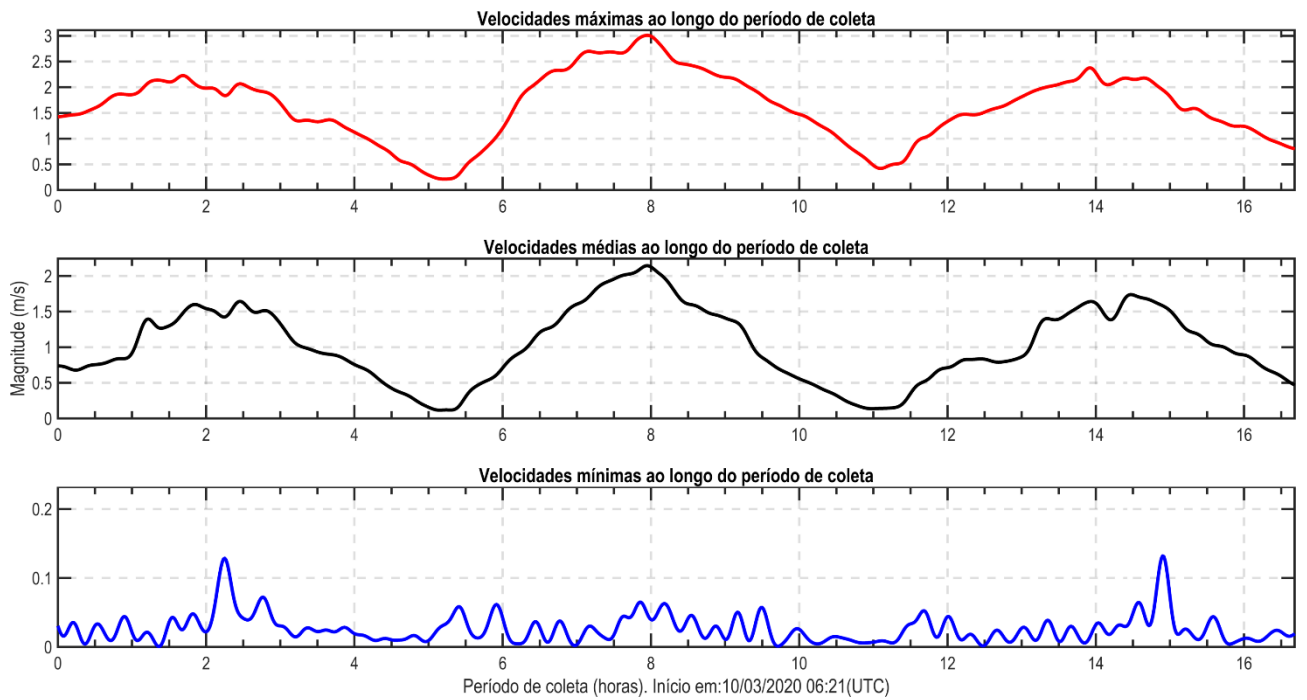


Figura 47: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP SJ-03.

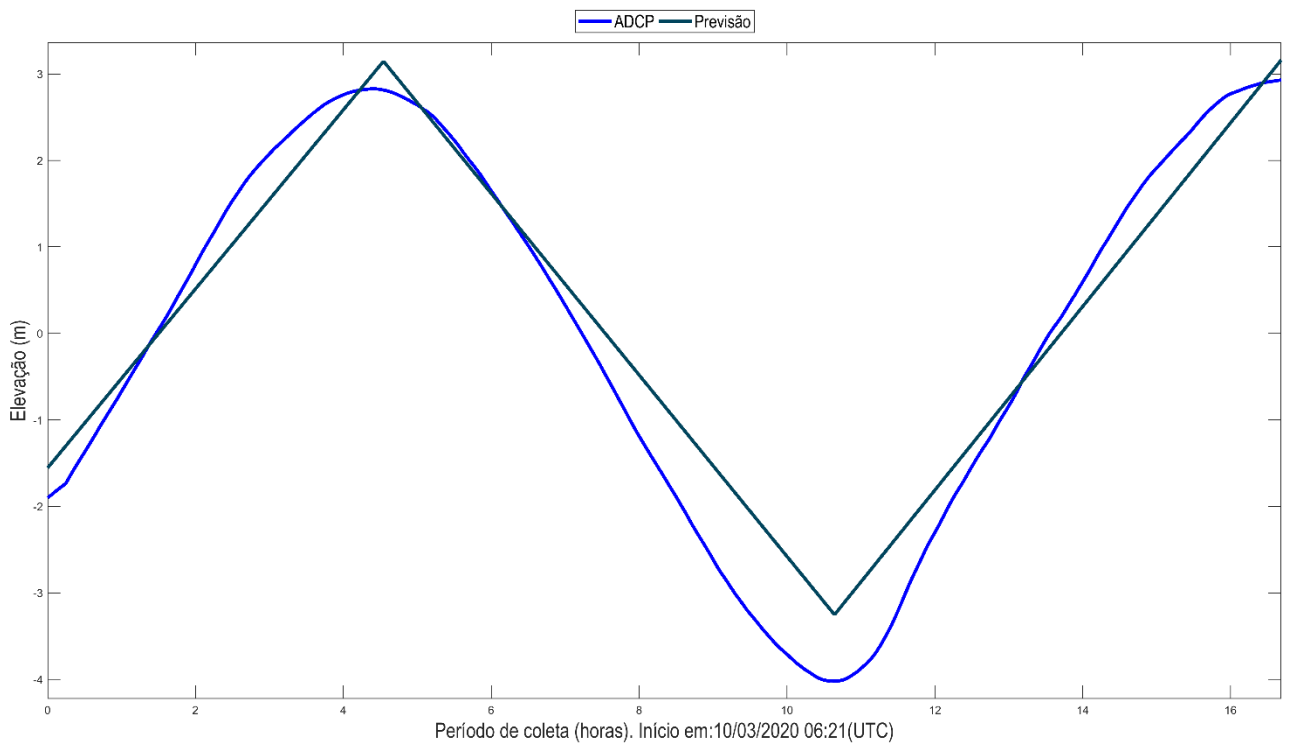


Figura 48: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-03. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira.



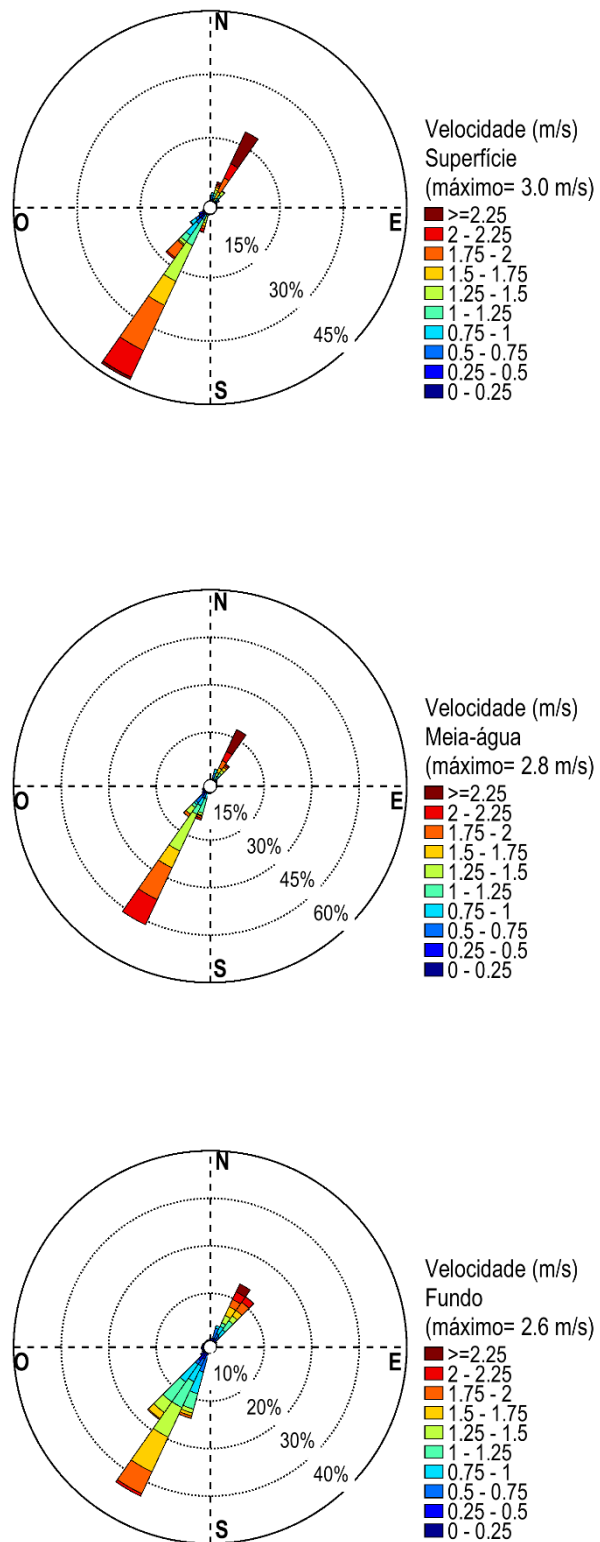


Figura 49: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-03.

#### 4.7.2 Quadratura

O levantamento teve início 18/03/2020 15:22 (UTC) e se estendeu até 19/03/2020 06:33 (UTC), totalizando cerca de 14,5 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.41 m/s na região central da coluna d'água, a 6.2 m de 29.7 m de profundidade, durante o meio da vazante, enquanto a mínima registrada foi de 0.0006 m/s, medida durante o início da enchente.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de vazante, entre 5 e 7 horas de coleta (Figura 50 e Figura 51), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.3 m/s, com um máximo de 1.4 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 52 e Figura 53), com direções de vazante variando em torno de N-NE e de enchente em torno de SO, seguindo o alinhamento da baía de São José na região do ponto de coleta.

Ao longo do período de enchente as máximas velocidades variaram em torno de 1. m/s entre 11.5 h e 13.5 h, com um máximo de 1.1 m/s (Figura 50), o que representa uma redução de 21% (0.3 m/s) em relação ao máximo registrado na vazante. Assim, de maneira similar aos levantamentos realizados na Baía de São José as maiores velocidades ocorreram durante os períodos de vazante tanto para os períodos de sizígia quanto para os de quadratura.

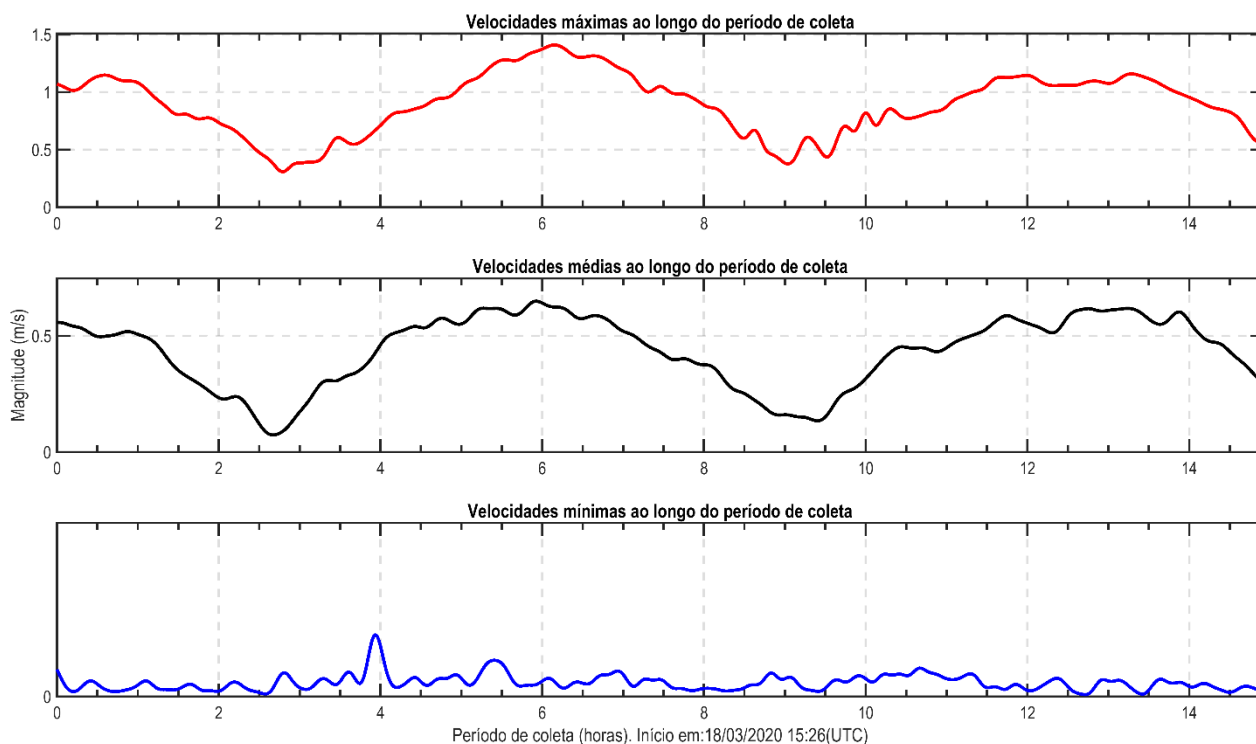


Figura 50: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP SJ-03.

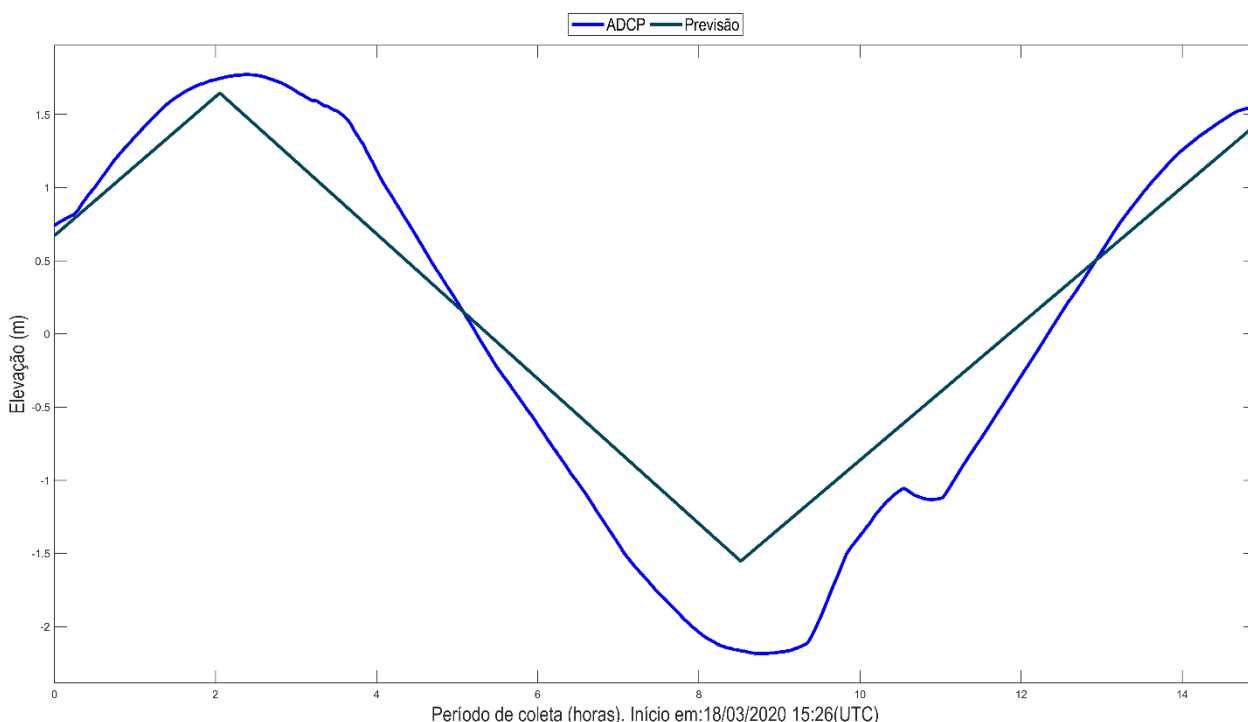


Figura 51: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-03. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DNH para o Terminal de Ponta da Madeira.

A Tabela 13 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta SJ-03 durante o período de quadratura.

Tabela 15: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP SJ-03 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.41	0.0006
Direção	23.4	327.7
Período	meio da vazante	início da enchente
Hora de coleta	6.2	12.8
Data (UTC)	18/03/2020 21:38	19/03/2020 4:14
Profundidade (m) da medida	6.2	14.7
Profundidade da coluna de água (m)	29.7	30.2

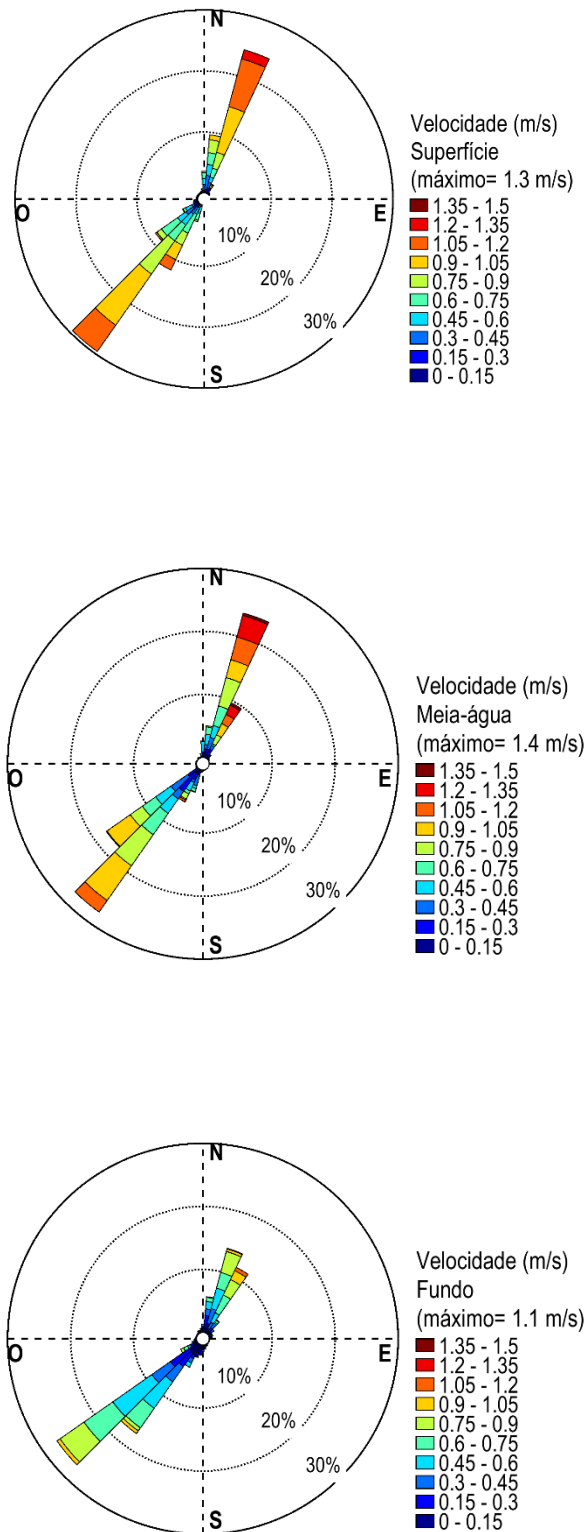


Figura 52: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-03.

#### 4.7.3 Análise integrada SJ-03: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 3.14 m/s e direção 37.1 (NE). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.41 m/s, registrado durante o meio da vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 55 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 1.73 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, com a maior diferença observada na sizígia, de 24 % (0.74 m/s), enquanto na quadratura foi de 21% (0.3 m/s).

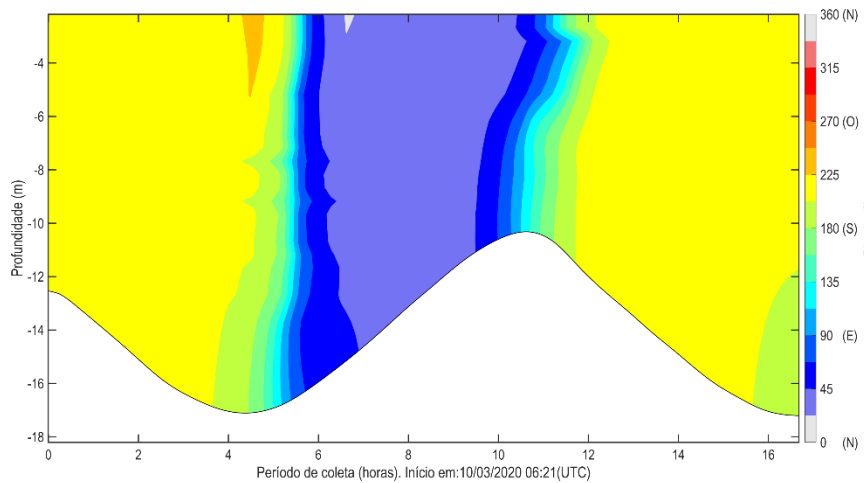
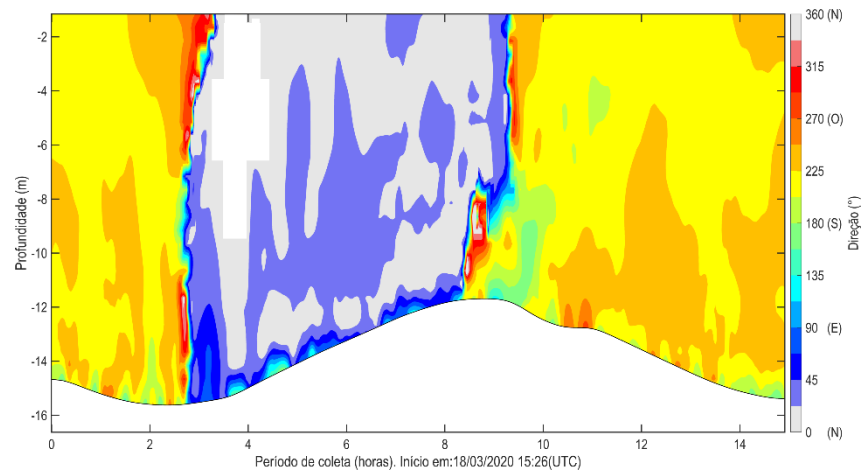
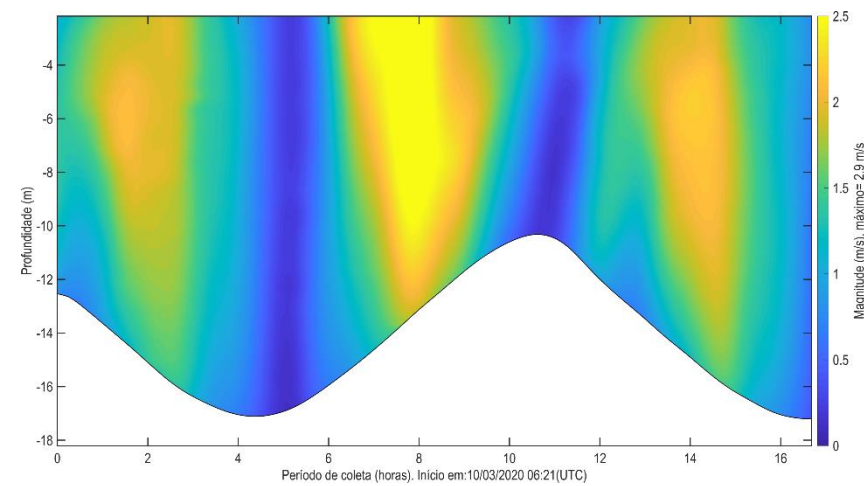
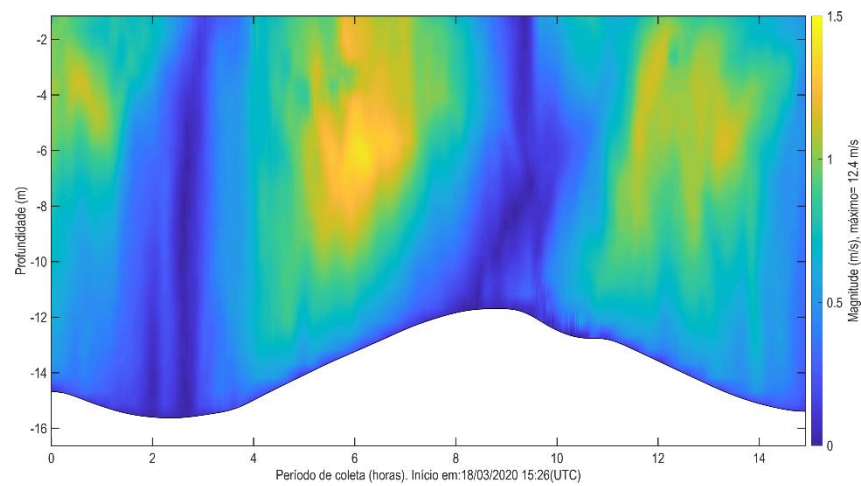


Figura 53: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP SJ-06.

#### 4.1 ADCP SJ-06

##### 4.7.1 Sizígia

O levantamento teve início 10/03/2020 09:36 (UTC) e se estendeu até 10/03/2020 23:50 (UTC), totalizando cerca de 14.2h de coleta de dados. Devido as variações morfológicas no local e pela presença de um banco de areia o ponto de coleta teve que ser deslocado com o intuito de representar melhor as velocidades de corrente (Figura 2). A velocidade máxima encontrada no período foi de 2.81 m/s na região superficial da coluna d’água, a 0.6 m de 8.9 m de profundidade, no meio da vazante, enquanto a mínima de 0.01 m/s foi registrada durante a preamar.

As maiores velocidades registradas neste ponto ocorreram durante a vazante entre 5 e 6.5 horas de coleta (Figura 54), quando as maiores velocidades variaram em torno de 2.5 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximo à superfície (máximo de 2.8 m/s), reduzindo em direção ao fundo (máximo de 2.4 m/s), como se observa na Figura 54 e Figura 57.

Durante a enchente as maiores velocidades ocorreram entre 10.2 e 11 horas de coleta, onde o máximo registrado foi 2 m/s, o que representa uma redução de apenas 20% (0.5 m/s) em relação à máxima da vazante.

O escoamento foi predominantemente bidirecional ao longo de toda a coluna d’água (Figura 42), com direção de vazante em torno de NE e de enchente variando em torno de S - O, seguindo o alinhamento da Baía de São José na região medida. (Figura 57).

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta SJ-06 durante o período de sizígia.

Tabela 16: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta SJ-06 durante o período de sizígia.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	2,81	0,01
Direção	51,3	45,1
Período	meio da vazante	preamar
Hora de coleta	5,9	2,2
Data (UTC)	10/03/2020 15:29	10/03/2020 11:46
Profundidade (m) da medida	0,9	14,9
Profundidade da coluna de água (m)	8,9	14,9



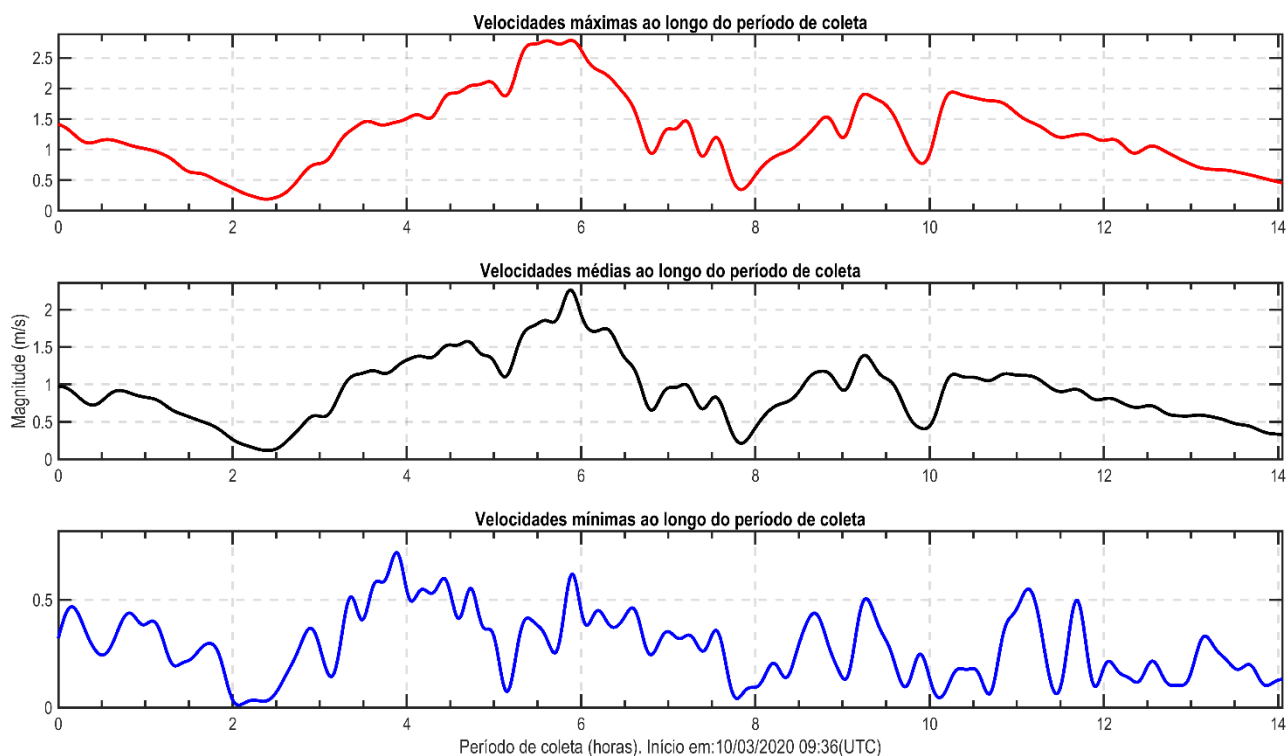


Figura 54: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de sizígia do ADCP SJ-06.

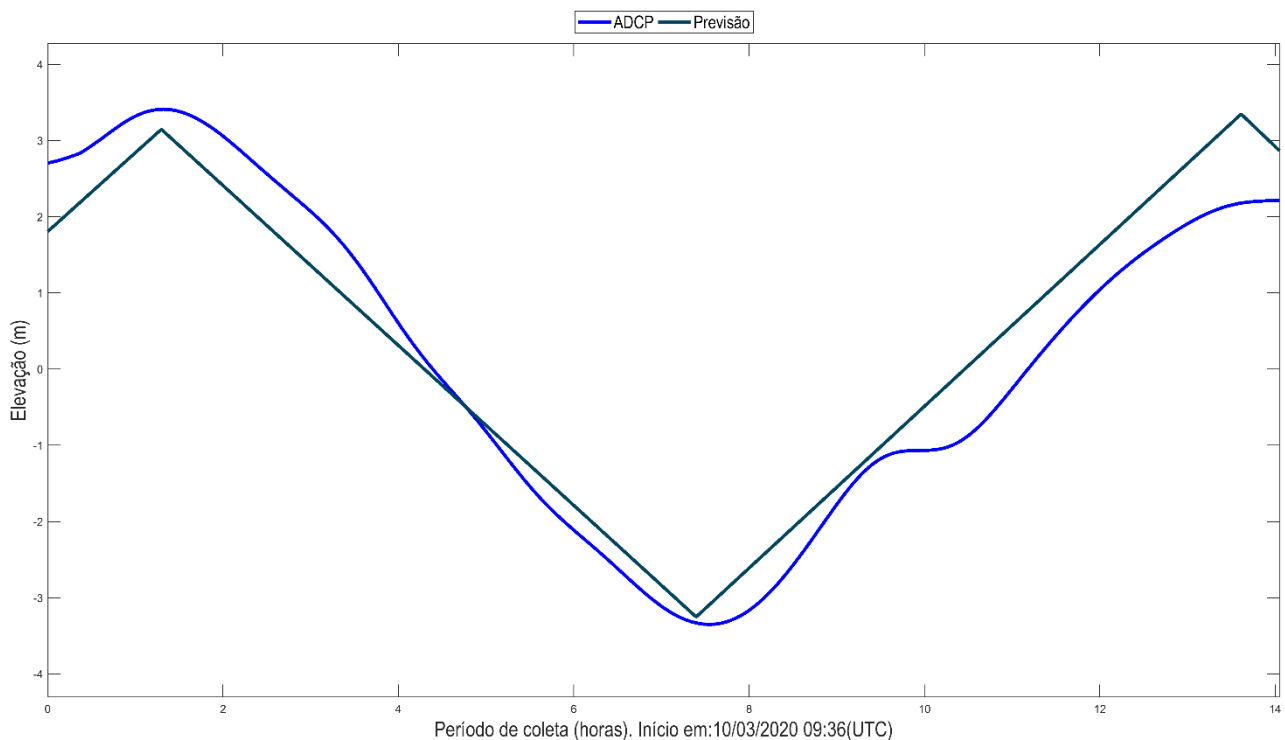


Figura 55: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-06. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira.

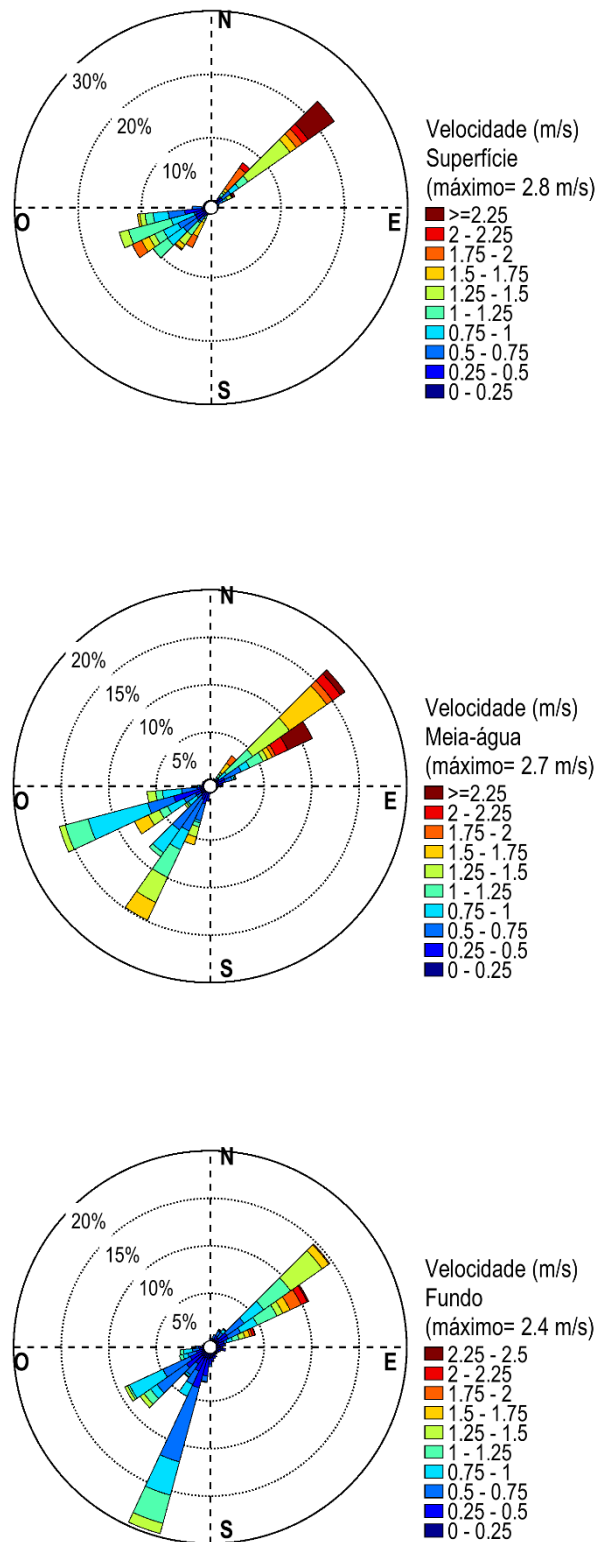


Figura 56: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de sizígia do ADCP SJ-06.

#### 4.7.2 Quadratura

O levantamento teve início 18/03/2020 07:19 (UTC) e se estendeu até 19/03/2020 01:42 (UTC), totalizando cerca de 17 horas de coleta de dados. A velocidade máxima encontrada no período foi de 1.44 m/s na região próxima ao fundo da coluna d'água, a 24.6 m de 26.1 m de profundidade, durante o meio da enchente, enquanto a mínima registrada foi de 0.002 m/s, medida durante a baixa-mar.

As maiores velocidades foram registradas durante o período médio de enchente, entre 7.5 e 9.5 horas de coleta (Figura 45), quando as maiores velocidades variaram em torno de 1.3 m/s, com um valor máximo de 1.4 m/s.

Ao longo de toda a coluna d'água o escoamento foi predominantemente bidirecional (Figura 58 e Figura 59), com direções de vazante variando em torno de NE e de enchente em torno de SO, seguindo o alinhamento da baía de São José na região do ponto de coleta.

Ao longo do período de vazante as máximas velocidades variaram em torno de 0.9 m/s entre 14.5 h e 16.5 h, com um máximo de 1 m/s (Figura 45 e Figura 60), o que representa uma redução de 28% (0.4 m/s) em relação ao máximo registrado na enchente. Assim, de maneira oposta ao observado na sizigia as maiores velocidades ocorreram durante os períodos de enchente.

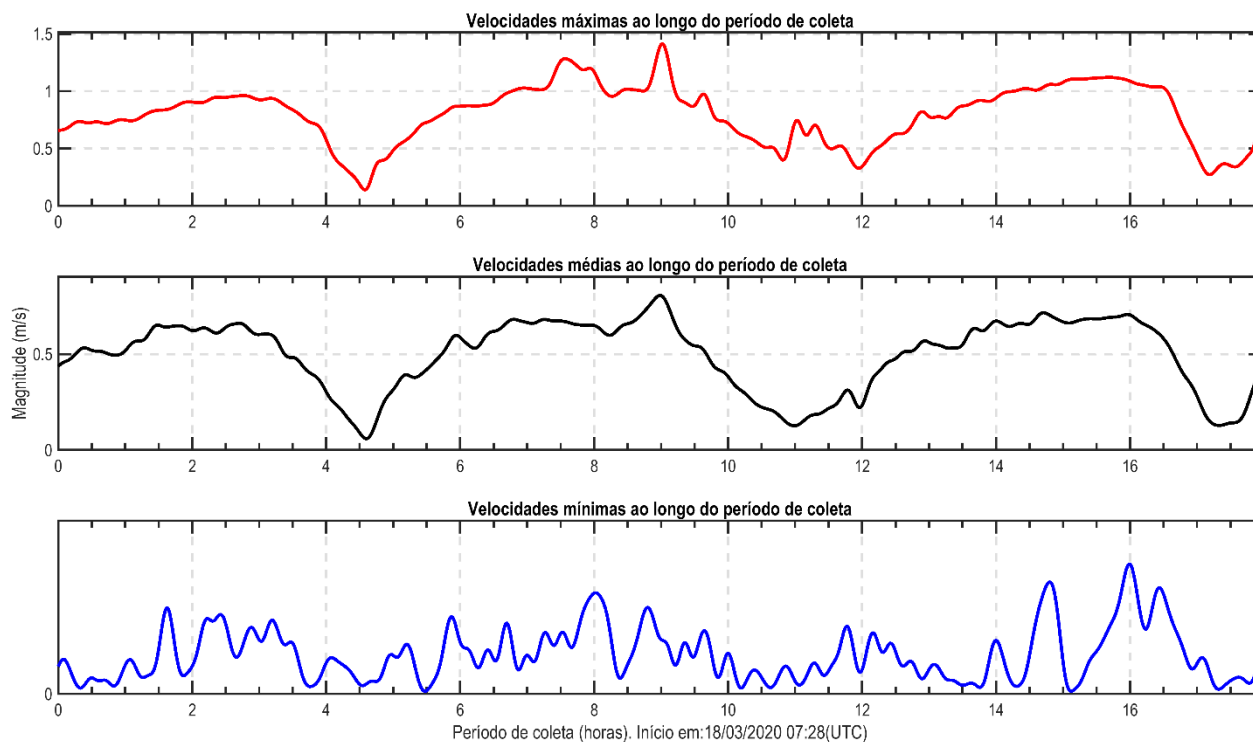


Figura 57: Velocidades médias, máximas e mínimas registradas ao longo da coluna d'água durante o período de coleta de quadratura do ADCP SJ-06.

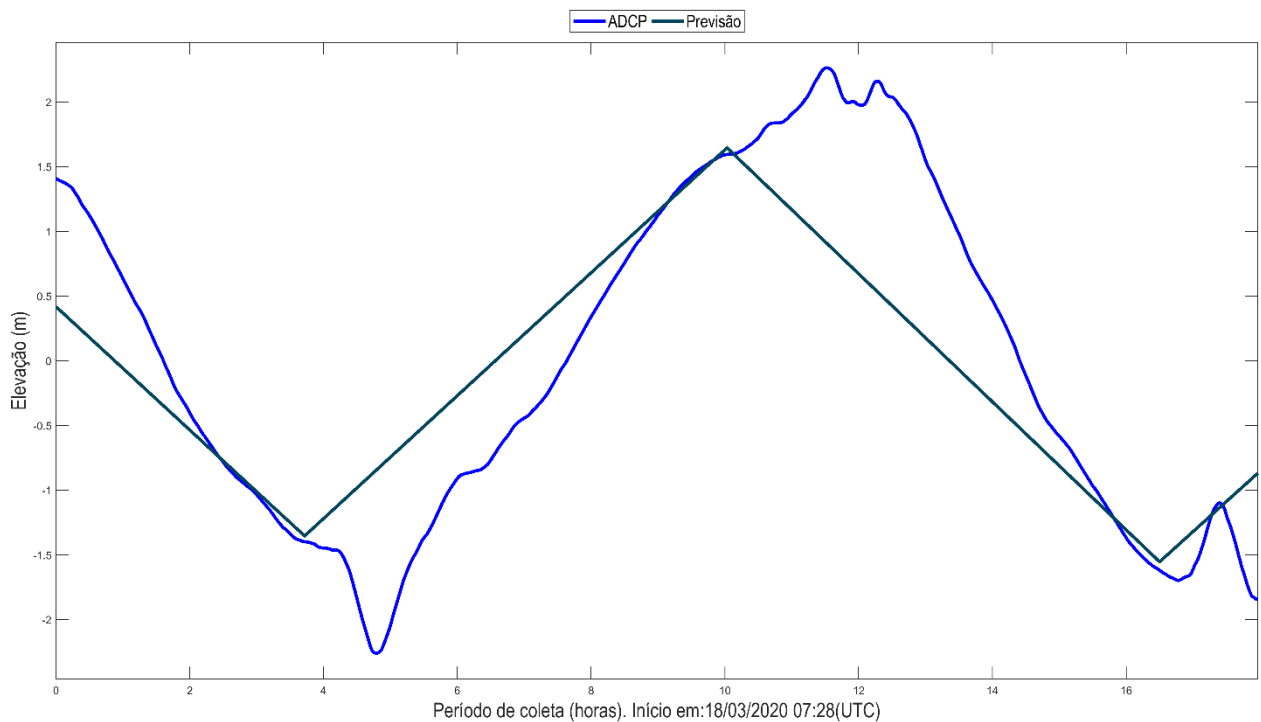


Figura 58: Variação da elevação da coluna d'água, em torno da média, ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-06. Em azul claro, dado de elevação da coluna de água e em azul escuro, dado de previsão de maré do DHN para o Terminal de Ponta da Madeira.

A Tabela 13 resume as informações das velocidades máximas e mínimas encontradas no ponto de coleta SJ-06 durante o período de quadratura.

Tabela 17: Compilação das informações das velocidades máximas e mínimas medidas no ponto de coleta do ADCP SJ-06 no período de quadratura.

	Velocidade Máxima	Velocidade Mínima
Magnitude (m/s)	1.44	0.002
Direção	188.0	278.7
Período	meio da enchente	baixa-mar
Hora de coleta	8.9	5.5
Data (UTC)	18/03/2020 16:23	18/03/2020 12:59
Profundidade (m) da medida	24.6	11.1
Profundidade da coluna de água (m)	26.1	30.6

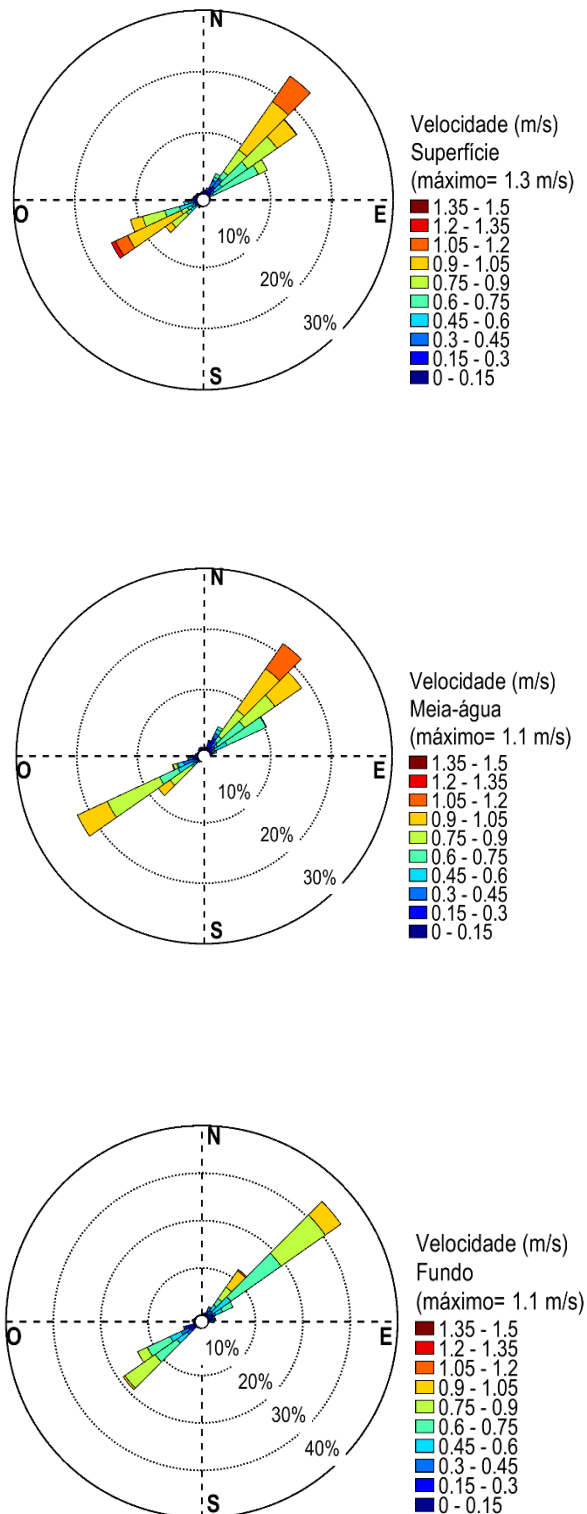


Figura 59: Distribuição e intensidade das correntes registradas ao longo do período de coleta de quadratura do ADCP SJ-06.

#### 4.7.3 Análise integrada SJ-06: sizígia e quadratura.

As maiores velocidades nesse ponto foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 2.81 m/s e direção 51.3 (NE). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.44 m/s, registrado durante o meio da enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 49 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 1.37 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, com a maior diferença observada na quadratura, de 28% (0.4 m/s), enquanto na sizígia foi de 20 % (0.5 m/s).

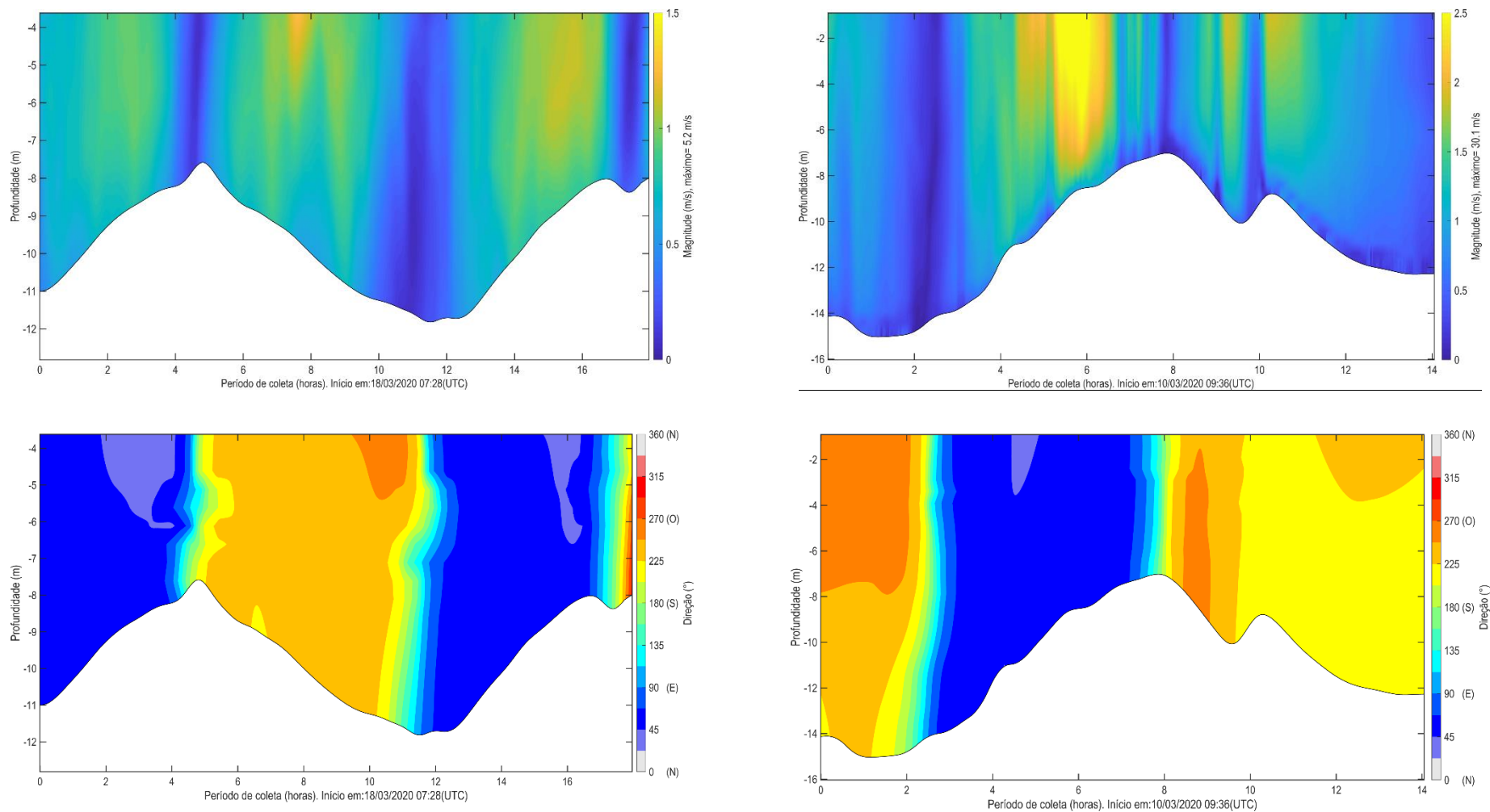


Figura 60: Magnitude e direção das correntes ao longo do período de coleta de quadratura (à esquerda) e sizígia (à direita) do ADCP SJ-06. As regiões sem valor acima da linha do fundo representam pontos em que ocorreu algum erro na aquisição do dado pelo equipamento.

## 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 oito pontos de fundeio ao longo da baía de São Marcos e Baía de São José, no estado do Maranhão. Os locais de medição foram distribuídos da seguinte forma: 5 pontos nas proximidades da Baía de São Marcos (CJ-01, CJ-03, CJ-04, EC-01, AF-4B), 3 pontos na Baía de São José (SJ-02, SJ-03 e SJ-05), conforme apresentado pela Figura 2. Com relação a esses levantamentos, destacam-se os seguintes resultados:

- As maiores velocidades no ponto EC-01 foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.23 m/s e direção 339° (NO - N). Na quadratura o máximo registrado foi de 0.83 m/s, registrado durante a enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 32% da velocidade na quadratura em relação à sizígia.

As máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças mais expressivas no período de sizígia, com uma diferença de 16%), já para o período de quadratura não houve diferença significativa.

- As maiores velocidades no ponto CJ-01 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.

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

- As maiores velocidades no ponto CJ-03 foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.57 m/s e direção 342.5 (NO - N). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.13 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 28 % 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, cerca de ~26 %, tanto para a sizígia quanto para a quadratura.

- As maiores velocidades no ponto CJ-04 foram registradas durante a enchente de sizígia, com um valor máximo de 2.22 m/s e direção 349 (N - NO). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.29 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 42 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças, com a maior diferença observada na quadratura, de 19 %, enquanto na sizígia foi de 17 %.

- As maiores velocidades no ponto AF-4b foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 1.46 m/s e direção 236.6 (SO). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.01 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 31 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças, com a maior diferença observada na quadratura, de 10 %, enquanto na sizígia foi de apenas 4 %.

- As maiores velocidades no ponto SJ-02 foram registradas durante a enchente de sizígia, com um valor máximo de 1.36 m/s e direção 73.2 (NE). Na quadratura o máximo registrado foi de 0.78 m/s, registrado durante o meio da vazante. A diferença entre as máximas magnitudes registradas na quadratura e na sizígia indicam uma redução de 42% da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 0.58 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram expressivas, com a maior diferença observada na quadratura, de 25 %, enquanto na sizígia foi de 23 %.

- No ponto SJ-03, as maiores velocidades foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 3.14 m/s e direção 37.1 (NE). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.41 m/s, registrado também durante a vazante. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade

registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução branda de 55 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 1.73 m/s.

Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, com a maior diferença observada na sizígia, de 24 % , enquanto na quadratura foi de 21%.

- No ponto SJ-06, as maiores velocidades foram registradas durante a vazante de sizígia, com um valor máximo de 3.14 m/s e direção 37.1 (NE). Na quadratura o máximo registrado foi de 1.41 m/s, registrado durante o meio da enchente. A diferença entre os máximos valores de magnitude da velocidade registrados na quadratura e na sizígia indicam uma redução branda de 49 % da velocidade na quadratura em relação à sizígia, com uma diferença de 1.37 m/s. Tanto na quadratura quanto na sizígia as máximas velocidades de vazante e de enchente apresentaram diferenças expressivas, com a maior diferença observada na quadratura, de 28% (0.4 m/s), enquanto na sizígia foi de 20 % (0.5 m/s).

## 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**

**ANEXO 01**  
**Autorização CHM**

---

## APÊNDICE B

### Calibração e configuração dos equipamentos

---

**APÊNDICE C**  
**Arquivo Digital**

---