

Diagnóstico de Meio Físico (Meteorologia e Oceanografia) para a Região do Bloco BAR-M-346, Bacia de Barreirinhas

Revisão 01

Janeiro/2016





TETRA TECH
Rua Fidalga, 711
Vila Madalena – São Paulo – SP
CEP 05432-070
<http://www.tetrattech.com>



BP Energy do Brasil
Av. Atlântica, 1130, 7º andar – Copacabana
Rio de Janeiro – RJ
CEP 22021-000
www.bp.com

Diagnóstico de Meio Físico
(Meteorologia e Oceanografia) para a Região
do Bloco BAR-M-346, Bacia de Barreirinhas

Equipe Técnica TETRA TECH:

ANA CAROLINA DA ROCHA LAMMARDO
BRUNO SCHERR MARTINS
CAIO EADI STRINGARI
EDUARDO A. YASSUDA
GABRIEL CLAUZET
MARIANA LINO GOUVÊA
RONALDO M. DE J. PALMEIRA,

Revisão 01
Janeiro/2016

A TETRA TECH é responsável pelo conteúdo do presente relatório incluindo: tecnologias, metodologias, especificações técnicas, desenhos, figuras, cópias, diagramas, fórmulas, modelos, amostras, e fluxogramas.

A utilização deste material deverá ser compatível com o escopo do projeto/trabalho contratado, fazendo-se expressa menção ao nome da TETRA TECH como autora do estudo. Da mesma forma, quando a equipe técnica da TETRA TECH for incorporada na equipe técnica da empresa contratante, esta deverá ser mencionada, e referenciada, como: “consultores da TETRA TECH”. Qualquer dúvida ou alteração desta conduta deverá ser discutida entre o cliente e a TETRA TECH.

TETRA TECH, 2015. Diagnóstico de Meio Físico (Meteorologia e Oceanografia) para a Região do Bloco BAR-M-346, Bacia de Barreirinhas. Relatório Técnico, Revisão 01 (18 de janeiro de 2016). 239 pp.

ÍNDICE GERAL

CONTROLE DE REVISÕES.....	1
ÍNDICE GERAL	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE TABELAS.....	15
RESUMO.....	19
1. INTRODUÇÃO	20
2. METEOROLOGIA	21
2.1. DESCRIÇÃO SINÓTICA.....	21
2.1.1. Sistemas Meteorológicos em Macroescala	21
2.1.2. Sistemas Meteorológicos em Meso e Microescala	23
2.2. BASES DE DADOS	24
2.3. TEMPERATURA DO AR.....	28
2.4. PRECIPITAÇÃO	34
2.5. EVAPORAÇÃO.....	39
2.6. UMIDADE RELATIVA	42
2.7. INSOLAÇÃO.....	48
2.8. PRESSÃO ATMOSFÉRICA.....	51
2.9. REGIME DE VENTOS	56
2.10. CONDIÇÕES EXTREMAS DO REGIME DE VENTOS	77
3. OCEANOGRAFIA	80
3.1. BASES DE DADOS	80
3.2. MASSAS D'ÁGUA, TEMPERATURA, SALINIDADE E DENSIDADE	83
3.2.1. Temperatura e Salinidade - Ano da Modelagem de Óleo (2014).....	110
3.3. CORRENTES	124
3.4. REGIME DE MARÉS	186
3.5. REGIME DE ONDAS	203
3.6. CONDIÇÕES EXTREMAS.....	229
3.6.1. Correntes	229
3.6.2. Ondas	231
3.6.3. Elevação da Superfície do Mar	233
4. BIBLIOGRAFIA	235

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do bloco BAR-M-346 e a área de estudo considerada para o diagnóstico de meio físico.....	20
Figura 2 - Diagrama esquemático da circulação geral da atmosfera. (Fonte: MARTINS et al., 2008).....	22
Figura 3 - Localização das estações e pontos de bases dos parâmetros meteorológicos analisados.....	28
Figura 4 - Climatologia de verão (janeiro a março) da temperatura do ar (°C) segundo dados de reanálise do CFSR no período de 1979 a 2010.....	29
Figura 5 - Climatologia de outono (abril a junho) da temperatura do ar (°C) segundo dados de reanálise do CFSR no período de 1979 a 2010.....	29
Figura 6 - Climatologia de inverno (julho a setembro) da temperatura do ar (°C) segundo dados de reanálise do CFSR no período de 1979 a 2010.....	30
Figura 7 - Climatologia de primavera (outubro a dezembro) da temperatura do ar (°C) segundo dados de reanálise do CFSR no período de 1979 a 2010.....	30
Figura 8 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) nas proximidades do bloco BAR-M-346 a partir da reanálise CFSR no período de 1979 a 2010.....	32
Figura 9 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET.	32
Figura 10 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	33
Figura 11 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	33
Figura 12 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	34
Figura 13 - Climatologia de verão (janeiro a março) da precipitação (mm/mês) segundo dados do GPCP no período de 1979 a 2010.....	35
Figura 14 - Climatologia de outono (abril a julho) da precipitação (mm/mês) segundo dados do GPCP no período de 1979 a 2010.....	35
Figura 15 - Climatologia de inverno (julho a setembro) da precipitação (mm/mês) segundo dados do GPCP no período de 1979 a 2010.....	36
Figura 16 - Climatologia de primavera (outubro a dezembro) da precipitação (mm/mês) segundo dados do GPCP no período de 1979 a 2010.....	36
Figura 17 - Precipitação média mensal (mm/mês) nas proximidades do bloco BAR-M-346 a partir dos dados climatológicos do GPCP no período de 1979 a 2010.	37
Figura 18 - Precipitação média mensal (mm) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Esquerda: série recente e desvio padrão; direita: normal climatológica.....	37
Figura 19 - Precipitação média mensal (mm) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Esquerda: série recente e desvio padrão; direita: normal climatológica.....	38
Figura 20 - Precipitação média mensal (mm) em Soure, de acordo com dados do INMET. Série recente e desvio padrão.	38
Figura 21 - Precipitação média mensal (mm) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Esquerda: série recente e desvio padrão; direita: normal climatológica.....	38
Figura 22 - Evaporação média, máxima e mínima mensal (mm/mês) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	40
Figura 23 - Evaporação média, máxima e mínima mensal (mm/mês) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	40

Figura 24 - Evaporação média, máxima e mínima mensal (mm/mês) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.....	41
Figura 25 – Evaporação média, máxima e mínima mensal (mm/mês) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	41
Figura 26 - Climatologia de verão (janeiro a março) da umidade relativa (%) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.....	44
Figura 27 - Climatologia de outono (abril a junho) da umidade relativa (%) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.....	44
Figura 28 - Climatologia de inverno (julho a setembro) da umidade relativa (%) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.	45
Figura 29 - Climatologia de primavera (outubro a novembro) da umidade relativa (%) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.	45
Figura 30 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) nas proximidades do bloco BAR-M-346 a partir da reanálise CFSR no período de 1979 a 2010.....	46
Figura 31 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	46
Figura 32 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	47
Figura 33 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	47
Figura 34 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	48
Figura 35 - Insolação média, máxima e mínima mensal (horas/mês) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	49
Figura 36 - Insolação média, máxima e mínima mensal (horas/mês) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	50
Figura 37 - Insolação média, máxima e mínima mensal (horas/mês) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.....	50
Figura 38 - Insolação média, máxima e mínima mensal (horas/mês) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	51
Figura 39 - Climatologia de verão (janeiro a março) da pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.	52
Figura 40 - Climatologia de outono (abril a junho) da pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.	52
Figura 41 - Climatologia de inverno (julho a setembro) da pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.	53
Figura 42 - Climatologia de primavera (outubro a dezembro) da pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.	53
Figura 43 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) nas proximidades do bloco BAR-M-346 a partir da reanálise CFSR no período de 1979 a 2010.....	54
Figura 44 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Série recente.	54
Figura 45 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	54
Figura 46 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	55
Figura 47 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.	55
Figura 48 - Climatologia de verão (janeiro a março) do campo de vento a 10 m, segundo dados de reanálise do CFSR/NCEP no período de 1979 a 2010. O campo de cores representa a velocidade em m/s e os vetores indicam a direção.....	57

Figura 49 - Climatologia de outono (abril a junho) do campo de vento a 10 m, segundo dados de reanálise do CFSR/NCEP no período de 1979 a 2010. O campo de cores representa a velocidade em m/s e os vetores indicam a direção.....	57
Figura 50 - Climatologia de inverno (julho a setembro) do campo de vento a 10 m, segundo dados de reanálise do CFSR/NCEP no período de 1979 a 2010. O campo de cores representa a velocidade em m/s e os vetores indicam a direção.....	58
Figura 51 - Climatologia de primavera (outubro a dezembro) do campo de vento a 10 m, segundo dados de reanálise do CFSR/NCEP no período de 1979 a 2010. O campo de cores representa a velocidade em m/s e os vetores indicam a direção.....	58
Figura 52 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados medidos na estação METAR de Oiapoque (SBOI).	60
Figura 53 – Boxplot para a velocidade do vento medida na estação METAR de Oiapoque (SBOI).	62
Figura 54 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados medidos na estação METAR de Macapá (SBMQ).	63
Figura 55 - Boxplot para a velocidade do vento medida na estação METAR de Macapá (SBMQ)... ..	65
Figura 56 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados medidos na estação METAR de São Luís (SBSL).	67
Figura 57 - Boxplot para a velocidade do vento medida na estação METAR de São Luís (SBSL)... ..	69
Figura 58 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados medidos na estação METAR de Paranaíba (SBPB).	70
Figura 59 - Boxplot para a velocidade do vento medida na estação METAR de Paranaíba (SBPB).. ..	72
Figura 60 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados da reanálise do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.	74
Figura 61 - Boxplot para a velocidade do vento nas proximidades do bloco BAR-M-346 extraída do reanálise do CFSR/NCEP.	76
Figura 62 - Stickplot para a velocidade e direção vento do nas proximidades do bloco BAR-M-346 extraída do reanálise do CFSR/NCEP para o ano de modelagem (2014).	77
Figura 63 - Rosas dos vetores do vento para os eventos extremos separados pelo primeiro (esquerda) e segundo (direita) critérios de acordo com os dados da reanálise do CFSR no período de 1979 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.	78
Figura 64 - Variação anual da quantidade de eventos extremos de vento segundo os dados da reanálise do CFSR no período de 1979 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.	79
Figura 65 - Localização dos parâmetros oceanográficos analisados.	83
Figura 66 - Síntese do escoamento do sistema de correntes de contorno oeste ao longo da margem continental brasileira, de acordo com os padrões esquemáticos de larga escala Adaptado de Stramma & England (1999) onde Contracorrente Norte Equatorial (CCNE); Subcorrente Equatorial (SE); Corrente Norte do Brasil (CNB); Subcorrente Sul Equatorial (SSE), Contracorrente Sul Equatorial (CCSE); Ramos norte (CSEn), central (CSEc), sul (CSEs) e equatorial (CSEe) da Corrente Sul Equatorial (CSE); Corrente do Brasil; Corrente do Atlântico Sul; Corrente Circumpolar Antártica; Corrente das Malvinas (CM); Corrente das Agulhas (CA).....	86
Figura 67 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por CTDs entre os anos de 1969 a 2009 utilizados para as médias climatológicas do WOA13 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.	88

Figura 68 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por XBTs entre os anos de 1966 a 2009 utilizados para as médias climatológicas do WOA13 entre os anos de 1957 - 2009 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.....	88
Figura 69 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por MBTs entre os anos de 1941 a 2009 utilizados para as médias climatológicas do WOA13 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.....	89
Figura 70 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por perfiladores de deriva (PFL) entre os anos de 1997 a 2009 utilizados para as médias climatológicas do WOA13 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.	89
Figura 71 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por garrafas de reversão (OSD) entre os anos de 1873 a 2009 utilizadas para as médias climatológicas do WOA13 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.	90
Figura 72 - Distribuição espacial média da temperatura a 0 metro para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	92
Figura 73 - Distribuição espacial média da temperatura a 0 metro para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	93
Figura 74 - Distribuição espacial média da temperatura a 0 metro para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	93
Figura 75 - Distribuição espacial média da temperatura a 0 metro para o período de primavera O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	94
Figura 76 - Distribuição espacial média da temperatura a 300 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	94
Figura 77 - Distribuição espacial média da temperatura a 300 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	95
Figura 78 - Distribuição espacial média da temperatura a 300 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	95
Figura 79 - Distribuição espacial média da temperatura a 300 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	96
Figura 80 - Distribuição espacial média da temperatura a 1.000 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	96
Figura 81 - Distribuição espacial média da temperatura a 1.000 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	97
Figura 82 - Distribuição espacial média da temperatura a 1.000 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	97
Figura 83 - Distribuição espacial média da temperatura a 1.000 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	98
Figura 84 - Distribuição espacial média da salinidade a 0 metro para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	98
Figura 85 - Distribuição espacial média da salinidade a 0 metro para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	99
Figura 86 - Distribuição espacial média da salinidade a 0 metro para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	99
Figura 87 - Distribuição espacial média da salinidade a 0 metro para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	100
Figura 88 - Distribuição espacial média da salinidade a 300 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	100
Figura 89 - Distribuição espacial média da salinidade a 300 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	101
Figura 90 - Distribuição espacial média da salinidade a 300 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	101
Figura 91 - Distribuição espacial média da salinidade a 300 metros para o período primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	102

Figura 92 - Distribuição espacial média da salinidade a 1.000 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	102
Figura 93 - Distribuição espacial média da salinidade a 1.000 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	103
Figura 94 - Distribuição espacial média da salinidade a 1.000 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	103
Figura 95 - Distribuição espacial média da salinidade a 1.000 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	104
Figura 96 - Distribuição espacial média da densidade a 0 metro para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	104
Figura 97 - Distribuição espacial média da densidade a 0 metro para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	105
Figura 98 - Distribuição espacial média da densidade a 0 metro para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	105
Figura 99 - Distribuição espacial média da densidade a 0 metro para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	106
Figura 100 - Distribuição espacial média da densidade a 300 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	106
Figura 101 - Distribuição espacial média da densidade a 300 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	107
Figura 102 - Distribuição espacial média da densidade a 300 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	107
Figura 103 - Distribuição espacial média da densidade a 300 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	108
Figura 104 - Distribuição espacial média da densidade a 1.000 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	108
Figura 105 - Distribuição espacial média da densidade a 1.000 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	109
Figura 106 - Distribuição espacial média da densidade a 1.000 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	109
Figura 107 - Distribuição espacial média da densidade a 1.000 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.	110
Figura 108 - Distribuição espacial média da temperatura da superfície do mar para o verão de 2014.	112
Figura 109 - Distribuição espacial média da temperatura da superfície do mar para o outono de 2014.	112
Figura 110 - Distribuição espacial média da temperatura da superfície do mar para o inverno de 2014.	113
Figura 111 - Distribuição espacial média da temperatura da superfície do mar para a primavera de 2014.	114
Figura 112 - Distribuição espacial média da salinidade da superfície do mar para o verão de 2014.	114
Figura 113 - Distribuição espacial média da salinidade da superfície do mar para o outono de 2014.	115
Figura 114 - Distribuição espacial média da salinidade da superfície do mar para o inverno de 2014.	115
Figura 115 - Distribuição espacial média da salinidade da superfície do mar para a primavera de 2014.	116
Figura 116 - Seção vertical de temperatura (°C) e Salinidade representando o período de verão.	117
Figura 117 - Seção vertical de temperatura (°C) representando o período de outono.	117
Figura 118 - Seção vertical de temperatura (°C) representando o período de inverno.	118

Figura 119 - Seção vertical de temperatura (°C) representando o período de primavera.....	118
Figura 120 - Seção vertical de densidade (kg/m ³) representando o período de verão.	119
Figura 121 - Seção vertical de densidade (kg/m ³) representando o período de outono.	119
Figura 122 - Seção vertical de densidade (kg/m ³) representando o período de inverno.....	120
Figura 123 - Seção vertical de densidade (kg/m ³) representando o período de primavera.	120
Figura 124 - Perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade representativos para a região do bloco BAR-M-346. Os valores de densidade foram reduzidos de 1000 kg/m ³	122
Figura 125 - Diagramas TS para a região do bloco BAR-M-346.	123
Figura 126 – Representação esquemática da circulação média e anéis anticiclônicos na porção oeste do oceano Atlântico Tropical; em vermelho, trajetórias das massas de água quentes, e em azul, trajetórias da APAN. As correntes indicadas são: Corrente Norte do Brasil (CNB), Sub-Corrente Equatorial (SCE), Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), Corrente Sul Equatorial (CSE), e Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCOP). Adaptado de Dengler et al. (2004).....	126
Figura 127 - Estrutura vertical do transporte de volume residual resultante da composição de levantamentos de dados hidrográficos entre 1990 a 2002 para a longitude de 35°W e latitudes de 5°S a 5°N, apresentando as correntes de baixa frequência que regem a circulação do Atlântico Equatorial (Adaptado de SCHOTT et. al., 2003).	127
Figura 128 – Representação da população de derivadores mantidos pelo programa da NOAA, ao todo 1.267 derivadores em um único dia. Fonte: NOAA.	128
Figura 129 – Média da circulação próximo à superfície para o verão (janeiro a março), obtida por derivadores (LUMPKIN & GARRAFFO, 2005). Fonte: TETRA TECH.	129
Figura 130 – Média da circulação próximo à superfície para o outono (abril a junho), obtida por derivadores (LUMPKIN & GARRAFFO, 2005). Fonte: TETRA TECH.	130
Figura 131 – Média da circulação próximo à superfície para o inverno (julho a setembro), obtida por derivadores (LUMPKIN & GARRAFFO, 2005). Fonte: Tetra Tech.	130
Figura 132 – Média da circulação próximo à superfície para a primavera (outubro a dezembro), obtida por derivadores (LUMPKIN & GARRAFFO, 2005). Fonte: Tetra Tech.	131
Figura 133 – Média da circulação próxima à superfície para o verão (janeiro a março) a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.....	132
Figura 134 – Média da circulação próxima à superfície para o outono (abril a junho) a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.....	132
Figura 135 – Média da circulação próxima à superfície para o inverno (julho a setembro) a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.....	133
Figura 136 – Média da circulação próxima à superfície para a primavera (outubro a dezembro), a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.....	133
Figura 137 – Seção zonal de velocidade média em 41,73°W para o verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro), a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.....	134
Figura 138 – Stickplot do perfil vertical de correntes do modelo HYCOM Consortium nas profundidades de 0 m, 500 m e 1000 m, no ponto de análise central. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.	136
Figura 139 – Boxplot do perfil vertical de velocidade das correntes geradas pelo modelo HYCOM Consortium entre as profundidades de 0 e 1500 m, no Ponto Central. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.	137
Figura 140 – Perfis verticais das componentes da velocidade meridional (v, linha tracejada) e zonal (u, linha contínua) médias para cada estação, a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium no ponto de análise central. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.	137
Figura 141 – Histograma direcional da corrente superficial para o verão, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.	139

Figura 142 – Histograma direcional da corrente superficial para o outono, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	139
Figura 143 – Histograma direcional da corrente superficial para o inverno, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	140
Figura 144 – Histograma direcional sazonal da corrente superficial para a primavera, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	140
Figura 145 – Histograma direcional da corrente em 500 m de profundidade para o verão, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	141
Figura 146 – Histograma direcional da corrente em 500 m de profundidade para o outono, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech. .	141
Figura 147 – Histograma direcional da corrente em 500 m de profundidade para o inverno, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.	142
Figura 148 – Histogramas direcionais da corrente em 500 m de profundidade para a primavera, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.	142
Figura 149 – Histograma direcional da corrente em 1000 m de profundidade para o verão, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.	143
Figura 150 – Histograma direcional da corrente em 1000 m de profundidade para o outono, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.	143
Figura 151 – Histograma direcional da corrente em 1000 m de profundidade para o inverno, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH..	144
Figura 152 – Histograma direcional da corrente em 1000 m de profundidade para a primavera, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH..	144
Figura 153 – Campo de corrente em superfície para o período de janeiro a junho, a partir de resultados da modelagem. Fonte: Tetra Tech.	149
Figura 154 – Campo de corrente em superfície para o período de julho a dezembro, a partir de resultados da modelagem. Fonte: Tetra Tech.	150
Figura 155 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio K327 do experimento ACM7 do WOCE. Fonte: Tetra Tech.....	152
Figura 156 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K327 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	152
Figura 157 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio k328 do experimento ACM7 do WOCE. Fonte: Tetra Tech.....	154
Figura 158 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 72 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	154
Figura 159 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 824 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	155
Figura 160 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2588 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	156
Figura 161 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE. Fonte: Tetra Tech.....	157
Figura 162 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	158
Figura 163 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 847 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	159
Figura 164 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2.042 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	160
Figura 165 – Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE. Fonte: Tetra Tech.....	161
Figura 166 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	162

Figura 167 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 430 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	163
Figura 168 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2985 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	164
Figura 169 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio M1.	166
Figura 170 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M1, medidos a 12 m de profundidade.	167
Figura 171 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M1, medidos a 977 m de profundidade.	168
Figura 172 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M1, medidos a 1.577 m de profundidade.	169
Figura 173 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio M2..	170
Figura 174 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M2, medidos a 13 m de profundidade.	171
Figura 175 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M2, medidos a 776 m de profundidade.	172
Figura 176 - Boxplot vertical das correntes obtidas no ADCP do fundeio PH1.....	173
Figura 177 - Histograma direcional dos vetores de corrente do ADCP do fundeio PH1, medidos a 53 m de profundidade.....	174
Figura 178 - Histograma direcional dos vetores de corrente do ADCP do fundeio PH1, medidos a 389 m de profundidade.....	175
Figura 179 - Boxplot vertical das correntes obtidas através de correntômetros próximo ao fundo no fundeio PH1.....	176
Figura 180 - Histograma direcional dos vetores de corrente através de correntômetro a 892 m de profundidade no fundeio PH1.	177
Figura 181 - Histograma direcional dos vetores de corrente através de correntômetro a 2244 m de profundidade no fundeio PH1.	178
Figura 182 - Boxplot vertical das correntes obtidas por ADCP nas camadas superficiais do fundeio PH2.	179
Figura 183 - Histograma direcional dos vetores de corrente obtido por ADCP a 53 m de profundidade no fundeio PH2.....	180
Figura 184 - Histograma direcional dos vetores de corrente obtido por ADCP a 405 m de profundidade no fundeio PH2.	181
Figura 185 - Boxplot vertical das correntes obtidas através de correntômetros no fundeio PH2. ...	182
Figura 186 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio PH2 a 1.187 m de profundidade.	183
Figura 187 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio PH2 a 1.988 m de profundidade.	184
Figura 188 - Seção do transporte de volume anual médio, calculado a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium na seção localizada na região do Bloco BAR-M-346. Período 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.	186
Figura 189 – Previsão harmônica de maré obtida para a região do Porto de Luiz Correia (PI) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.....	195
Figura 190 – Previsão harmônica de maré obtida para a região da Plataforma JP-15 (MA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.....	195
Figura 191 – Previsão harmônica de maré obtida para a região do Porto de Tutóia (MA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.....	196

Figura 192 – Previsão harmônica de maré obtida para a região de Carutapera (MA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.....	196
Figura 193 – Previsão harmônica de maré obtida para a região do Cabo Maguari (PA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.....	197
Figura 194 – Previsão harmônica de maré obtida para a região de Santa Maria do Cocal (MA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.....	197
Figura 195 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase (°, linhas) para a componente de maré M ₂ na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.....	199
Figura 196 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase (°, linhas) para a componente de maré S ₂ na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.....	200
Figura 197 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase (°, linhas) para a componente de maré N ₂ na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.....	200
Figura 198 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase (°, linhas) para a componente de maré K ₂ na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.....	201
Figura 199 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase (°, linhas) para a componente de maré O ₁ na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.....	201
Figura 200 - Elevação média e máxima mensal da superfície do mar e desvio-padrão associado, obtidos através dos dados da reanálise CFSR nas proximidades do bloco BAR-M-346. Período de 1979 a 2010. Fonte: TETRA TECH.....	203
Figura 201 - Localização dos pontos utilizados em Pianca et al. (2010) para caracterizar o clima de ondas da costa brasileira.....	205
Figura 202 - Histogramas direcionais das características sazonais das ondas para o trecho N-NE da costa brasileira (ponto W5). As legendas dos histogramas à esquerda correspondem à altura de onda, em metros. As legendas dos histogramas à direita são referentes ao período de pico em segundos (Fonte: PIANCA et. al., 2010).....	207
Figura 203 - Histogramas direcionais das características sazonais das ondas para o trecho N-NE da costa brasileira (ponto W6). As legendas dos histogramas à esquerda correspondem à altura de onda, em metros. As legendas dos histogramas à direita são referentes ao período de pico em segundos (Fonte: PIANCA et. al., 2010).....	208
Figura 204 - Altura significativa (m) e período de pico (s) obtidos a partir de resultados do modelo WW3 no ponto 2,10°S e 41,80°W, região do Bloco BAR-M-346. Período de 2001 a 2010 Fonte: TETRA TECH.....	210
Figura 205 - Histograma direcional de altura significativa (m) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.....	212
Figura 206 - Histograma direcional de altura significativa (m) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.....	212
Figura 207 - Histograma direcional de altura significativa (m) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.....	213
Figura 208 - Histograma direcional de altura significativa (m) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro), na região do bloco Bar-M-346. Fonte: TETRA TECH.....	213
Figura 209 - Histograma direcional de período de pico (s) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.....	215

- Figura 210 - Histograma direcional de período de pico (s) e direção das ondas ($^{\circ}$), a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho), na região do bloco Bar-M-346. Fonte: TETRA TECH.216
- Figura 211 - Histograma direcional de período de pico (s) e direção das ondas ($^{\circ}$), a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.216
- Figura 212 - Histograma direcional de período de pico (s) e direção das ondas ($^{\circ}$), a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.....217
- Figura 213 - Histograma direcional de energia (KJ/m^2) e direção das ondas ($^{\circ}$), a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.219
- Figura 214 - Histograma direcional de energia (KJ/m^2) e direção das ondas ($^{\circ}$), a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.220
- Figura 215 - Histograma direcional de energia (KJ/m^2) e direção das ondas ($^{\circ}$), a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.....220
- Figura 216 - Histograma direcional de energia (KJ/m^2) e direção das ondas ($^{\circ}$), a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.....221
- Figura 217 - Mapa de altura significativa média (m) e direção de incidência das ondas (vetores) para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados o ponto de produção. Fonte: TETRA TECH.223
- Figura 218 - Mapa de altura significativa média (m) e direção de incidência das ondas (vetores) para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: Tetra Tech.224
- Figura 219 - Mapa de altura significativa média (m) e direção de incidência das ondas (vetores) para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.....224
- Figura 220 - Mapa de altura significativa média (m) e direção de incidência das ondas (vetores) para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: Tetra Tech.225
- Figura 221 - Mapa de período de pico médio (s) e direção de incidência das ondas (vetores) para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.225
- Figura 222 - Mapa de período de pico médio (s) e direção de incidência das ondas (vetores) para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.226
- Figura 223 - Mapa de período de pico médio (s) e direção de incidência das ondas (vetores) para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.226
- Figura 224 - Mapa de período de pico médio (s) e direção de incidência das ondas (vetores) para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.....227
- Figura 225 - Mapa de refração média das ondas, obtido a partir de resultados do modelo WW3 para o período de 2001 a 2010. As linhas pretas indicam as direções médias da frente de onda e a escala de cores representa a batimetria (m). Demarcado o ponto de produção. Fonte: TETRA TECH.....228
- Figura 226 - Histograma direcional dos eventos extremos de corrente superficial selecionados pelo primeiro critério (esquerda) e segundo (direita) critérios, obtidos a partir dos resultados do

modelo HYCOM no bloco exploratório BAR-M-346. Período 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech..... 230

Figura 227 – Variação anual de ocorrência de eventos extremos de correntes excedendo o primeiro e o segundo critérios sobre o bloco BAR-M-346..... 230

Figura 228 - Histograma direcional dos eventos extremos de corrente superficial selecionados pelo primeiro critério (esquerda) e segundo (direita) critérios, obtidos a partir dos resultados do modelo WW3 no bloco exploratório BAR-M-346. Período 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.... 232

Figura 229 - Variação anual de ocorrência de eventos extremos de onda excedendo o primeiro e o segundo critérios sobre o bloco BAR-M-346. 232

Figura 230 - Variação anual de ocorrência de eventos extremos do nível do mar excedendo o primeiro e o segundo critérios sobre o bloco BAR-M-346..... 234

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações das bases de dados de parâmetros meteorológicos com distribuição pontual (datum SIRGAS2000). Fonte: Tetra Tech.....	26
Tabela 2 - Informações das bases de dados de parâmetros meteorológicos com distribuição pontual (datum SIRGAS2000). Fonte: Tetra Tech.....	27
Tabela 3 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados da estação METAR de Oiapoque (SBOI).	60
Tabela 4 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados da estação METAR de Oiapoque (SBOI).....	61
Tabela 5 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados da estação METAR de Oiapoque (SBOI).	61
Tabela 6 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro), a partir de dados da estação METAR de Oiapoque (SBOI)..	61
Tabela 7 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados da estação METAR de Macapá (SBMQ).	64
Tabela 8 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados da estação METAR de Macapá (SBMQ).	64
Tabela 9 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados da estação METAR de Macapá (SBMQ).....	64
Tabela 10 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro), a partir de dados da estação METAR de Macapá (SBMQ). .	65
Tabela 11 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados da estação METAR de São Luís (SBSL).	67
Tabela 12 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados da estação METAR de São Luís (SBSL).	68
Tabela 13 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados da estação METAR de São Luís (SBSL).....	68
Tabela 14 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro), a partir de dados da estação METAR de São Luís (SBSL). .	68
Tabela 15 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados da estação METAR de Parnaíba (SBPB).	71
Tabela 16 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados da estação METAR de Parnaíba (SBPB).....	71
Tabela 17 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados da estação METAR de Parnaíba (SBPB).....	71
Tabela 18 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro), a partir de dados da estação METAR de Parnaíba (SBPB)..	72
Tabela 19 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.	74
Tabela 20 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.	75
Tabela 21 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.	75
Tabela 22 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro a partir de dados do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.....	76

Tabela 23 - Número de eventos extremos por estação do ano segundo dados de vento da reanálise do CFSR no período de 1979 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346..	79
Tabela 24 - Informações das bases de dados de parâmetros oceanográficos com distribuição espacial (datum SIRGAS2000). Fonte: Tetra Tech.....	81
Tabela 25 - Informações das seções verticais de medição de parâmetros oceanográficos (datum SIRGAS2000). Fonte: Tetra Tech.....	81
Tabela 26 - Informações das estações pontuais de medição de parâmetros oceanográficos (datum SIRGAS2000).....	82
Tabela 27 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	145
Tabela 28 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	145
Tabela 29 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	146
Tabela 30 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	146
Tabela 31 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 500 m de profundidade para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	147
Tabela 32 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 500 m de profundidade para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	147
Tabela 33 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 500 m de profundidade para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	147
Tabela 34 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	147
Tabela 35 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	148
Tabela 36 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	148
Tabela 37 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	148
Tabela 38 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.	148
Tabela 39 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K327 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.	153
Tabela 40 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 72 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.	155
Tabela 41 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos em 824 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	155
Tabela 42 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio k328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2588 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	156



Tabela 43 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	158
Tabela 44 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 847 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	159
Tabela 45 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2.042 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	160
Tabela 46 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	162
Tabela 47 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 430 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.....	163
Tabela 48 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2985 m de profundidade.....	164
Tabela 49 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M1, medidos a 12 m de profundidade.	167
Tabela 50 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M1, medidos a 977 m de profundidade.	168
Tabela 51 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M1, medidos a 1.577 m de profundidade.	169
Tabela 52 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M2, medidos a 13 m de profundidade.	171
Tabela 53 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M2, medidos a 776 m de profundidade.	172
Tabela 54 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no do ADCP do fundeio PH1, medidos a 53 m de profundidade.....	174
Tabela 55 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente do ADCP do fundeio PH1, medidos a 389 m de profundidade.....	175
Tabela 56 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente através de correntômetro a 892 m de profundidade no fundeio PH1	177
Tabela 57 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente através de correntômetro a 2244 m de profundidade no fundeio PH1.	178
Tabela 58 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente obtido por ADCP a 53 m de profundidade no fundeio PH2.....	180
Tabela 59 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente obtido por ADCP a 405 m de profundidade no fundeio PH2	181
Tabela 60 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio PH2 a 1.187 m de profundidade.	183
Tabela 61 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio PH2 a 1.988 m de profundidade.	184
Tabela 62 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizíguas e quadraturas do Porto Luiz Correia. Fonte: FEMAR.....	188
Tabela 63 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizíguas e quadraturas da Plataforma JP-15. Fonte: FEMAR.....	189
Tabela 64 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizíguas e quadraturas do porto de Tutóia. Fonte: FEMAR.	190
Tabela 65 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizíguas e quadraturas de Carutapera. Fonte: FEMAR.	191
Tabela 66 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizíguas e quadraturas do Cabo Maguari. Fonte: FEMAR.	192
Tabela 67 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizíguas e quadraturas de Santa Maria do Cocal. Fonte: FEMAR.	193
Tabela 68 - Nível médio (NM) e médias das preamares e baixamares de sizígia e quadratura (cm) nas estações de Luiz Correia e JP-15 calculados através das constantes harmônicas obtidas	

pela FEMAR. MHWS: preamar de sizígia; MHWD: preamar de quadratura; MLWS: baixamar de sizígia e MLWN: baixamar de quadratura..... 198

Tabela 69 - Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa das ondas (m) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 214

Tabela 70 - Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa das ondas (m) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 214

Tabela 71 - Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa das ondas (m) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 214

Tabela 72 - Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa das ondas (m) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 215

Tabela 73 - Diagrama de ocorrência conjunta de período de pico das ondas (s) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 217

Tabela 74 - Diagrama de ocorrência conjunta de período de pico das ondas (s) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 218

Tabela 75 - Diagrama de ocorrência conjunta de período de pico das ondas (s) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 218

Tabela 76 - Diagrama de ocorrência conjunta de período de pico das ondas (s) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 219

Tabela 77 - Diagrama de ocorrência conjunta de energia das ondas (KJ/m²) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 221

Tabela 78 - Diagrama de ocorrência conjunta de energia das ondas (KJ/m²) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 221

Tabela 79 - Diagrama de ocorrência conjunta de energia das ondas (KJ/m²) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 222

Tabela 80 - Diagrama de ocorrência conjunta de energia das ondas (KJ/m²) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech. 222

Tabela 81 - Probabilidade de ocorrência, intensidade média (m/s) e direção média sazonal das correntes dentro do 1° e 2° critérios, obtidos a partir dos resultados do modelo HYCOM no bloco BAR-M-346 230

Tabela 82 - Probabilidade de ocorrência, intensidade média (m) e direção média sazonal das ondas dentro do 1° e 2° critérios, obtidos a partir dos resultados do modelo WW3 no bloco exploratório BAR-M-346 232

Tabela 83 - Probabilidade de ocorrência e intensidade média (m) do nível do mar dentro do 1° e 2° critérios, obtidos a partir da reanálise do CFSR para o bloco exploratório BAR-M-346 234



RESUMO

Para dar suporte à BP Energy do Brasil na elaboração do Estudo Ambiental de Perfuração (EAP) para a atividade de perfuração marítima no Bloco BAR-M-346, na Bacia de Barreirinhas, a TETRA TECH apresenta o presente relatório técnico, consistindo dos itens de meteorologia e oceanografia do diagnóstico de meio físico, na área de estudo definida pelas bacias de Ceará, Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas. Para a caracterização da região com relação ao regime de ventos, chuvas, circulação oceânica, temperatura do ar e da água, evaporação, umidade, insolação, pressão atmosférica, salinidade, densidade, regime de ondas, marés, sedimentação e características químicas da água do mar, foram utilizados dados pretéritos disponíveis em bases de dados globais, resultados de modelos meteorológicos e hidrodinâmicos, além de dados pertencentes à BP Energy do Brasil e banco de dados da Tetra Tech, conforme determinado pelo Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA nº 30/14, aprovado em 08/09/2014.

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte à BP Energy do Brasil (BP Energy) na elaboração do Estudo Ambiental de Perfuração (EAP) para a atividade de perfuração marítima no Bloco BAR-M-346, apresenta-se neste relatório técnico o diagnóstico ambiental do meio físico referente aos itens de meteorologia e oceanografia.

A Figura 1 apresenta a localização do bloco exploratório BAR-M-346 e a área de estudo compreendendo as bacias do Ceará, Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas.

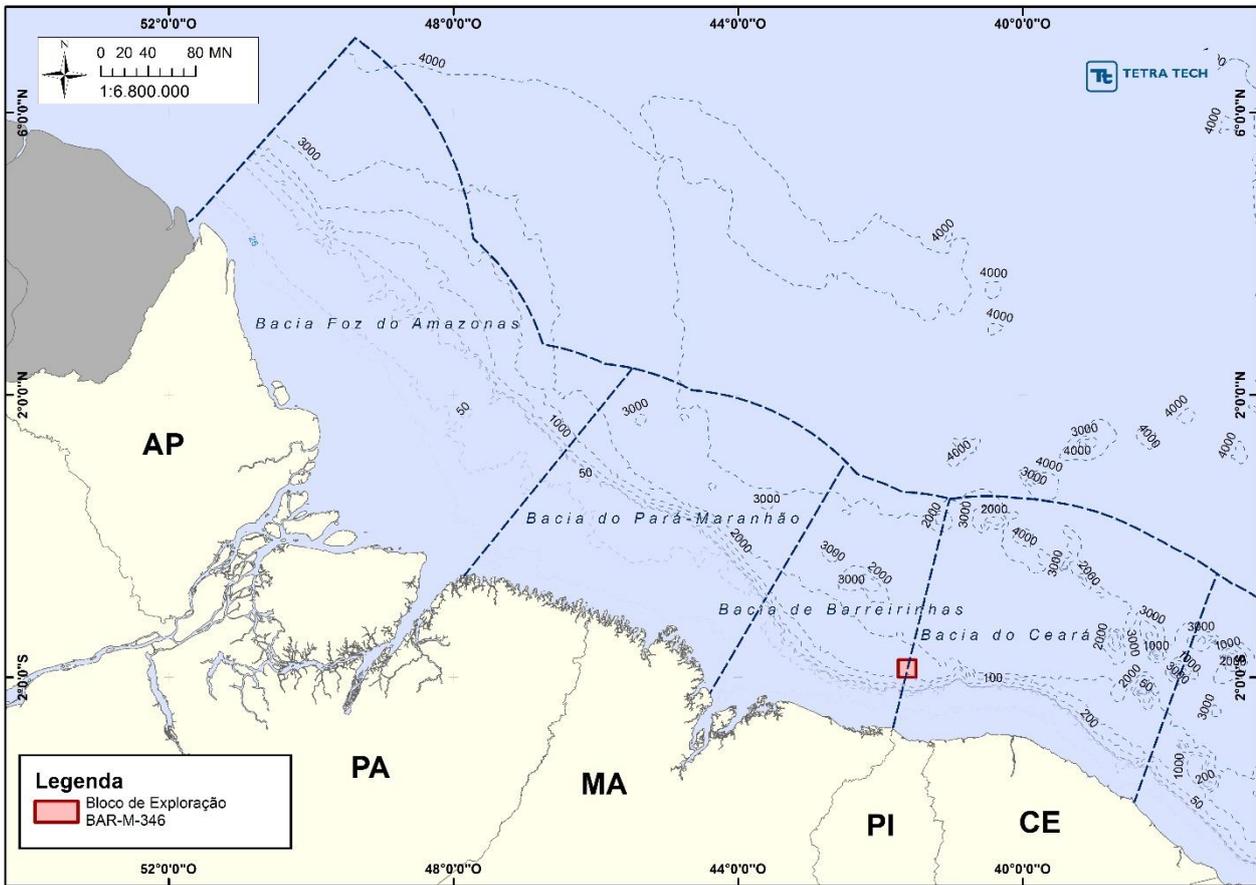


Figura 1 - Localização do bloco BAR-M-346 e a área de estudo considerada para o diagnóstico de meio físico.

2. METEOROLOGIA

O presente item apresenta os resultados da análise de diversos parâmetros meteorológicos obtidos a partir de levantamentos de informações pretéritas e de análise de dados disponíveis, visando à caracterização meteorológica da região de desenvolvimento do bloco BAR-M-346 na Bacia de Barreirinhas.

A seguir, são apresentados os padrões espaciais e a sazonalidade dos parâmetros meteorológicos, incluindo: temperatura do ar, precipitação, insolação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica e regime de circulação dos ventos. Os conjuntos de dados utilizados para execução do diagnóstico meteorológico, bem como sua representatividade, serão discutidos a cada etapa deste trabalho.

2.1. DESCRIÇÃO SINÓTICA

2.1.1. Sistemas Meteorológicos em Macroescala

A circulação atmosférica e o regime pluviométrico na área de estudo são influenciados principalmente por sistemas meteorológicos de grande escala, sendo o principal deles a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos.

A ZCIT é uma região de baixa pressão, onde observa-se convergência de escoamento em baixos níveis (formando os ventos alísios) e divergência em altos níveis, sendo a fonte principal de precipitação nos trópicos (chuvas fortes) e formando nuvens cujo o desenvolvimento vertical se estende até a alta troposfera das regiões tropicais.

Os ventos alísios de sudeste vindos dos hemisférios norte (vento de nordeste) e sul sul (ventos de sudeste) convergem em baixos níveis. A ascensão desses ventos provoca um resfriamento em níveis mais altos, e ocorrerá em altitude um movimento em sentido contrário até a zona dos cinturões anticiclônicos, onde ocorre o movimento subsidente aquecendo-se para formar novamente os alísios. Esta célula que se forma é chamada de Hadley-Walker. A circulação é dita de Hadley quando ocorre no sentido norte-sul e de Walker quando se faz no sentido leste-oeste.

A ZCIT é parte integrante da circulação geral da atmosfera, onde existem três cinturões de ventos que são observados em cada hemisfério do planeta Terra (Figura 2). A ZCIT está localizada no ramo ascendente da célula de Hadley e essa circulação atua no sentido de transferir calor e umidade dos níveis inferiores da atmosfera das regiões tropicais para os níveis superiores da troposfera e para médias e altas latitudes, ajudando assim na manutenção do balanço térmico global.

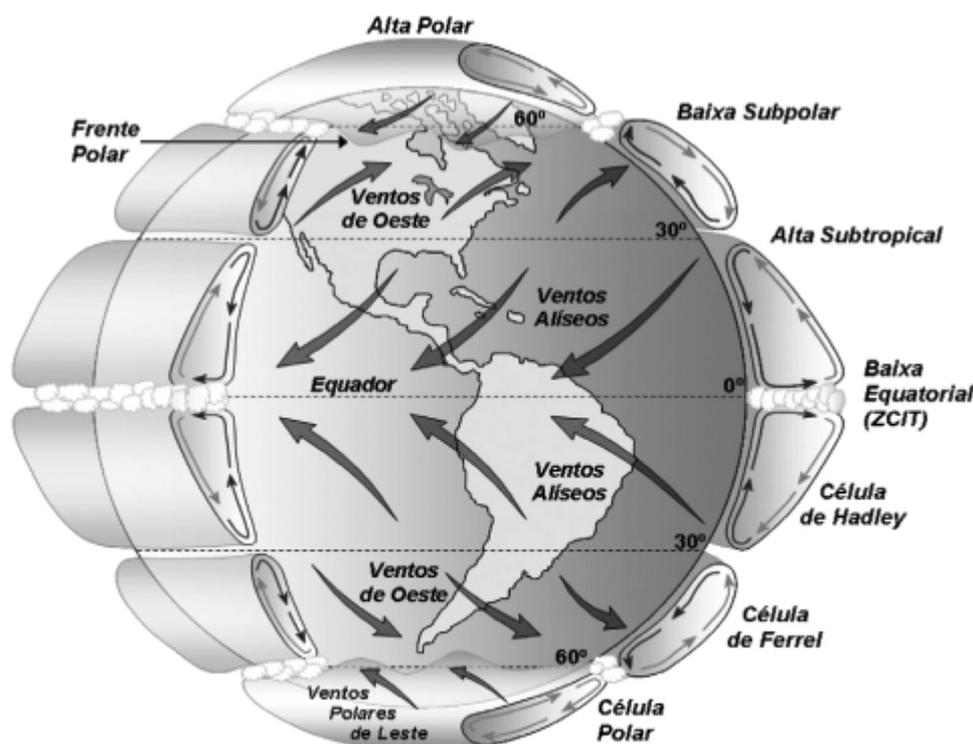


Figura 2 - Diagrama esquemático da circulação geral da atmosfera. (Fonte: MARTINS et al., 2008)

Em termos climatológicos, a região Norte do Brasil é caracterizada por elevadas temperaturas e grandes volumes de chuvas ao longo do ano. O Norte do Brasil apresenta uma distribuição bastante irregular da pluviosidade em termos espaciais e sazonais, mas ainda assim é possível definir basicamente duas estações, a estação seca que ocorre no outono/inverno e a estação chuvosa que ocorre entre a primavera e o verão.

A influência do ENOS¹, dependendo da intensidade e período do ano em que ocorre, é um dos responsáveis por anos considerados secos ou muito secos, principalmente

¹ El Niño Oscilação Sul, caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais no oceano pacífico tropical

quando acontece conjuntamente com o dipolo positivo do Atlântico², que é desfavorável às chuvas. O fenômeno La Niña (resfriamento anômalo das águas do oceano Pacífico) associado ao dipolo negativo do Atlântico (favorável às chuvas), é normalmente responsável por anos considerados normais, chuvosos ou muito chuvosos na região.

2.1.2. Sistemas Meteorológicos em Meso e Microescala

Do ponto de vista da mesoescala, a região de estudo está sujeita a fenômenos conhecidos, como o próprio ciclo diurno de aquecimento radiativo e as circulações de brisa geradas por este aquecimento diferenciado, que ocorre entre a superfície terrestre e a superfície do mar (Almeida, 1999). Nas regiões costeiras em dias de pouca nebulosidade (quando o contraste de temperatura entre continente e oceano fica mais acentuado) a circulação dos ventos é induzida pelo gradiente de pressão entre a superfície mais quente e a mais fria, soprando do oceano em direção ao continente no período da tarde (brisa marítima) e do continente para o oceano durante a madrugada (brisa terrestre).

Outro fenômeno que ocorre nas regiões continentais e costeiras da região norte do Brasil são as linhas de instabilidade tropical (LI). Uma LI tropical é a porção dianteira de um distúrbio em mesoescala que consiste basicamente do alinhamento de nuvens cúmulos-imbus (Cb) que apresentam na sua retaguarda uma nuvem do tipo bigorna e são um dos principais causadores de chuvas na região.

Garstang et al (1994) estudaram a estrutura e a cinemática de linhas de instabilidade na Bacia Amazônica. Verificaram que estes sistemas formam-se ao longo da costa N-NE da América do Sul, como resultado de convecção induzida pela brisa marítima. São chamados linhas de instabilidade costeiras na Amazônia e podem atingir tamanho máximo de quase 3000 km de comprimento. Eventualmente esses sistemas propagam-se continente adentro, alcançando Manaus e até a encosta dos Andes, cerca de 48 horas após sua formação.

² Dipolo do Atlântico: diferença entre a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar-TSM na Bacia do Oceano Atlântico Norte e Oceano Atlântico Sul.

Em microescala um fenômeno menos conhecido e que tem registros incertos e pouco frequentes na região de estudo são as trombas d'água. A tromba d'água é um fenômeno meteorológico semelhante ao tornado, que se forma sobre uma superfície líquida, captura umidade e tem um curto ciclo de vida da ordem de alguns minutos, e está associada a ventos em média de 30 nós (Golden, 1974). Consiste na formação de um vórtice intenso, visível sob a forma de uma nuvem colunar, com forma de funil estreito, que gira rapidamente em volta de si mesma, ligando a superfície da água à base de uma nuvem cumuliforme (nuvem de tempestade).

Embora tenha um aspecto de um tornado, os danos causados pelas trombas d'água não costumam ser grandes em virtude dos ventos associados. Do ponto de vista observacional, não há uma estatística oficial da ocorrência das trombas d'água, apenas alguns relatos e fotos da incidência destes fenômenos sobre a área de estudo.

2.2. BASES DE DADOS

Para efeito de caracterização climatológica dos parâmetros meteorológicos foi utilizado um período mínimo de 30 anos de dados, conforme recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Quando relevante, e condicionado à disponibilidade de séries mais curtas de alguns dos parâmetros analisados, foram realizadas comparações em relação às séries climatológicas a fim de complementar a caracterização, englobando assim séries históricas e recentes.

Os dados utilizados foram os seguintes:

- INMET³ (estações de Parnaíba, São Luís, Soure e Macapá): temperatura do ar, pressão atmosférica, precipitação, umidade relativa e insolação;

³ Instituto Nacional de Meteorologia, dados fornecidos pelo BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) a partir de <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa>. Último acesso em 14 de outubro de 2015.

- INMET⁴ (Normais climatológicas, estações de Parnaíba, São Luís, Soure e Macapá): temperatura do ar, pressão atmosférica, precipitação, umidade relativa e insolação (quando disponíveis);
- METAR⁵ (estações SBOI (Oiapoque), SBMQ (Macapá), SBSL (São Luís) e SBPB (Paranaíba)): vento;
- GPCP⁶: precipitação;
- Reanálise do CFSR⁷: temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica e vento a 10 m;

A localização dos pontos de análise de todas as bases de dados é ilustrada no mapa da Figura 3. Note-se que as bases de dados GPCP e reanálises do CFSR/NCEP são disponibilizadas em campos com distribuição espacial, enquanto as demais contêm medidas pontuais. As características e períodos de amostragem das bases de dados utilizadas são apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2.

⁴ Instituto Nacional de Meteorologia, normais climatológicas para o período de 1960 a 1990, a partir de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Último acesso em 14 de outubro de 2015.

⁵ METeological Aerodrome Report, dados obtidos a partir da Rede Meteorológica do Comando da Aeronáutica – REDEMET: <http://www.redemet.aer.mil.br>. Último acesso em 13 de outubro de 2015.

⁶ Global Precipitation Climatology Project V2.2, dados fornecidos por NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, EUA, a partir de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html>. Último acesso em.

⁷ Reanálise CFSR (Climate Forecast System Reanalysis), do centro norte-americano NCEP (National Center for Environmental Prediction) obtidos a partir de <http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.1> Último acesso em.

Tabela 1 - Informações das bases de dados de parâmetros meteorológicos com distribuição pontual (datum SIRGAS2000). Fonte: TETRA TECH.

Estação	Parâmetro	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Resol. Temporal	Período
INMET Parnaíba	Temperatura do ar	03°05'S	41°46'W	79,5	3 vezes ao dia	12/01/1967 à 07/12/2015
	Umidade relativa					
	Precipitação					
	Insolação					
INMET São Luís	Temperatura do ar	02°32'S	44°13'W	50,9	3 vezes ao dia	01/01/1971 à 07/12/2015
	Umidade relativa					
	Pressão Atmosférica					
	Precipitação					
INMET Soure	Insolação	00°44'S	48°31'W	10,5	3 vezes ao dia	01/01/1961 à 07/12/2015
	Temperatura do ar					
	Umidade relativa					
	Pressão Atmosférica					
	Precipitação					
INMET Macapá	Insolação	00°03'S	51°07'W	14,5	3 vezes ao dia	01/01/1961 à 07/12/2015
	Temperatura do ar					
	Umidade relativa					
	Pressão Atmosférica					
	Precipitação					
METAR Oiapoque (SBOI)	Ventos	03°51'19"N	51°47'48"W	39,0	Horário	01/06/2007 à 01/11/2015
METAR Macapá (SBMQ)	Ventos	02°35'19"S	44°14'11"W	15,0	Horário	26/11/2002 à 29/09/2011
METAR São Luís (SBSL)	Ventos	02°53'37"S	41°43'55"W	53,0	Horário	01/11/2002 à 01/11/2015
METAR Parnaíba (SBPB)	Ventos	00°03'02"N	51°04'19"W	5,0	Horário	01/06/2007 à 01/11/2015



Tabela 2 - Informações das bases de dados de parâmetros meteorológicos com distribuição pontual (datum SIRGAS2000). Fonte: TETRA TECH.

Base de dados	Parâmetro	Nível vertical	Resol. Temporal	Resol. Espacial	Latitude	Longitude	Período
CFSR	Vento	10 m	1 h (análises pontuais)	0,3° x 0,3°	2,0S	41,5W	1979 a 2015 (análises pontuais)
	Temperatura do ar	2 m	Médias mensais (campos sazonais)				1979 a 2010 (campos sazonais)
	Pressão atmosférica	Superfície					
	Umidade relativa	2 m					
GPCP	Precipitação	-	Médias mensais	2,5° x 2,5°	1.25S	41.25W	1979 a 2010

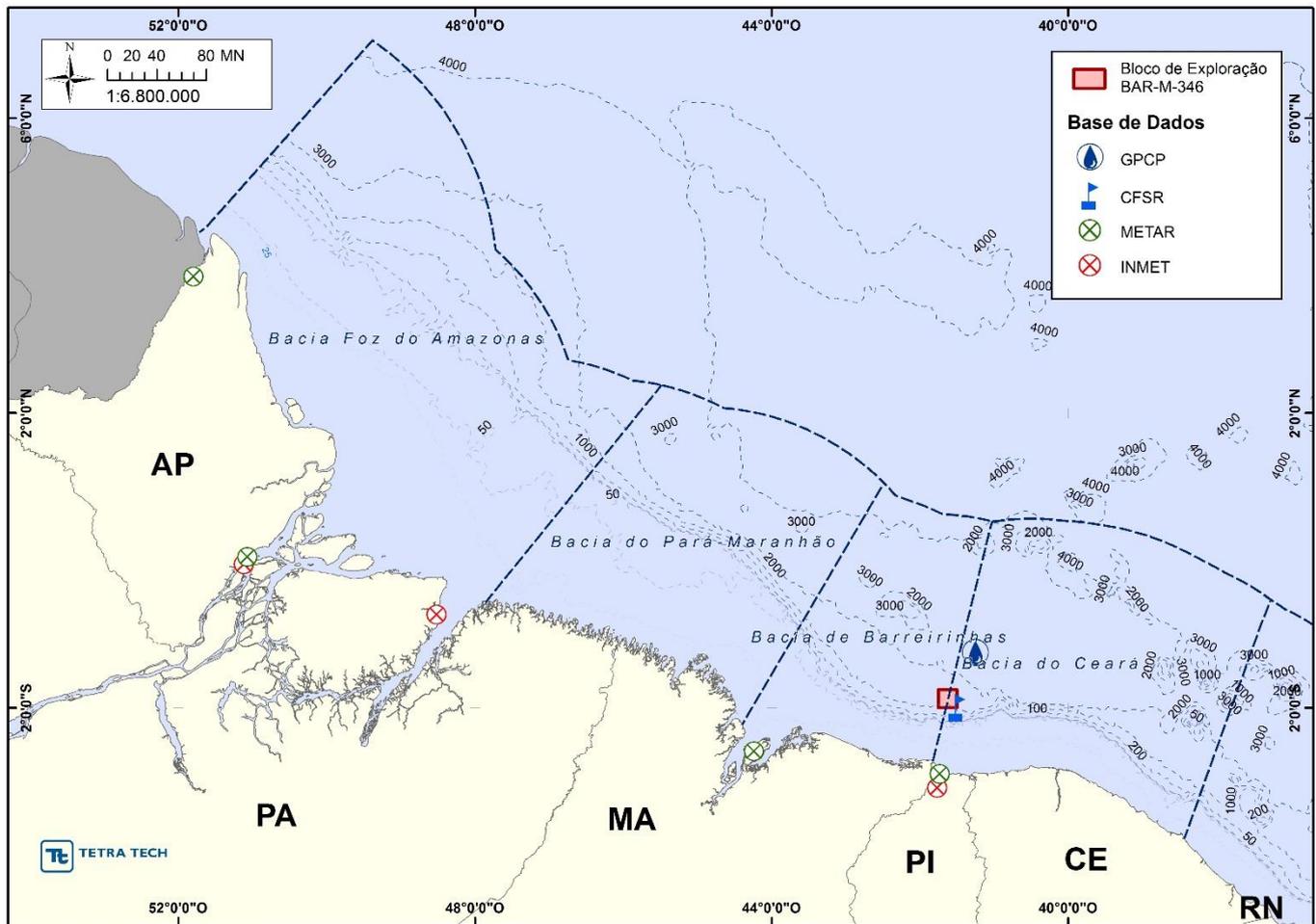


Figura 3 - Localização das estações e pontos de bases dos parâmetros meteorológicos analisados

2.3. TEMPERATURA DO AR

Da Figura 4 à Figura 7 são apresentados os mapas das climatologias de temperatura do ar para os períodos de verão (janeiro a março), outono (maio a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro), baseados em dados de reanálise do CFSR/NCEP de 1979 a 2010. Nota-se ao longo de todas as estações que a temperatura do ar é mais elevada sobre o oceano do que na costa, isso se deve a maior capacidade da água do mar de armazenar calor do que a porção continental, consequentemente deixando a massa de ar sobre o oceano mais quente do que a sobre o continente. Devido à proximidade do Equador, não existe uma grande variação de temperatura entre as

estações do ano, contudo conta-se que a primavera tende a ser mais quente no continente do que as outras estações. A seguir são apresentadas análises pontuais para melhor exemplificar as variações espaciais e sazonais de temperatura.

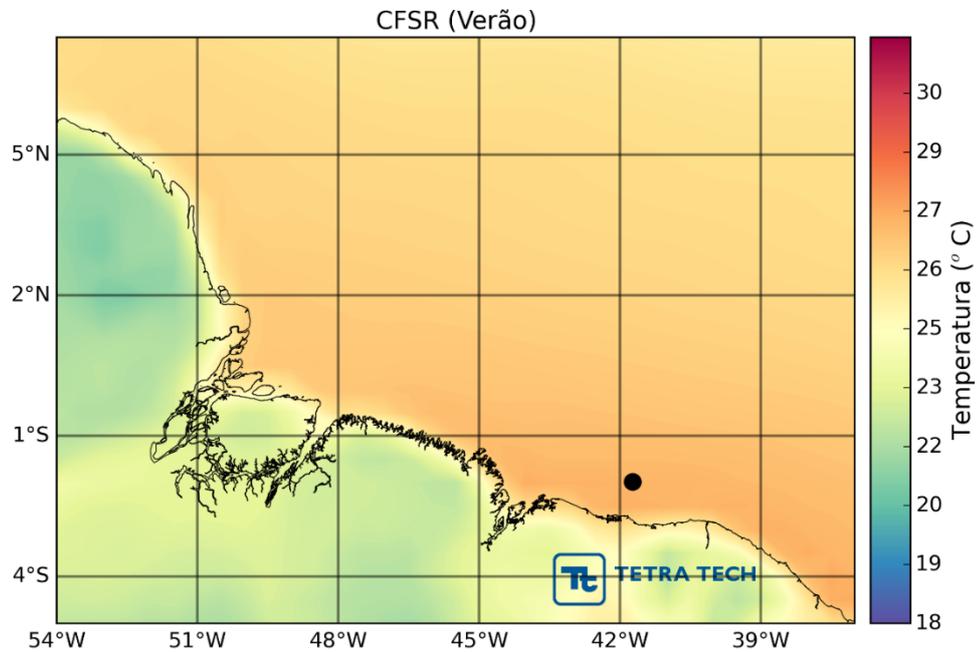


Figura 4 - Climatologia de verão (janeiro a março) da temperatura do ar (°C) segundo dados de reanálise do CFSR no período de 1979 a 2010.

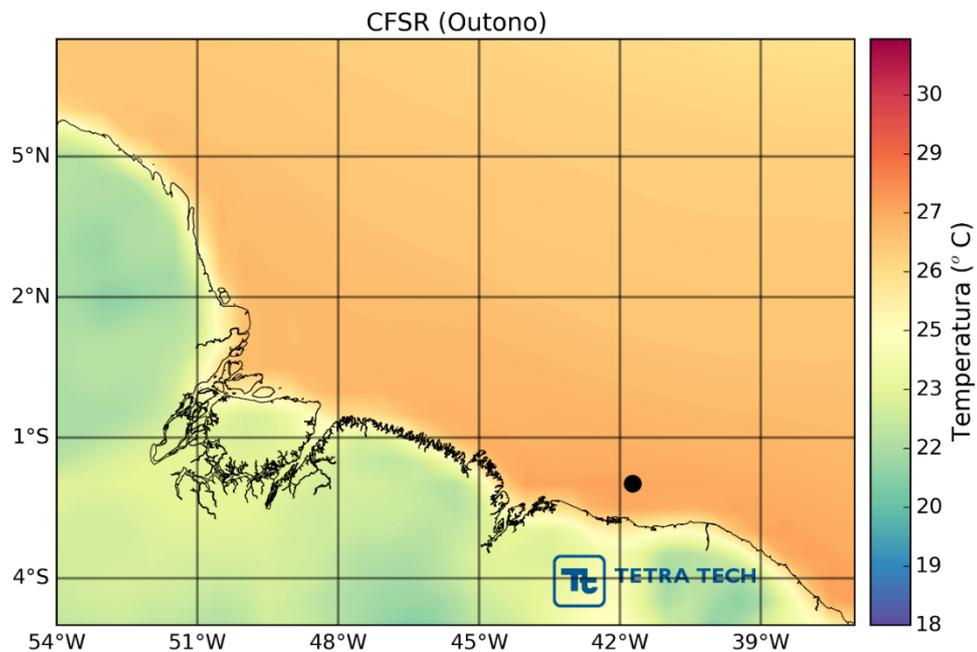


Figura 5 - Climatologia de outono (abril a junho) da temperatura do ar (°C) segundo dados de reanálise do CFSR no período de 1979 a 2010.

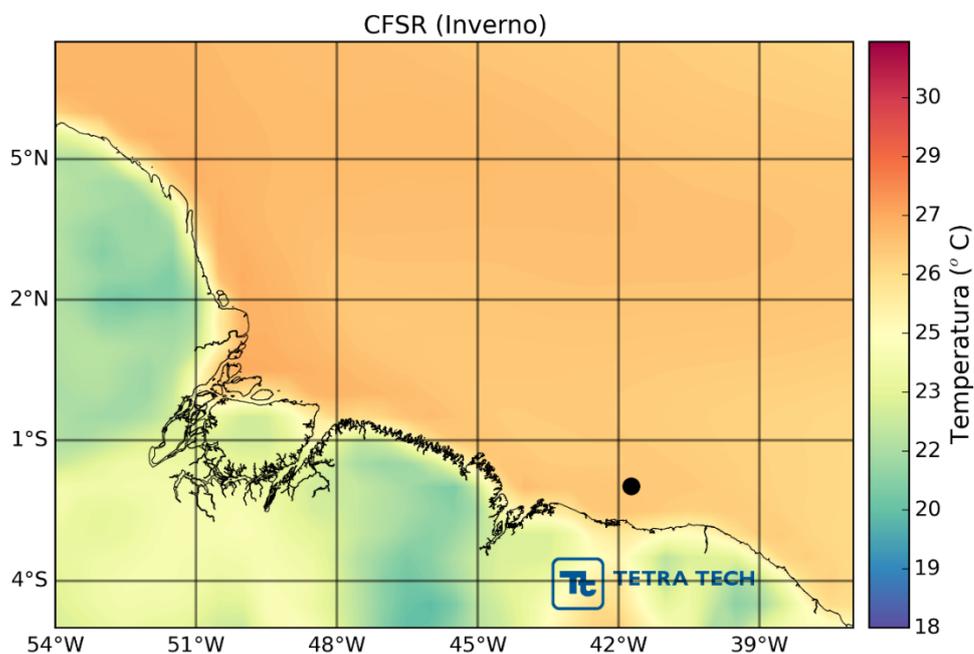


Figura 6 - Climatologia de inverno (julho a setembro) da temperatura do ar (°C) segundo dados de reanálise do CFSR no período de 1979 a 2010.

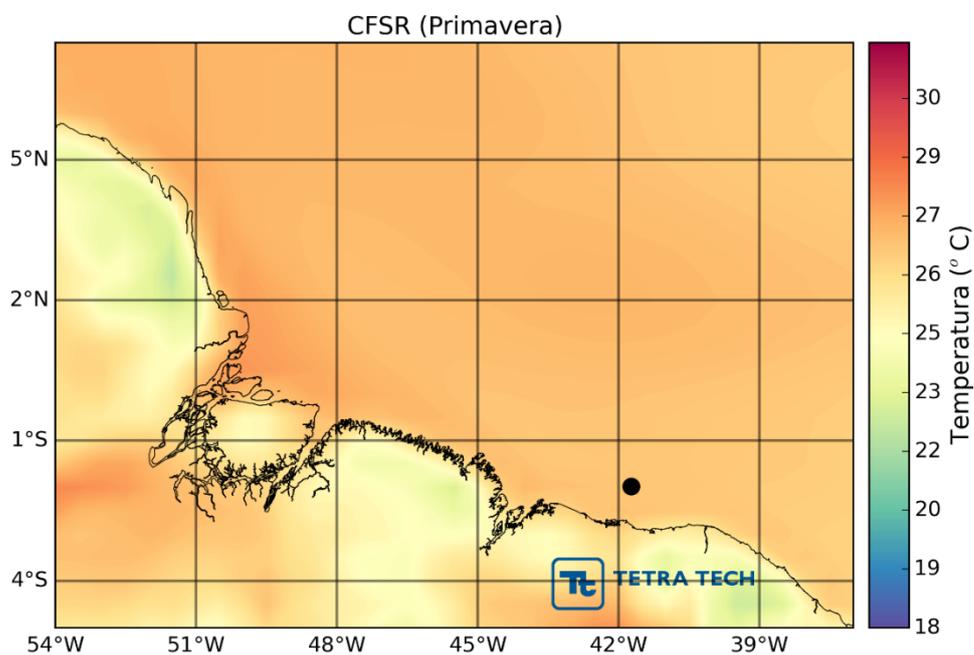


Figura 7 - Climatologia de primavera (outubro a dezembro) da temperatura do ar (°C) segundo dados de reanálise do CFSR no período de 1979 a 2010.

A Figura 8 apresenta as temperaturas média, máxima e mínima mensal do ar para o ponto de grade da reanálise do CFSR representativo do bloco BAR-M-346. As temperaturas oscilam em torno dos 28°C ao longo de todo o ano. Verifica-se que a

amplitude térmica ao longo do ano é muito pequena e as diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas são menores do que nas estações de dados observacionais (apresentadas a seguir). O motivo para tão pouca variabilidade é a proximidade do bloco à ao Equador, o que implica em uma quantidade de incidência de radiação solar com pouca variabilidade ao longo do ano, e também a capacidade calorífica elevada da água do mar, que mantém a massa de ar sobre ela com características bastante constantes.

A Figura 9 apresenta no quadro superior as temperaturas máxima, mínima e média mensal do ar a partir da série de dados recentes (1967 a 2015) da estação INMET de Parnaíba. A amplitude térmica média é menor do que 1°C, com temperaturas médias máximas de 28,9°C e médias mínimas de 27,6°C. As máximas absolutas ocorrem em agosto (36,2°C) e as mínimas em maio (21,1°C). Não há dados da normal climatológica para temperatura do ar para essa estação.

A Figura 10 apresenta no quadro superior a mesma análise para a estação de São Luís (série recente, de 1971 a 2015) e no quadro inferior os valores da normal climatológica do INMET para esta estação (de 1961 a 1990). Devido à baixa latitude e incidência de radiação solar com pouca variação ao longo do ano, não se observa grandes variações sazonais, sendo a amplitude térmica média menor do que 1°C. O mês mais quente, em média, é novembro (28,1°C) e o mais frio é março (27°C). As temperaturas máximas mensais observadas ocorrem em agosto (35,0°C) e as mínimas ficam em torno 21°C ao longo de todo o ano. A normal climatológica (Figura 10, inferior) é ligeiramente mais fria do que a série obtida com dados recentes.

Similarmente, a Figura 11 apresenta os valores médios, máximos e mínimos mensais da temperatura do ar para a estação do INMET de Soure, comparando a série com dados recentes (1961 a 2015, superior) e as normais climatológicas do INMET (inferior). Assim como nas estações anteriores, a temperatura apresenta variação sazonal bastante pequena. As temperaturas médias máximas ocorrem em outubro (28,1°C) e as mínimas médias em março (27°C). As máximas e mínimas absolutas ocorrem em junho e janeiro, respectivamente. Na comparação com a normal climatológica de 1961 a 1990 também se nota que a série recente é ligeiramente mais quente do que a série normal climatológica.

Finalmente, a Figura 12 apresenta a série com dados recentes (superior, de 1961 a 2015) para as temperaturas máxima, mínima e média do ar e as normais climatológicas (inferior, de 1961 a 1990) para a estação do INMET de Macapá. Conforme discutido acima,

a variação sazonal é pequena devido à proximidade da linha do Equador e portanto pouca variação na incidência de radiação solar. A temperatura média máxima ocorre em outubro, atingindo 29°C e a média mínima ocorre em fevereiro com 27°C; as mínimas absolutas ocorrem em outubro, atingindo 21°C e as máximas absolutas passam dos 36°C em janeiro. Observa-se que a temperatura na série normal é ligeiramente mais baixa do que na série com dados recentes, o comportamento ao longo do ano, contudo, é consistente entre as séries.

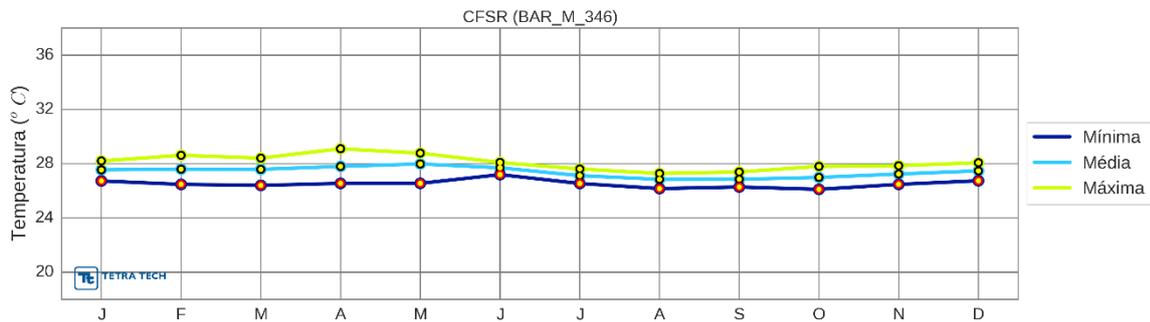


Figura 8 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) nas proximidades do bloco BAR-M-346 a partir da reanálise CFSR no período de 1979 a 2010.

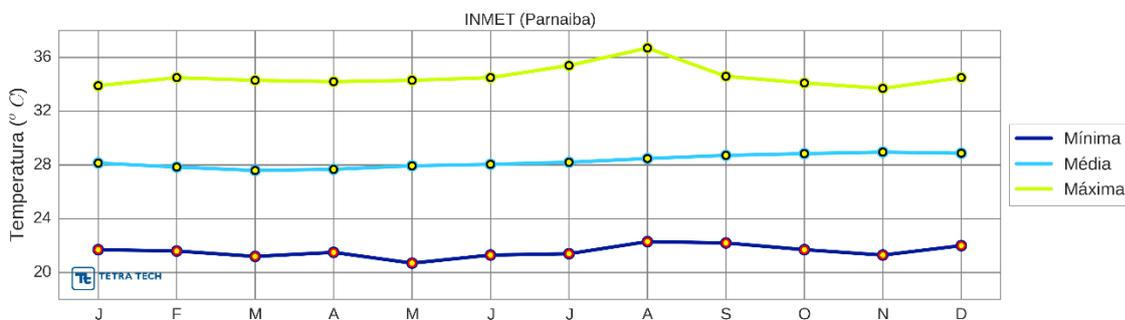


Figura 9 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET.

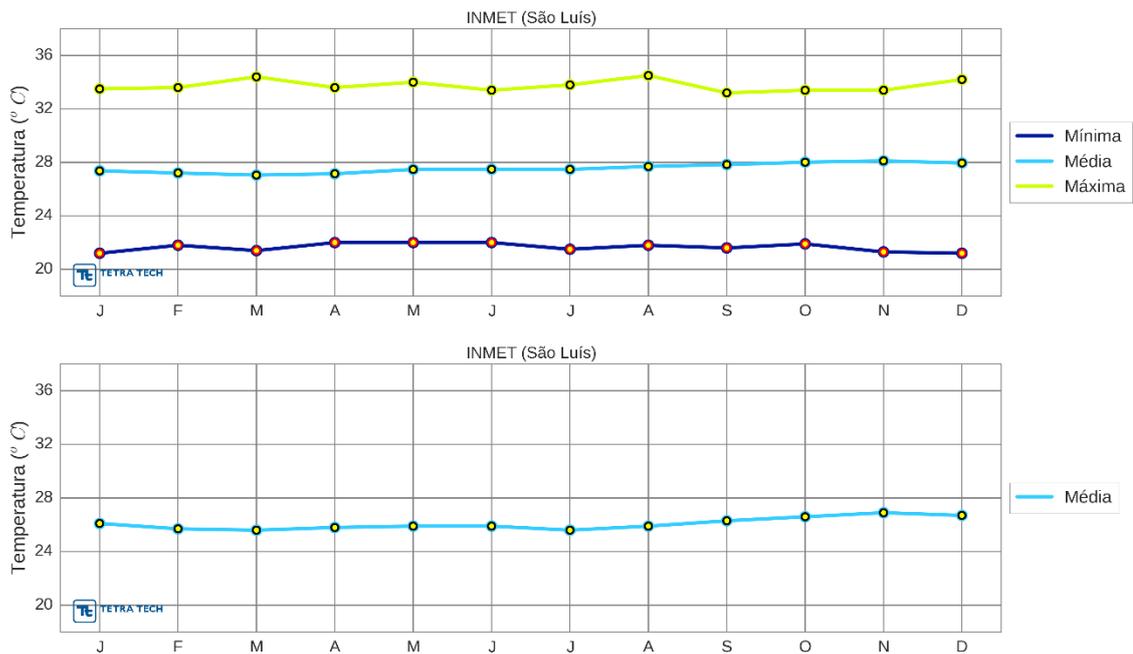


Figura 10 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

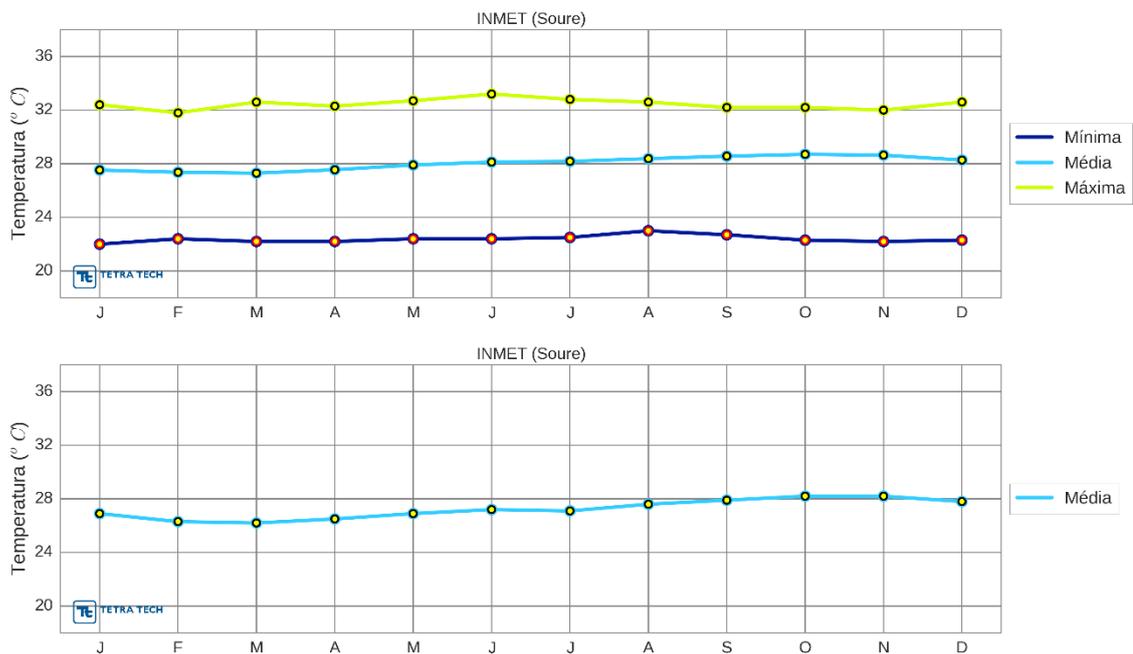


Figura 11 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

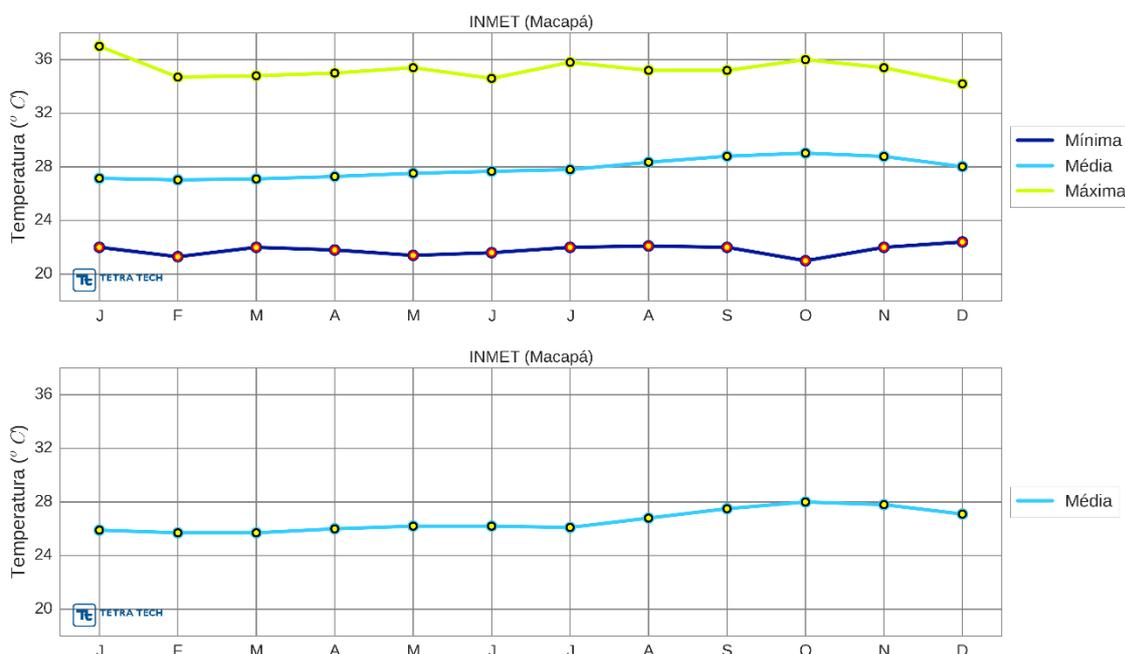


Figura 12 - Temperatura média, máxima e mínima mensal do ar (°C) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

2.4. PRECIPITAÇÃO

Da Figura 13 à Figura 16 são apresentados mapas das climatologias de precipitação para os períodos de verão (janeiro a março), outono (maio a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro), baseadas em dados do GPCP ao longo do período de 1979 a 2010.

Durante os períodos de verão e outono ocorrem os maiores índices precipitação na região, enquanto que os períodos de inverno e primavera são consideravelmente mais secos. O aumento da pluviosidade nos meses de verão e outono está associado ao deslocamento sazonal da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) (BARRY & CHORLEY, 2004) para sul da linha do Equador.

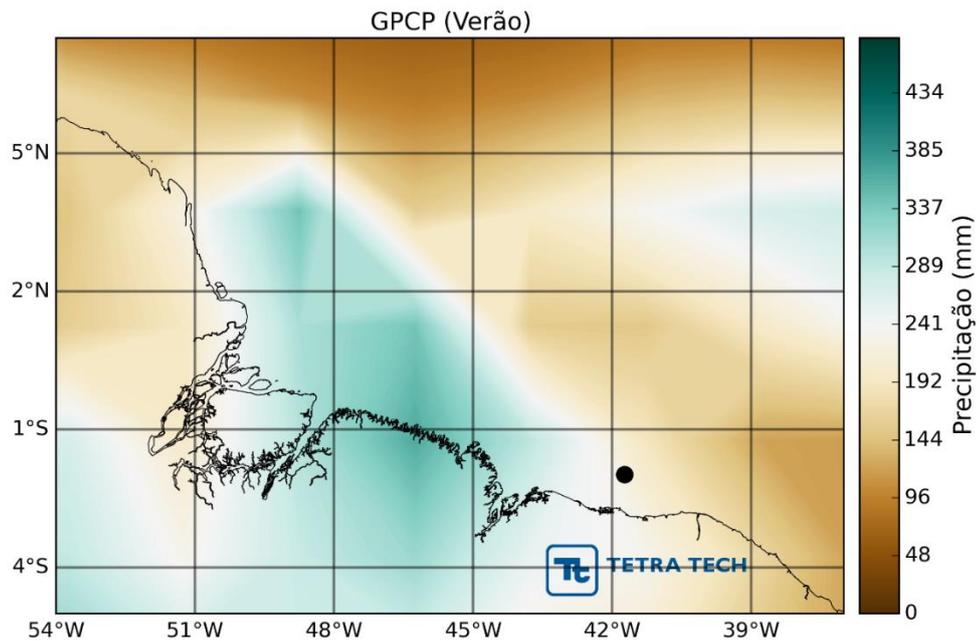


Figura 13 - Climatologia de verão (janeiro a março) da precipitação (mm/mês) segundo dados do GPCP no período de 1979 a 2010.

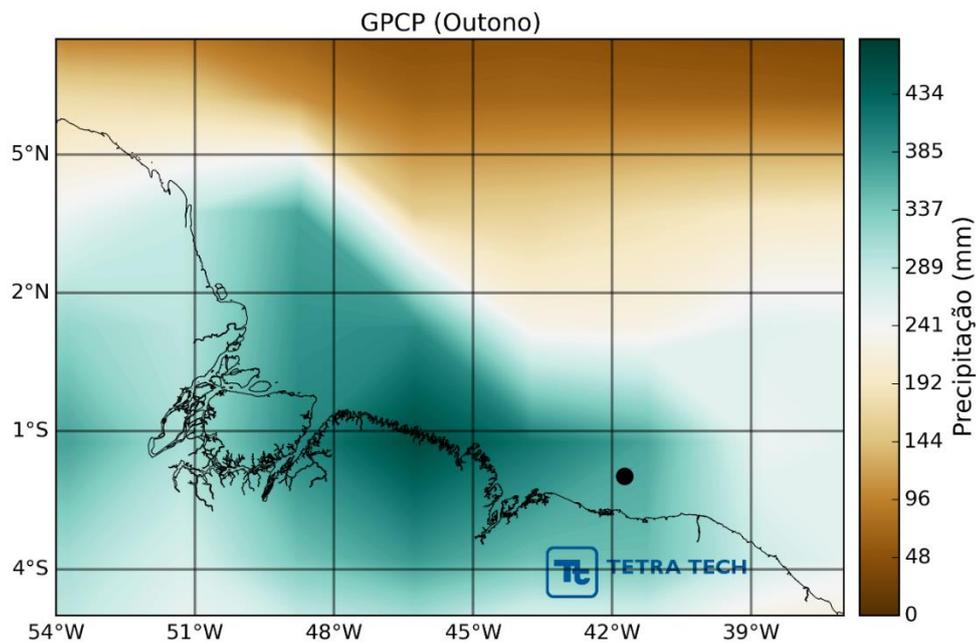


Figura 14 - Climatologia de outono (abril a julho) da precipitação (mm/mês) segundo dados do GPCP no período de 1979 a 2010.

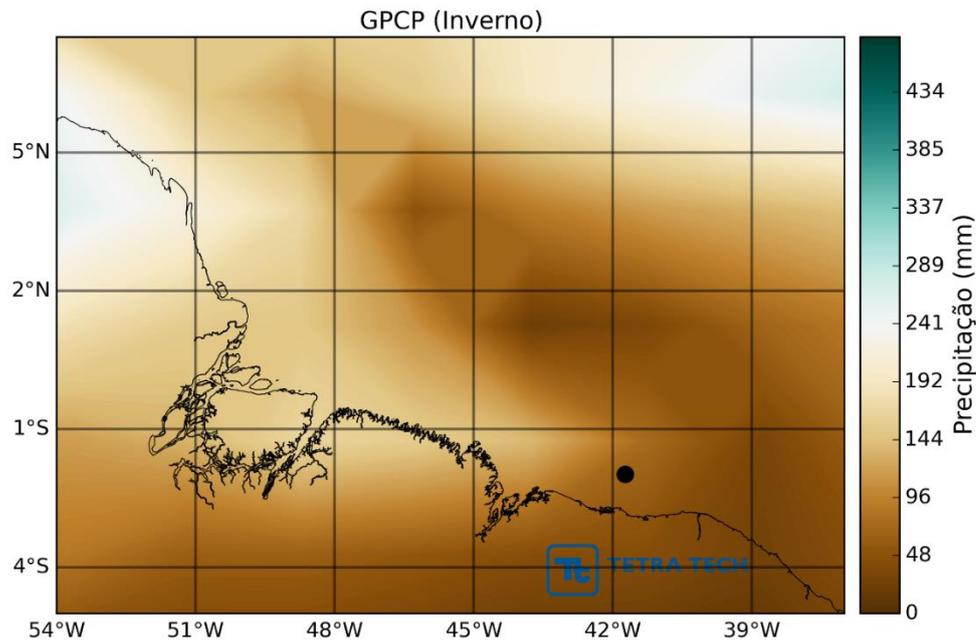


Figura 15 - Climatologia de inverno (julho a setembro) da precipitação (mm/mês) segundo dados do GPCP no período de 1979 a 2010.

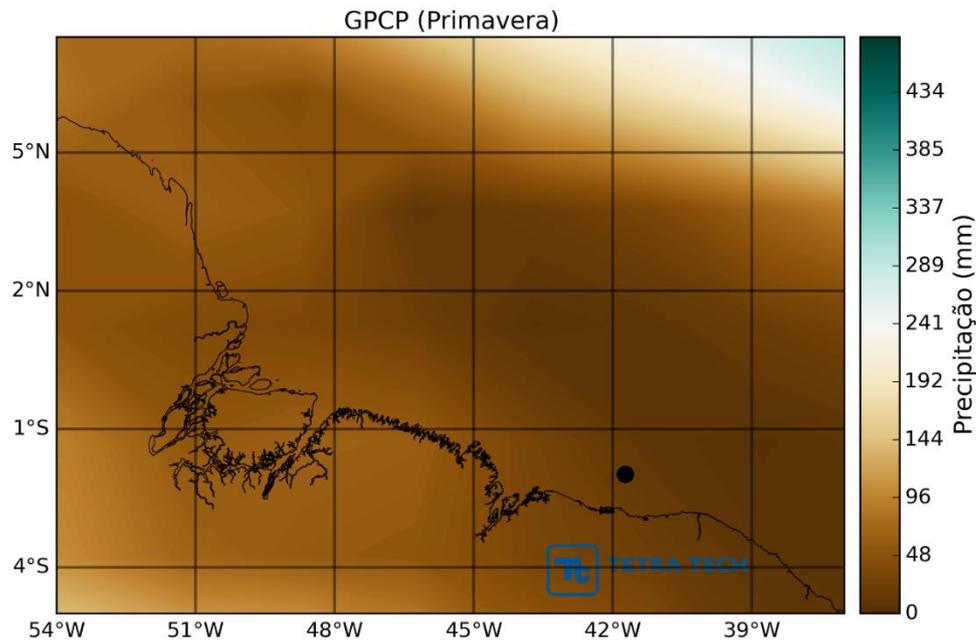


Figura 16 - Climatologia de primavera (outubro a dezembro) da precipitação (mm/mês) segundo dados do GPCP no período de 1979 a 2010.

A Figura 17 apresenta a série de precipitação extraída a partir do GPCP para o ponto de grade representativo do bloco BAR-M-346. A variação sazonal é similar à das estações do INMET, porém os valores médios são ligeiramente mais baixos, uma vez que a maior parte da precipitação tende a ocorrer sobre o continente e não sobre o oceano.

A Figura 21 traz um comparativo entre a séries recentes de precipitação nas estações de Parnaíba, São Luís, Soure e Macapá (esquerda) com as normais do INMET (direita). A variação sazonal da precipitação é similar entre todas as estações, com valores máximos ocorrendo entre março e abril e mínimos entre setembro e outubro, que o coincide com a variação da posição da ZCIT. Os valores máximos de precipitação na região de estudo são registrados na estação de Soure (651 mm em março) e os mínimos na estação de Parnaíba (1,6 mm em setembro). Em comparação (quando possível) com as normais climatológicas do INMET, todas as estações apresentam variação sazonal semelhante e valores precipitação similares, se observados os desvios em relação à média (barras vermelhas).

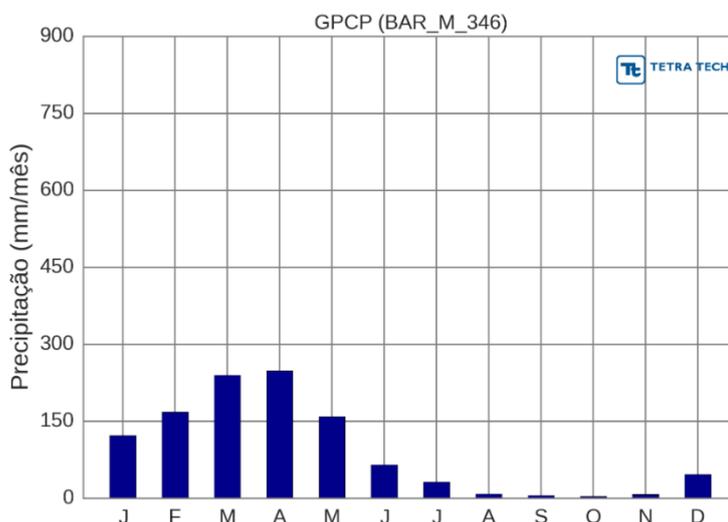


Figura 17 - Precipitação média mensal (mm/mês) nas proximidades do bloco BAR-M-346 a partir dos dados climatológicos do GPCP no período de 1979 a 2010.

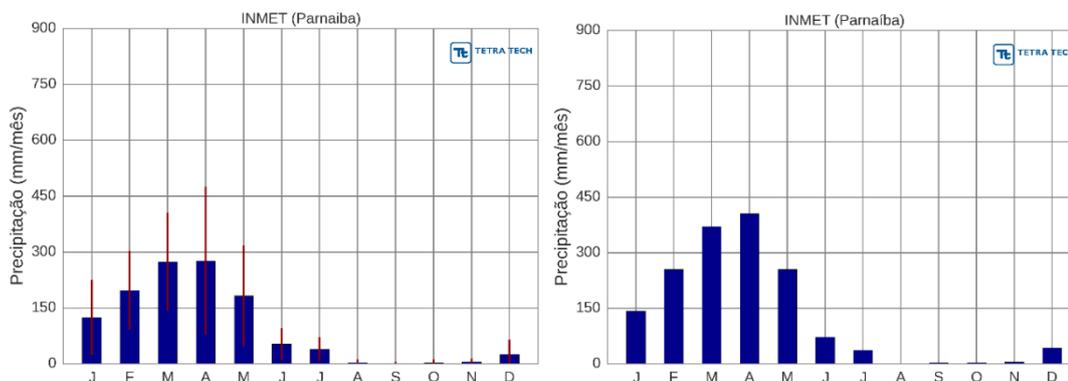


Figura 18 - Precipitação média mensal (mm) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Esquerda: série recente e desvio padrão; direita: normal climatológica.

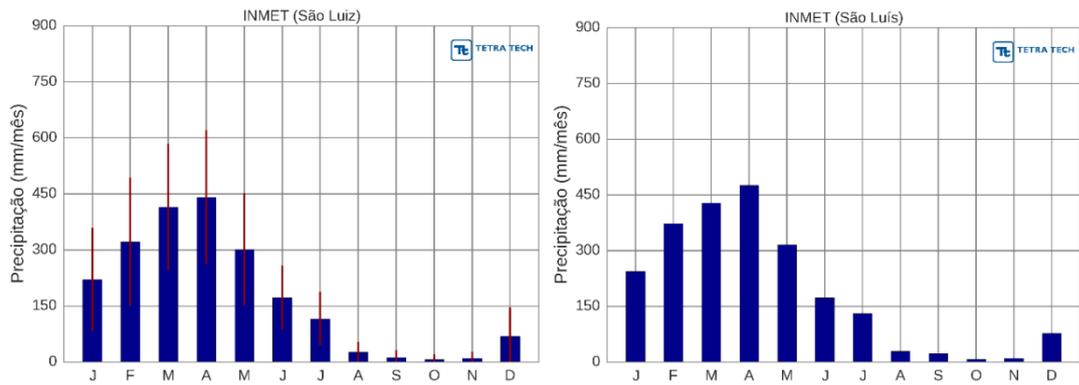


Figura 19 - Precipitação média mensal (mm) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Esquerda: série recente e desvio padrão; direita: normal climatológica.

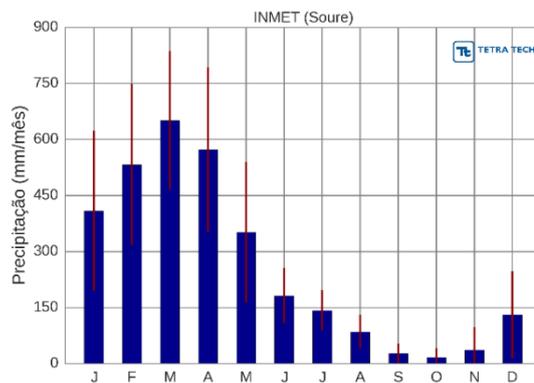


Figura 20 - Precipitação média mensal (mm) em Soure, de acordo com dados do INMET. Série recente e desvio padrão.

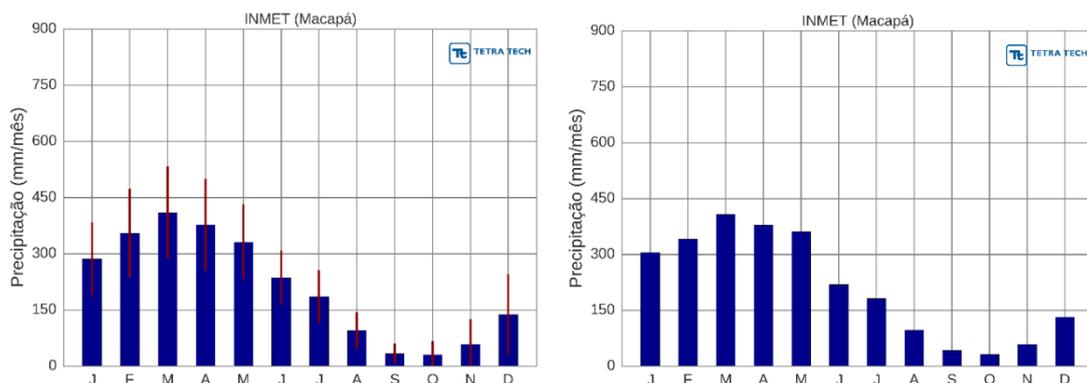


Figura 21 - Precipitação média mensal (mm) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Esquerda: série recente e desvio padrão; direita: normal climatológica.

2.5. EVAPORAÇÃO

A evaporação ao nível da superfície é uma variável influenciada, principalmente, por quatro parâmetros: (i) a temperatura do ar que aumenta a pressão de saturação do vapor e conseqüentemente a capacidade do ar absorver o vapor d'água; (ii) a umidade relativa do ar, pois o ar mais seco possui maior capacidade de absorção da água; (iii) a incidência de radiação solar (fonte de energia necessária para gerar a evaporação); e (iv) a intensidade dos ventos, fundamental para mistura vertical, o que impede que o ar sature nas camadas superficiais. A relação entre estes fatores, conforme descrito, ocorre de forma complexa.

A Figura 22 apresenta a série com dados recentes (superior) para a evaporação na estação do INMET de Parnaíba. A série recente apresenta valores máximos de 247 mm/mês em outubro e mínimos de 76 mm/mês em abril. Em comparação com a normal climatológica, a série recente apresenta valores ligeiramente maiores.

Para a estação de São Luís, a série recente é mostrada no quadror superior e a normal climatologia do INMET no inferior na Figura 23. A variação sazonal e a quantidade de evaporação são similares às demais estações. Os valores máximos médios ocorrem também em outubro (124 mm/mês) e os mínimos em março (47 mm/mês). A normal climatológica apresenta valores ligeiramente mais elevados do que a série recente.

A Figura 24 apresenta as séries com dados recentes (superior) e normal climatológica (inferior) de evaporação para a estação de Soure. Tanto a sazonalidade quanto a ordem de grandeza são similares as estações de Parnaíba e São Luis. Os valores máximos médios de evaporação ocorrem em outubro (114,1 mm/mês) e os mínimos em março (41 mm/mês). A série normal e a normal climatológica apresentam-se bastante similares.

Finalmente, A Figura 25 apresenta a série com dados recentes (superior) para a evaporação na estação do INMET de Macapá e respectiva normal climatológica (inferior). O máximo de evaporação ocorre em outubro e o mínimo em abril, exatamente quando os valores de insolação atingem os máximos e a disponibilidade de água na atmosfera (precipitação e umidade do ar) são mais elevadas. O máximo médio é de 145 mm/mês e o mínimo médio é de 45 mm/mês. Em comparação com a normal climatológica, os valores da série recente são ligeiramente menores, mas a sazonalidade, semelhante.

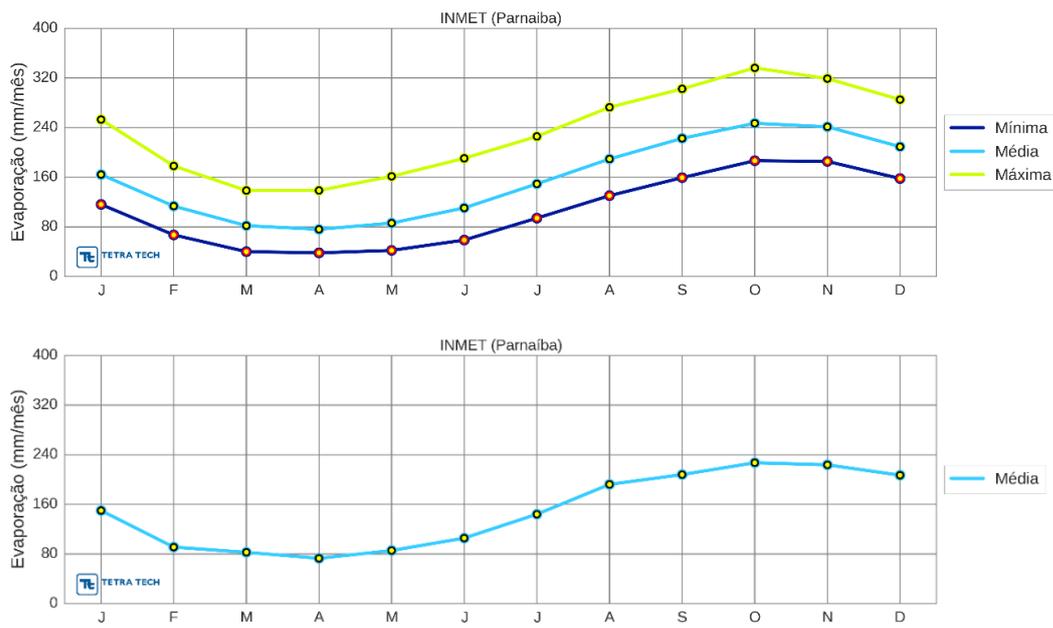


Figura 22 - Evaporação média, máxima e mínima mensal (mm/mês) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

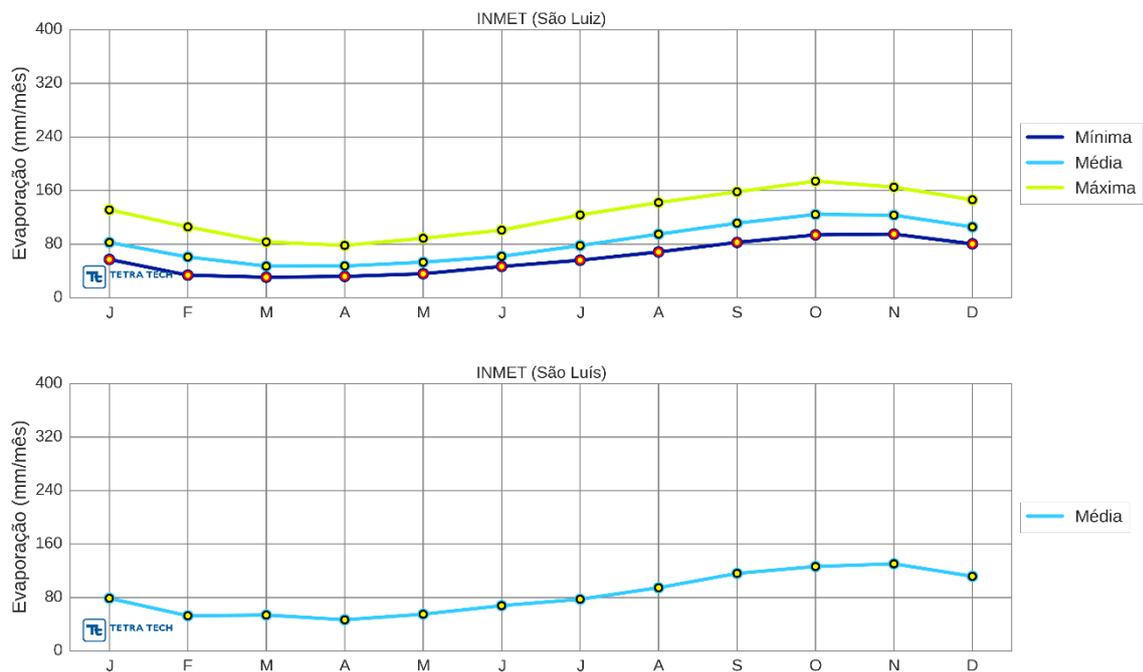


Figura 23 - Evaporação média, máxima e mínima mensal (mm/mês) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

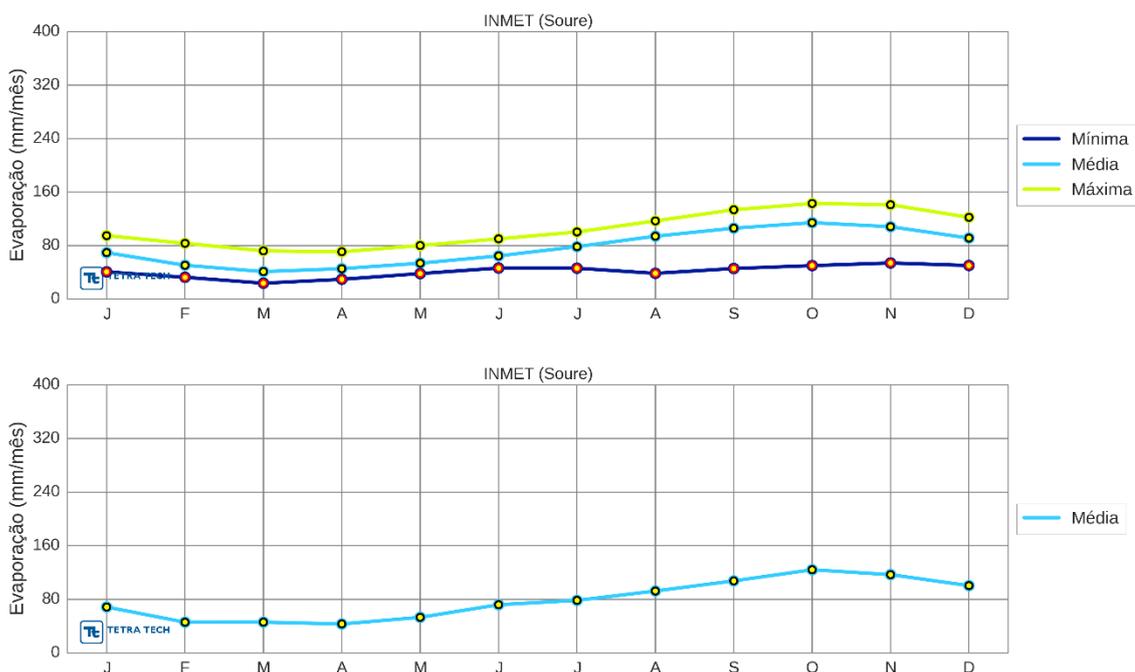


Figura 24 - Evaporação média, máxima e mínima mensal (mm/mês) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

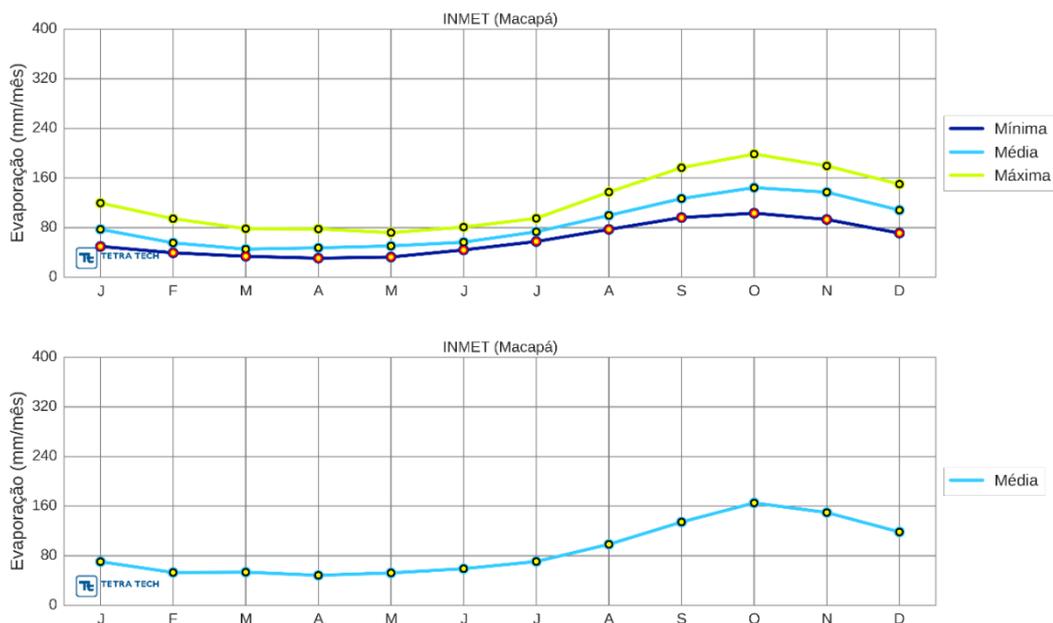


Figura 25 - Evaporação média, máxima e mínima mensal (mm/mês) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

2.6. UMIDADE RELATIVA

É importante notar que o parâmetro umidade relativa do ar não se refere à quantidade absoluta de vapor de água presente na atmosfera (em massa ou volume), mas sim à relação entre a quantidade de vapor e a capacidade da atmosfera de reter este vapor (por isso sua unidade é dada em porcentagem). Assim, a umidade relativa indica o quão próximo à atmosfera está do seu estado de saturação. Quando a saturação máxima é atingida ocorre a condensação do vapor, de forma que sob a condição de precipitação a umidade relativa possui valores próximos a 100%. Dadas condições de temperatura semelhantes, onde a capacidade de retenção de vapor pela atmosfera não sofra alterações, o fator de evaporação de água pela superfície influenciará o valor da umidade relativa do ar.

Da Figura 26 à Figura 29 são apresentadas as climatologias de verão, outono, inverno e primavera para a umidade relativa na região de estudo de acordo com a reanálise do CFSR/NCEP. Sobre o continente se observa um período úmido nos meses de verão e outono, e um período mais seco nos meses de inverno e primavera. Essa variação está ligada principalmente a variação anual da ZCIT e mudança nos ventos alísios. Sobre o oceano, não se observa variação significativa entre as estações.

A Figura 30 apresenta a série de umidade relativa nas proximidades do bloco BAR-M-346 extraída da reanálise do CFSR. Em relação as estações continentais, a variação sazonal é bastante semelhante, porém os valores são mais baixos e a amplitude entre máximas e mínimas é menor. Anualmente os valores variam em torno dos 75%.

A Figura 31 apresenta a série recente da variação da umidade relativa para a estação do INMET de de Parnaíba. A serie recente (Figura 31, superior), apresenta os valores médios, mínimos e máximos da umidade relativa para essa estação. Observa-se um período mais úmido entre os meses de janeiro e junho, com máximos médios entre março e abril (80%) e mínimos entre julho e dezembro (67%). As máximas absolutas ficam próximas aos 95% durante todo o ano e as mínimas ficam em torno dos 50%. Na comparação com normal do INMET, o ciclo sazonal é muito mais visível na série recente, porém em ambas as séries, os valores variam em torno de 75%. Comparativamente essa é a estação mais seca entre as analisadas.

A Figura 32 apresenta as séries recente (superior) e a normal climatológica do INMET (inferior) para a umidade relativa do ar na a estação de São Luis. A variação sazonal é semelhante às demais estações, com médias máximas em abril (84%) e mínimas em outubro (76,5%). As máximas absolutas ficam em torno dos 96% durante todo o ano e as mínimas um pouco acima dos 60%. Na comparação com a normal climatológica do INMET, observa-se a mesma variação sazonal, porém a normal é relativamente mais úmida do que a série recente.

Já a Figura 33 apresenta as séries com dados recentes (superior) e a respectiva normal climatológica (inferior) para a estação do INMET de Soure. Assim como para as outras estações, ocorre um período mais úmido no início do ano (até junho) e outro mais seco (de julho a dezembro). Os valores máximos médios ocorrem em março (84,5%) e os mínimos médios em outubro (75%). Os máximos absolutos ficam em torno de 98% durante todo o ano e os mínimos em torno dos 65%. A série climatológica e a normal apresentam uma variação muito similar.

A Figura 34 (superior) apresenta a mesma análise para a estação de Macapá. Observa-se um período mais úmido até junho com valores médios máximos de 84,7% em abril, e outro período mais seco entre julho e dezembro, com valores médios mínimos de 75% em outubro. Na comparação com a normal climatológica do INMET (Figura 34, inferior), a série recente é ligeiramente mais seca; a variação sazonal, contudo, é semelhante.

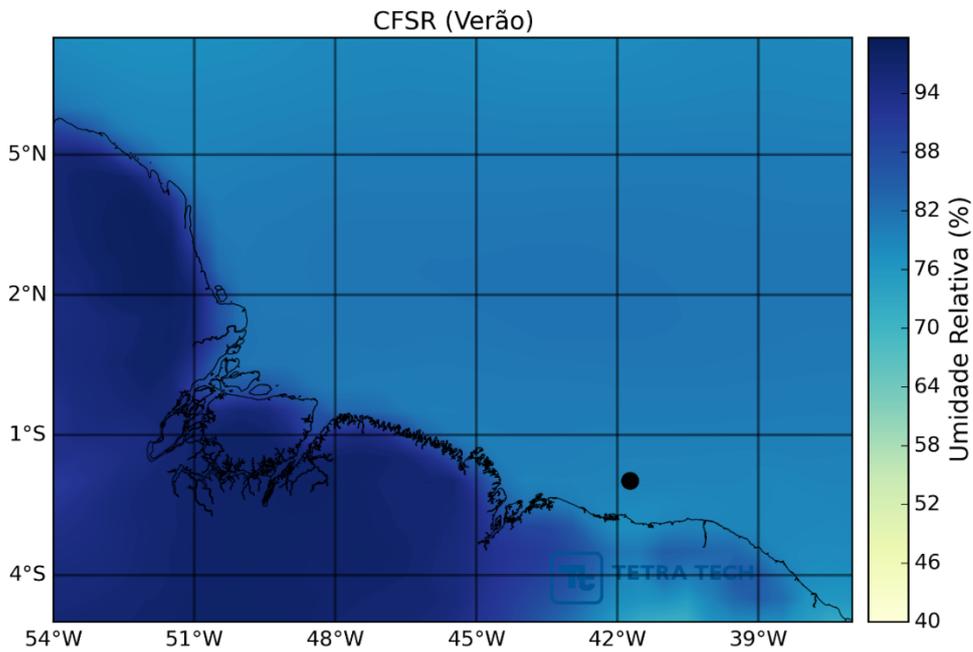


Figura 26 - Climatologia de verão (janeiro a março) da umidade relativa (%) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.

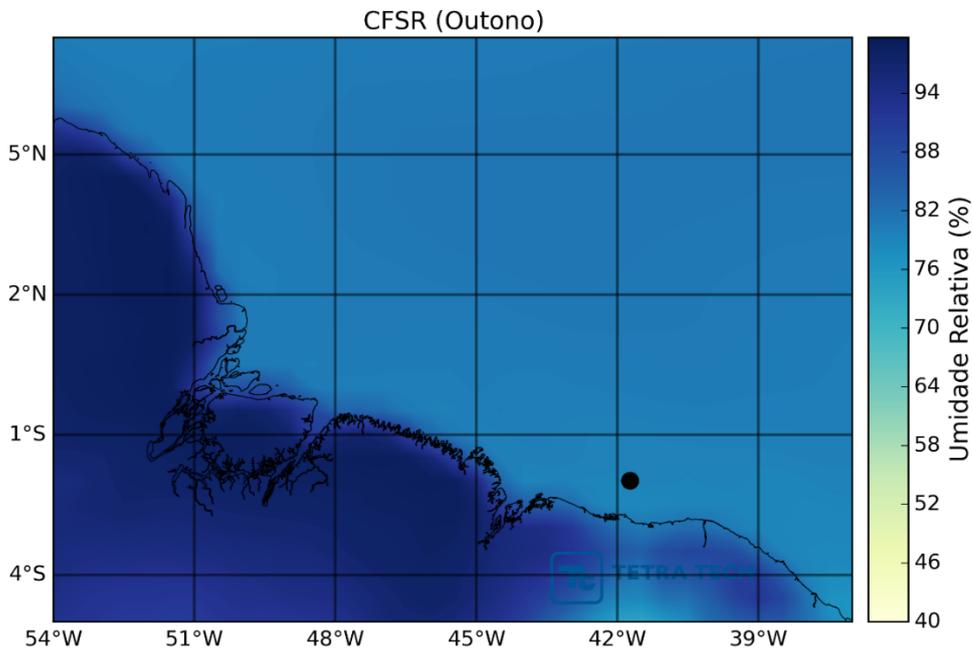


Figura 27 - Climatologia de outono (abril a junho) da umidade relativa (%) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.

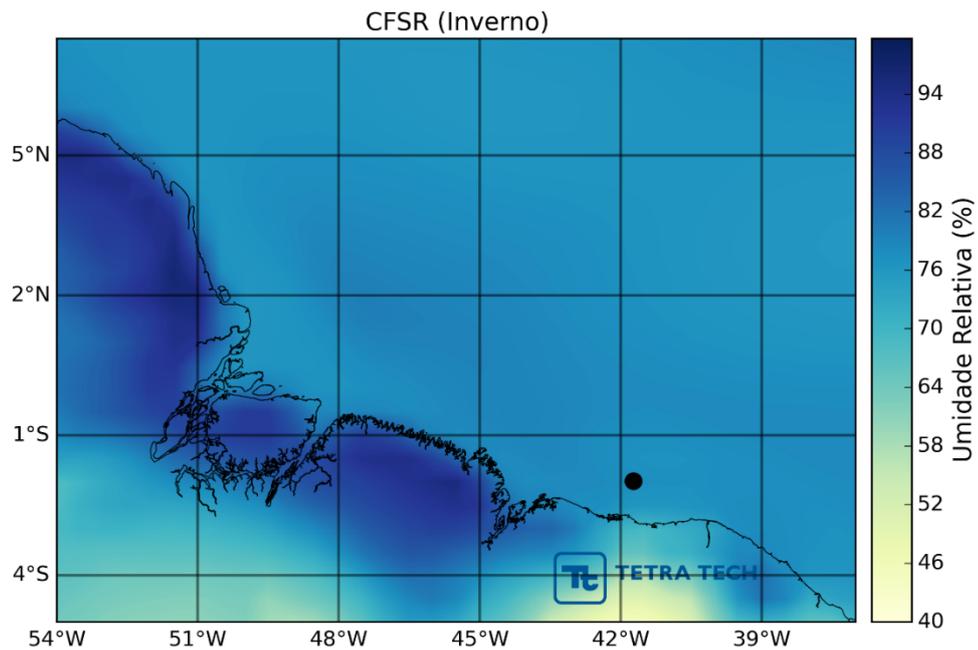


Figura 28 - Climatologia de inverno (julho a setembro) da umidade relativa (%) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.

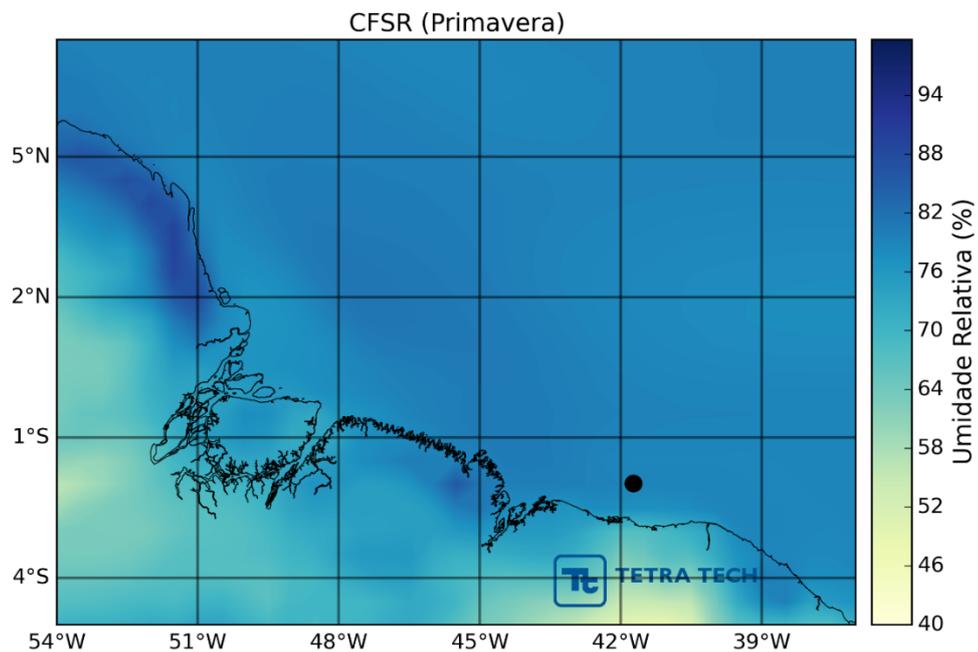


Figura 29 - Climatologia de primavera (outubro a novembro) da umidade relativa (%) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.

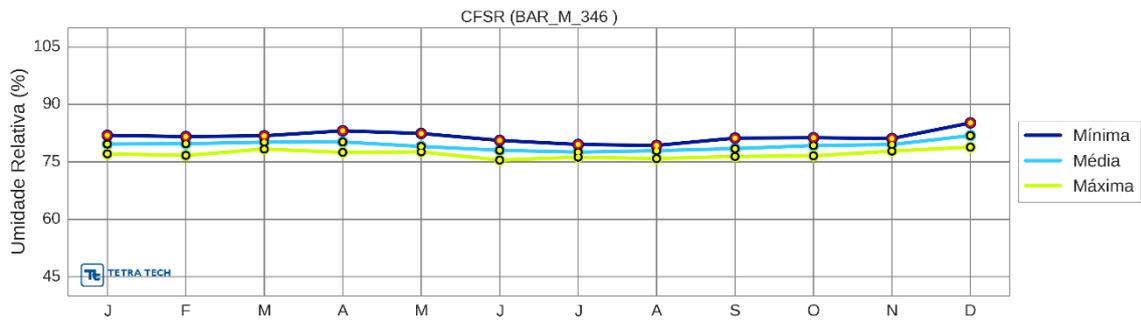


Figura 30 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) nas proximidades do bloco BAR-M-346 a partir da reanálise CFSR no período de 1979 a 2010.

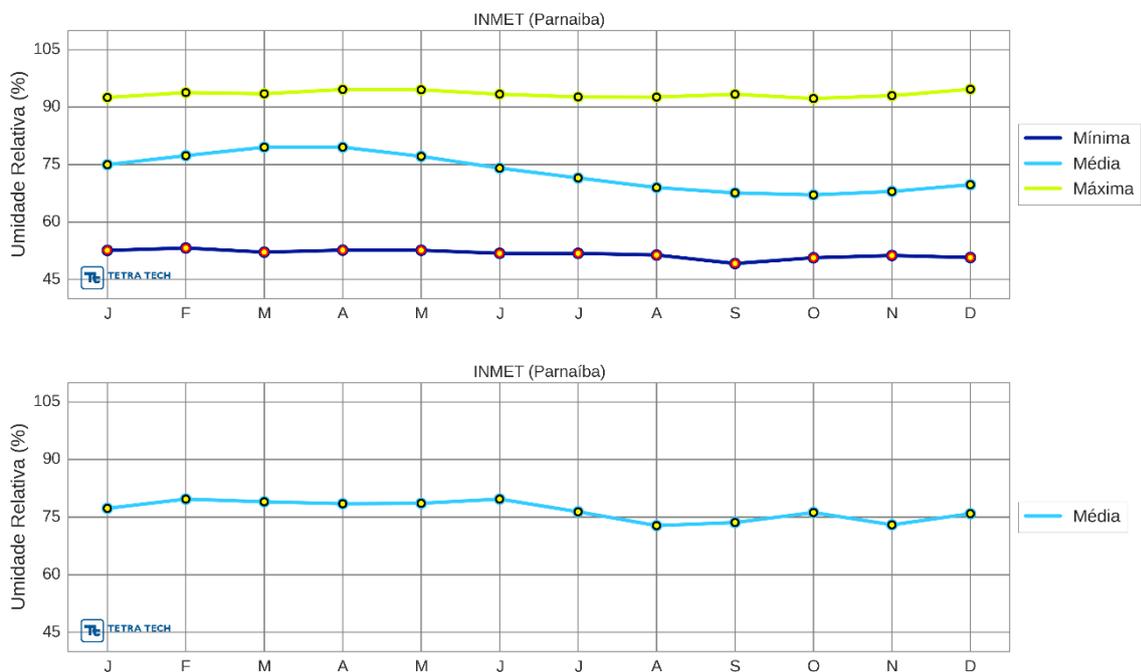
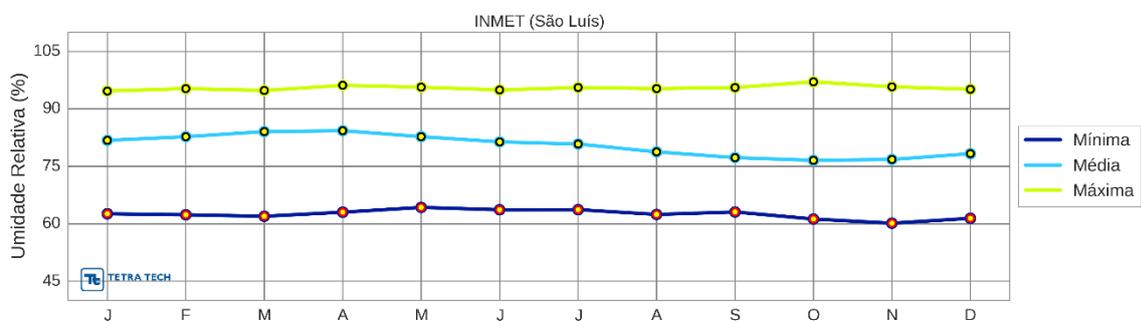


Figura 31 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.



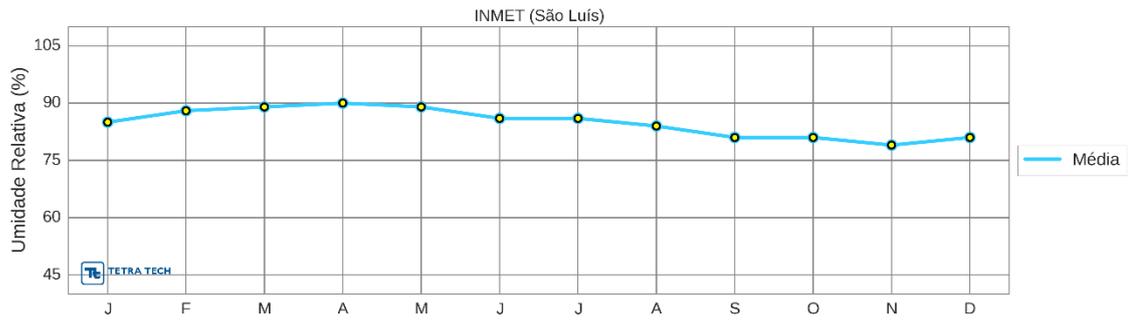


Figura 32 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

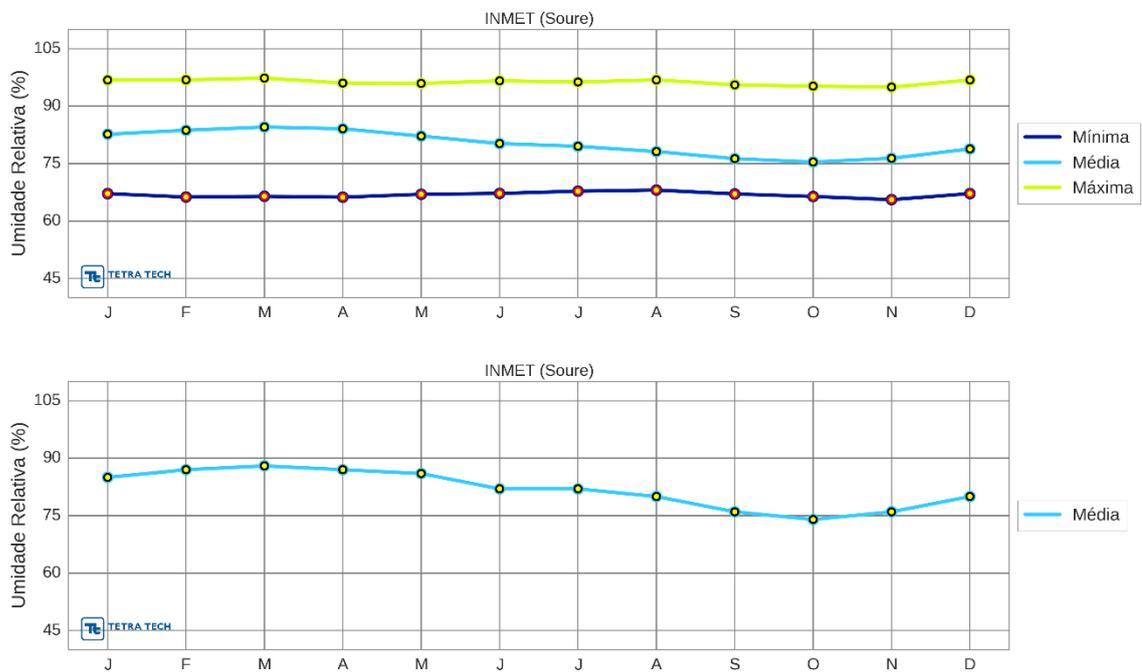
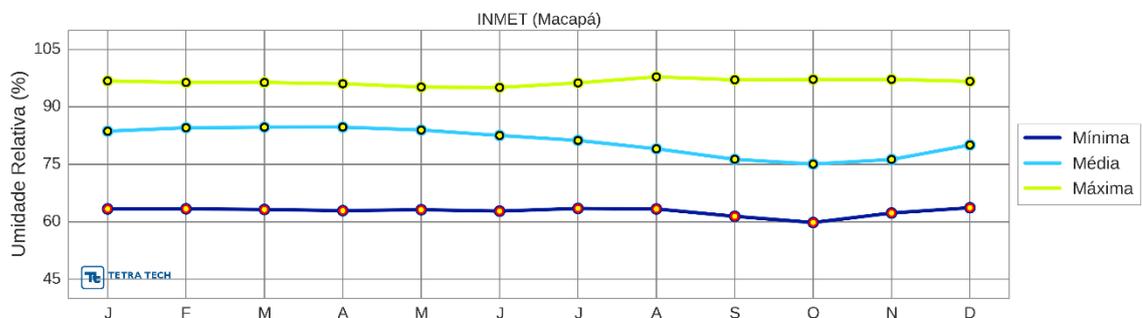


Figura 33 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.



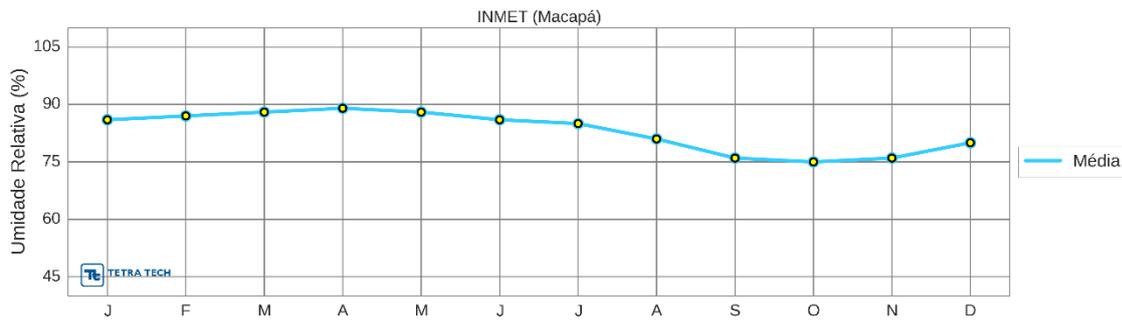


Figura 34 - Umidade relativa média, máxima e mínima mensal do ar (%) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

2.7. INSOLAÇÃO

O parâmetro insolação refere-se ao número de horas de brilho solar, de forma a quantificar o tempo de incidência direta de radiação solar. Maiores valores de insolação, portanto, associam-se a condições de ausência de nebulosidade e precipitação. Lembra-se que durante o período noturno os valores para insolação são nulos, devido à notória ausência de radiação solar incidente.

A Figura 35 (superior) apresenta a série recente de insolação para a estação do INMET de Parnaíba, enquanto que a Figura 35 (inferior) apresenta a normal climatológica do INMET para a mesma estação. O comportamento da série é inverso ao da precipitação e umidade relativa, em decorrência da maior cobertura de nuvens durante a primeira metade do ano (evidenciada pela maior precipitação e maior umidade do ar). Parnaíba recebe horas de sol com médias máximas de 301 horas/mês em outubro e mínimas de 168 horas/mês em março. Com exceção do mês de setembro, a normal climatológica apresenta o mesmo comportamento da série recente.

A Figura 36 apresenta a mesma análise para a estação de São Luís. A sazonalidade é similar às demais estações, com o máximo de insolação média ocorrendo em setembro (260 horas/mês) e o mínimo em março (111 horas/mês). Novamente, com exceção de setembro, a série recente e a série normal climatológica são equivalentes. A Figura 37 traz a mesma análise para a estação de Soure. Tanto a variação sazonal quanto os valores médios são similares aos observados anteriormente. Os máximos médios de radiação

ocorrem em outubro (277 horas/mês) e os mínimos médios ocorrem em março (95 horas/mês). A série normal climatológica e a série recente são similares.

Finalmente, A Figura 38 (superior) apresenta a série recente para a insolação para a estação do INMET de Macapá e a Figura 38 (inferior) apresenta a respectiva normal climatológica. Os valores máximos ocorrem em setembro (280 horas/mês) e os mínimos em março (112,1 horas/mês). Tanto a série recente quanto a normal climatológica apresentam comportamento sazonal muito similar.

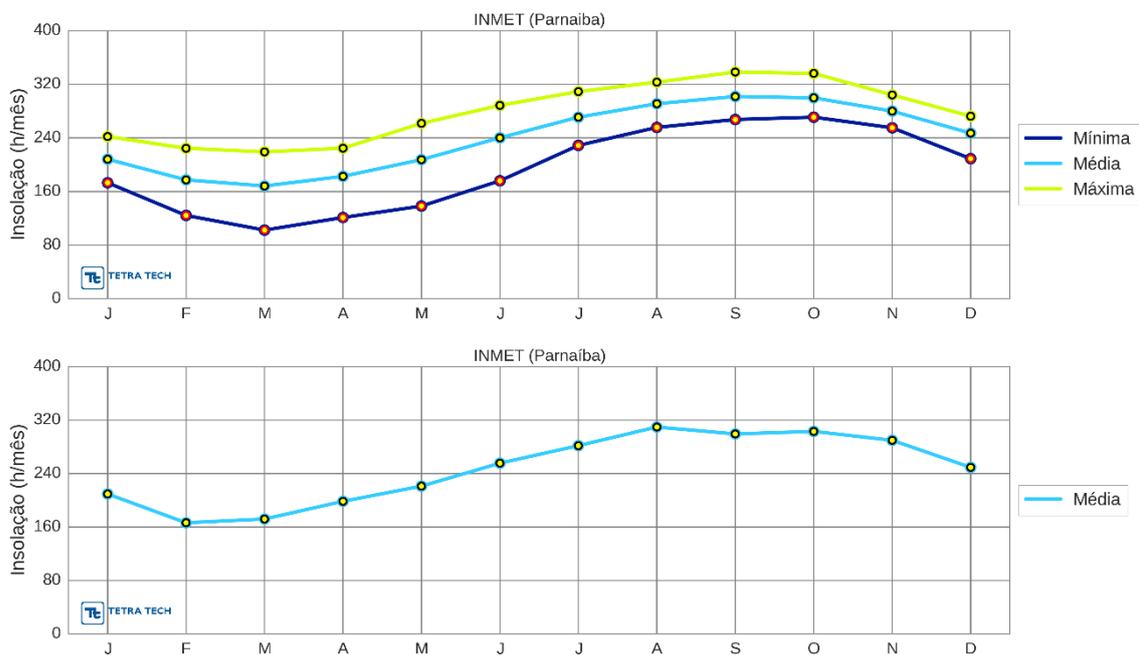
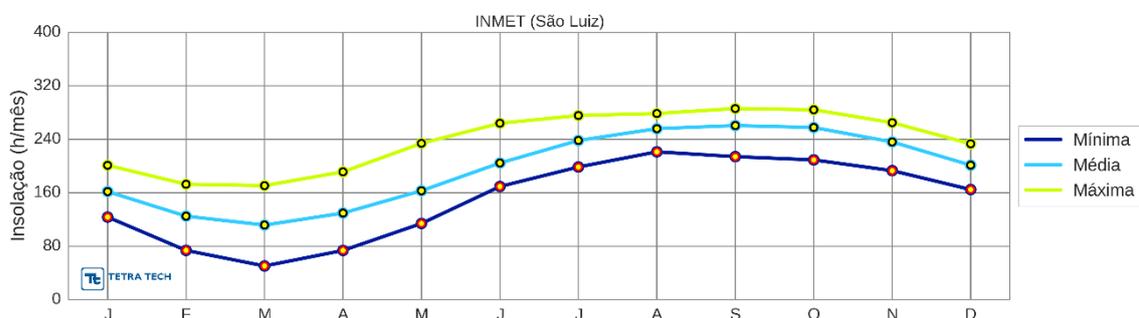


Figura 35 - Insolação média, máxima e mínima mensal (horas/mês) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.



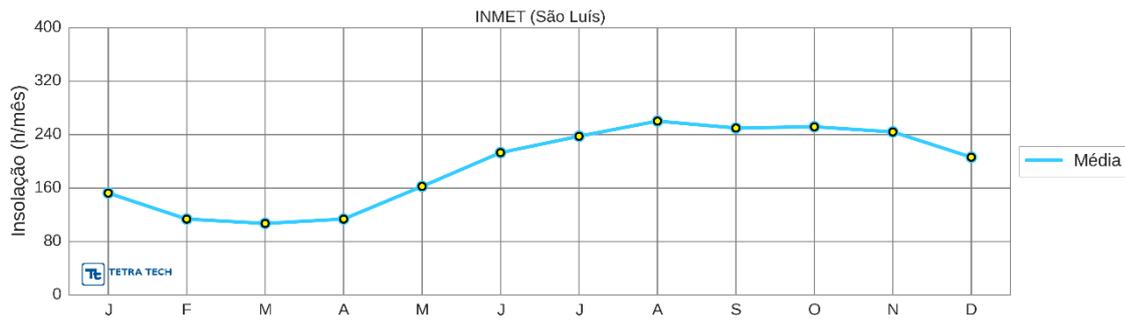


Figura 36 - Insolação média, máxima e mínima mensal (horas/mês) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

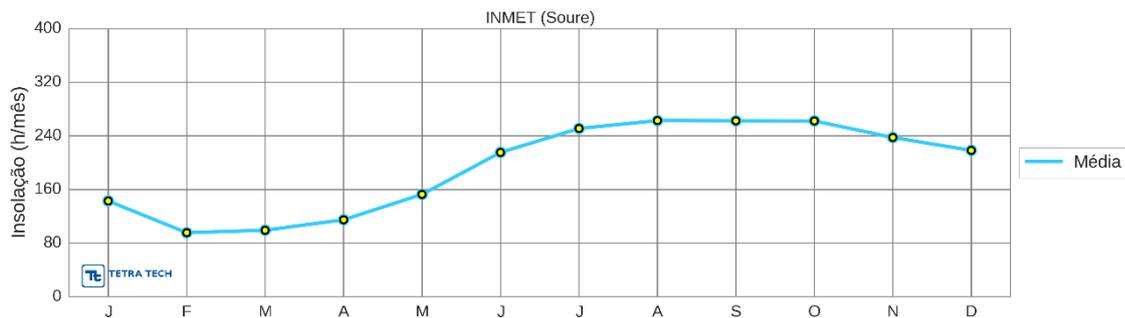
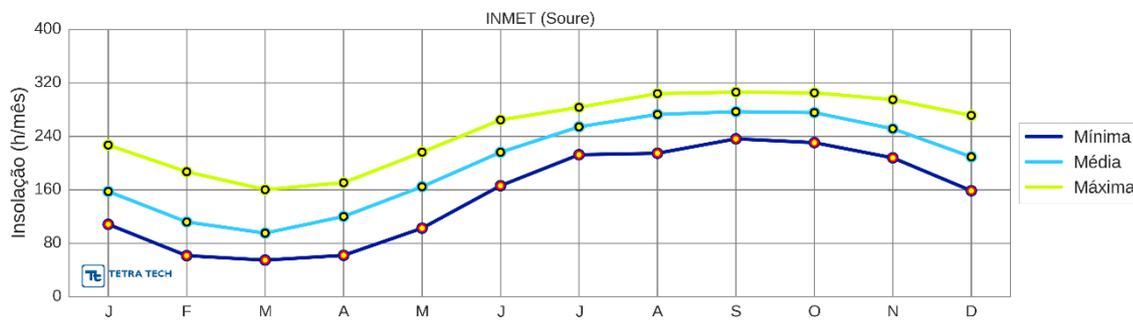
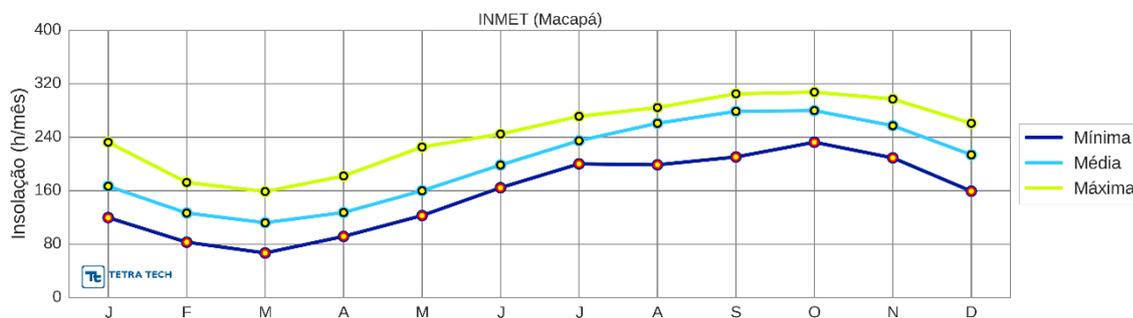


Figura 37 - Insolação média, máxima e mínima mensal (horas/mês) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.



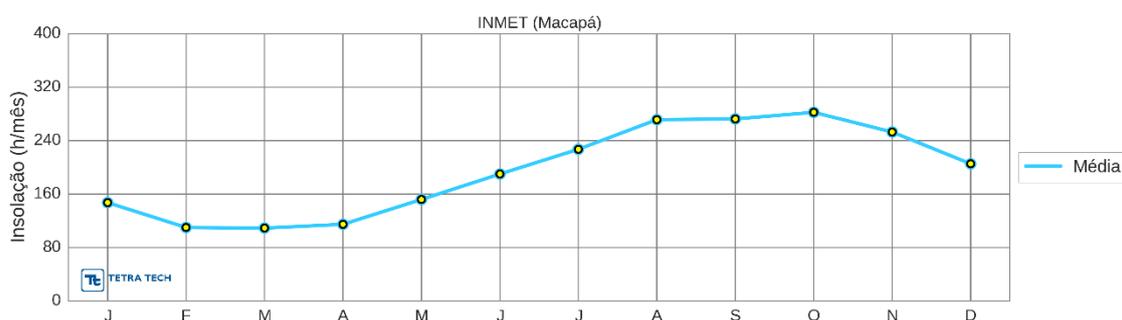


Figura 38 - Insolação média, máxima e mínima mensal (horas/mês) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

2.8. PRESSÃO ATMOSFÉRICA

O parâmetro pressão atmosférica reflete as características da coluna atmosférica sobre uma superfície. Regiões da superfície com baixa pressão atmosférica relacionam-se, em geral, a circulação de subsidência (ou onde há divergência horizontal) e a temperaturas mais elevadas. Inversamente, regiões da superfície com alta pressão atmosférica estão associadas a condições de circulação com convecção (onde ocorre convergência) e de temperaturas mais baixas (VIANELLO, 1991).

Da Figura 39 à Figura 42 são apresentadas as climatologias sazonais da pressão atmosférica reduzida ao nível do mar para as diferentes estações do ano na região de estudo. As principais variações sazonais de pressão estão relacionadas ao deslocamento da ZCIT.

A Figura 43 apresenta a série de pressão extraída da climatologia do CFSR para o ponto de grade mais próximo o possível do bloco BAR-M-346, onde a variação sazonal é similar a das estações de medição, com máximas em junho e mínimas em novembro.

A variação da pressão ocorre de maneira bastante similar entre todas as estações analisadas. A Figura 47, Figura 44, Figura 45 e Figura 46 apresentam as séries recentes (superior) e as normais climatológica (inferior, quando disponível) para as estações do INMET de Parnaíba, São Luís, Soure e Macapá, respectivamente. Para todas as estações de medição os meses entre abril e setembro apresentam pressões atmosféricas mais elevadas com máximos em junho (1007 hPa em Parnaíba, 1006 hPa em São Luís, 1011 hPa em Soure e 1010 hPa em Macapá), enquanto os mínimos de pressão ocorrem em novembro para todas as estações (1005 hPa em Parnaíba, 1004hPa em São Luís, 1009

hPa em Soure e 1008hPa em Macapá). A amplitude de variação média entre as estações não passa de 2hPa. Em todas as estações a série normal climatológica é equivalente a série recente.

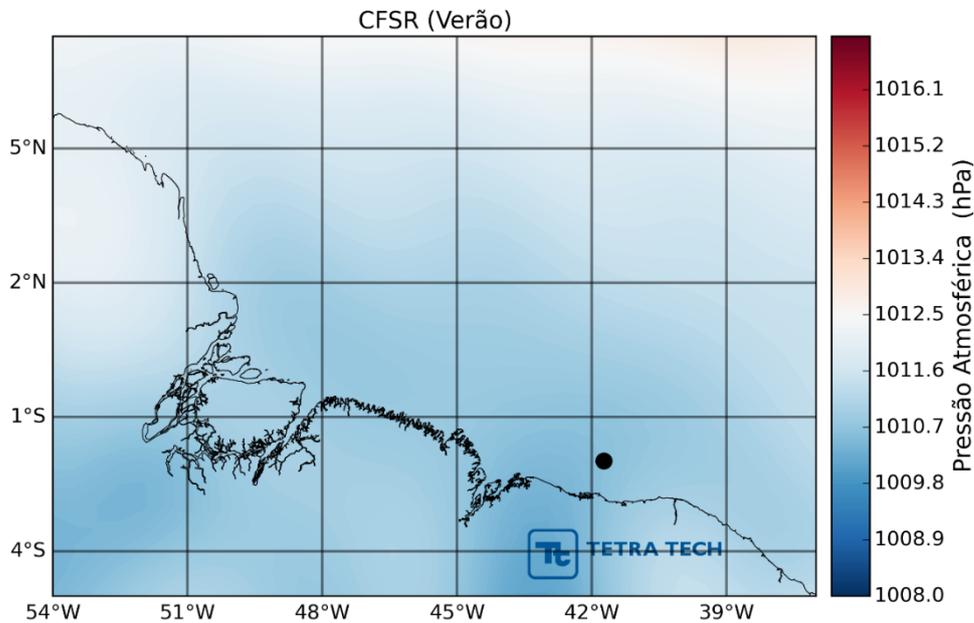


Figura 39 - Climatologia de verão (janeiro a março) da pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.

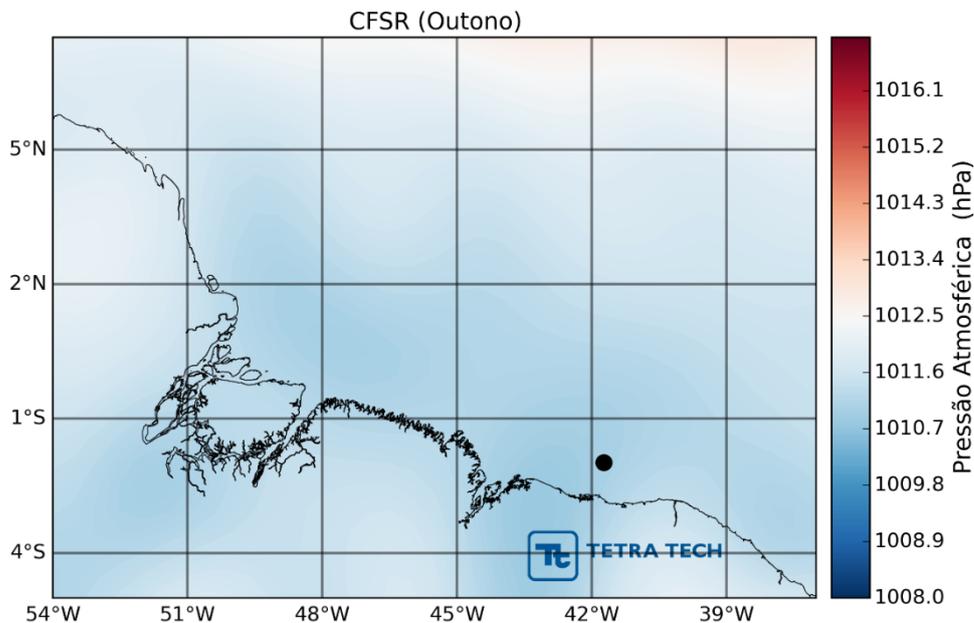


Figura 40 - Climatologia de outono (abril a junho) da pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.

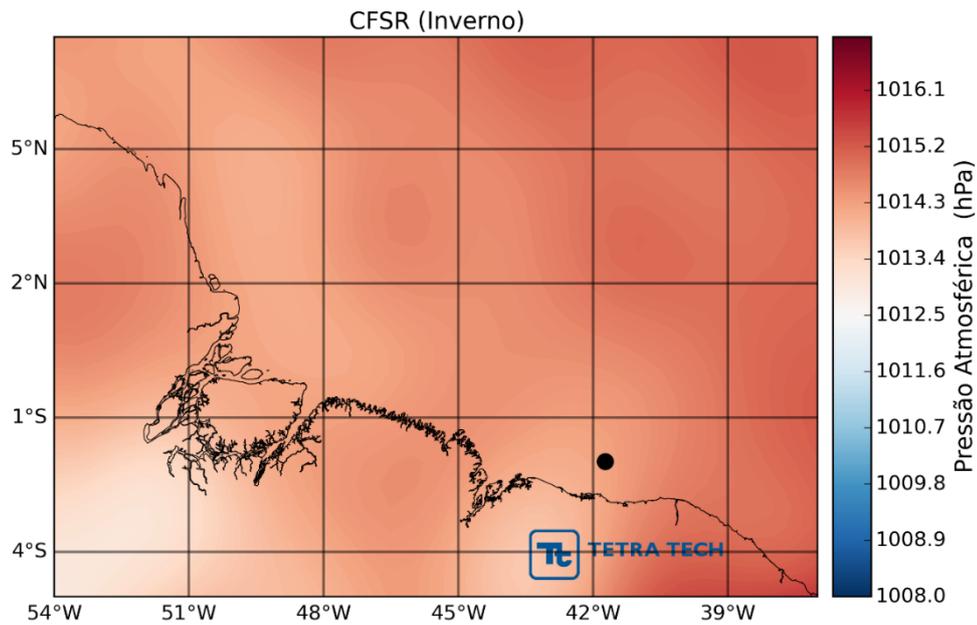


Figura 41 - Climatologia de inverno (julho a setembro) da pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.

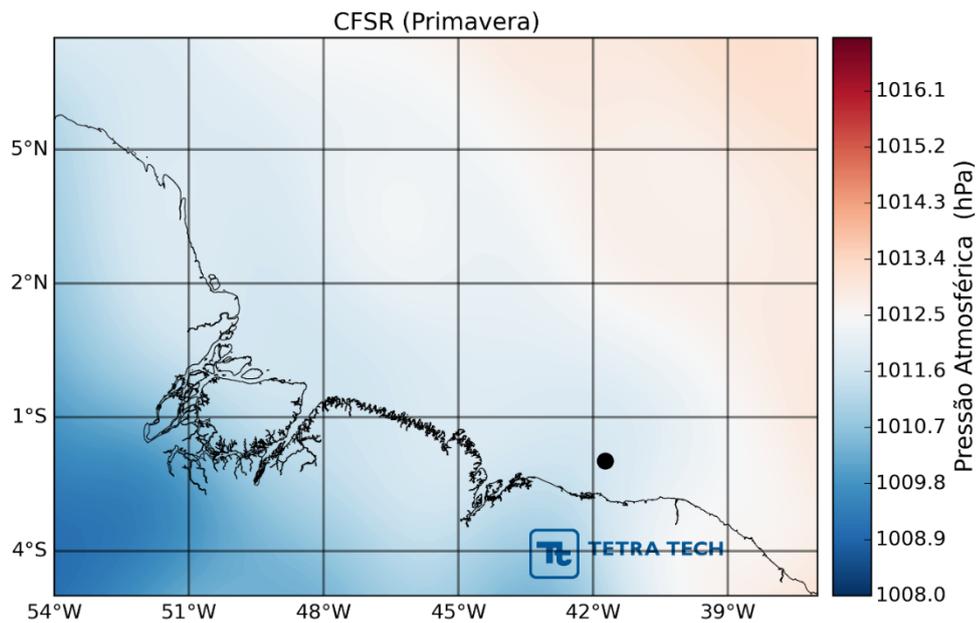


Figura 42 - Climatologia de primavera (outubro a dezembro) da pressão atmosférica reduzida ao nível do mar (hPa) segundo dados do CFSR no período de 1979 a 2010.

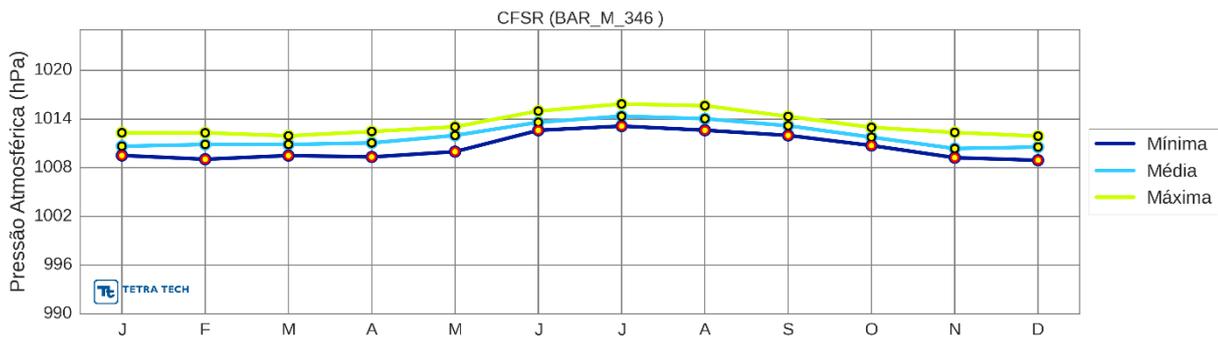


Figura 43 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) nas proximidades do bloco BAR-M-346 a partir da reanálise CFSR no período de 1979 a 2010.

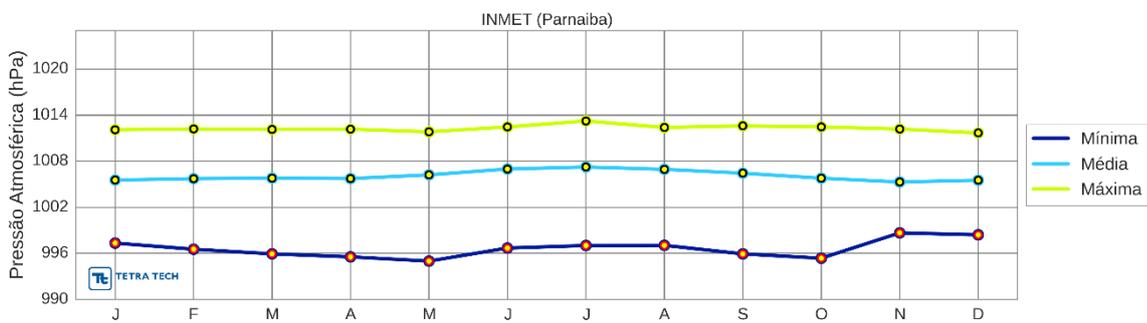


Figura 44 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) em Parnaíba, de acordo com dados do INMET. Série recente.

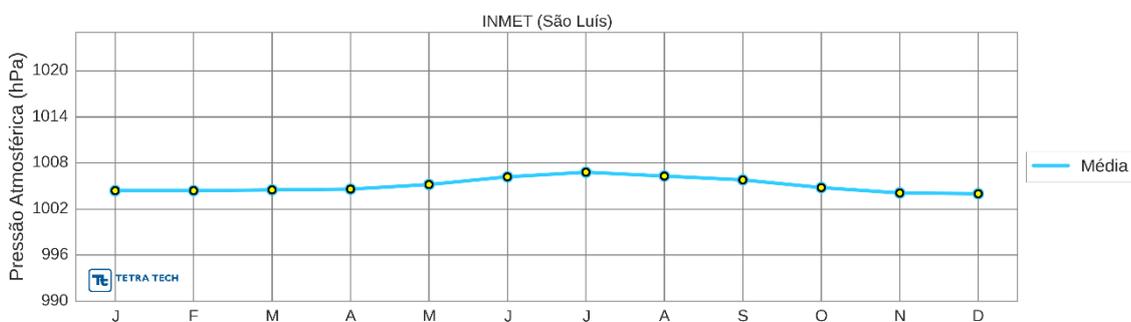
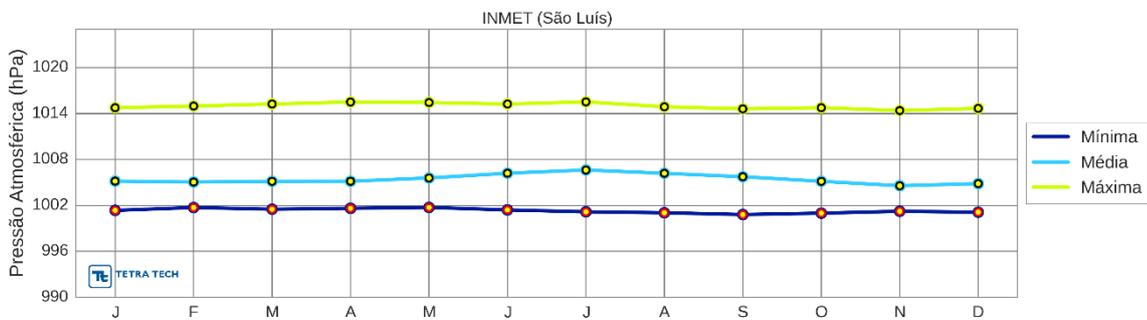


Figura 45 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) em São Luís, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

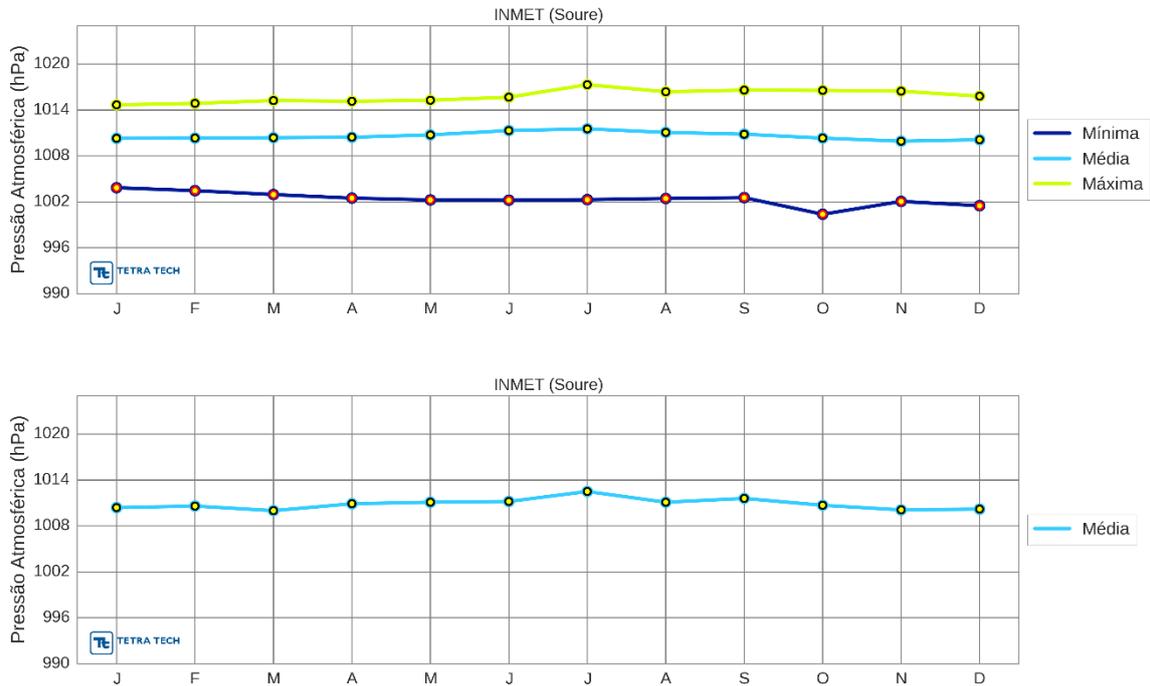


Figura 46 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) em Soure, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

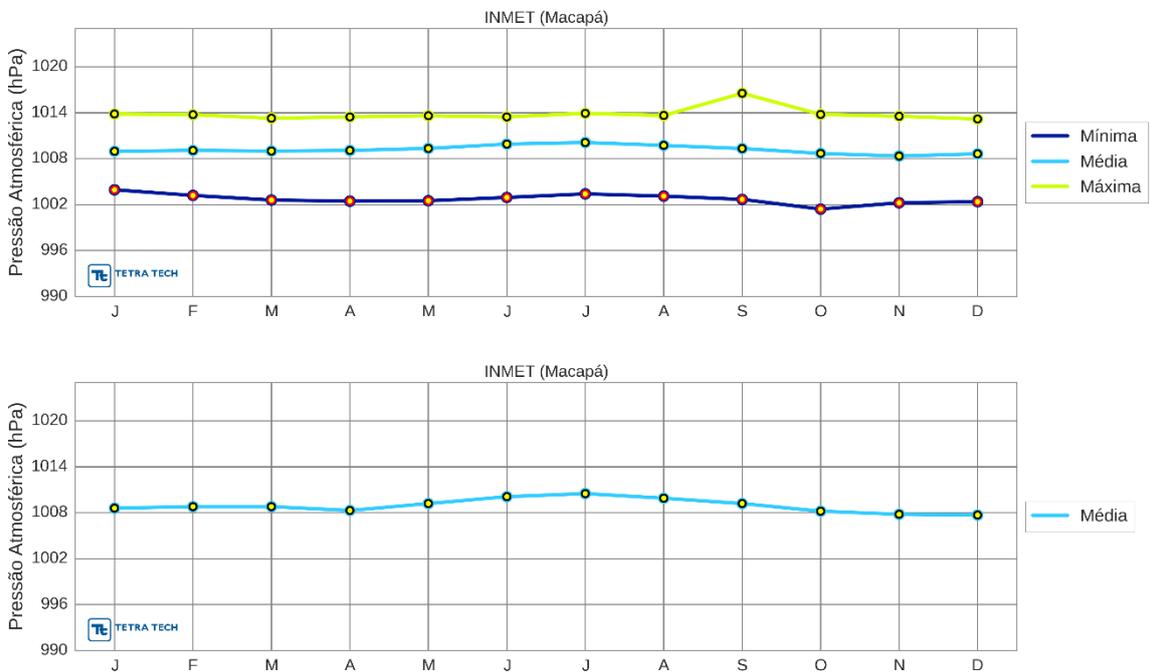


Figura 47 - Pressão atmosférica, média, máxima e mínima mensal (hPa) em Macapá, de acordo com dados do INMET. Superior: série recente; inferior: normal climatológica.

2.9. REGIME DE VENTOS

A circulação atmosférica sobre as regiões Nordeste e Norte do Brasil é influenciada principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é formada pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte e do hemisfério sul. A sazonalidade da ZCIT é caracterizada por um deslocamento para sul durante o verão do hemisfério sul, chegando à posição aproximada de 2°S a 4°S entre os meses de fevereiro e abril, e para norte durante o inverno, chegando a até aproximadamente 14°N entre agosto e outubro (FERREIRA & MELLO, 2005).

Da Figura 48 à Figura 51 é apresentado o comportamento sazonal da circulação atmosférica ao longo da região de estudo, obtida através da média dos dados de reanálise do CFSR/NCEP de 1979 a 2010, para os períodos de verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro) respectivamente. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Em todos os mapas é possível observar uma predominância de ventos provenientes da direção Leste, devido à proximidade da linha do Equador. No período de verão (Figura 48) observa-se o predomínio de ventos de Nordeste, em quanto que no inverno (Figura 50) o predomínio é de ventos de Leste e Leste-Sudeste. Já a Figura 49 (outono) e Figura 51 (primavera) representam os períodos de transição entre os padrões de circulação dos ventos de verão e de inverno. A intensidade sobre a Bacia de Barreirinhas tem uma variação média de 8 m/s no verão a 10 m/s no inverno.

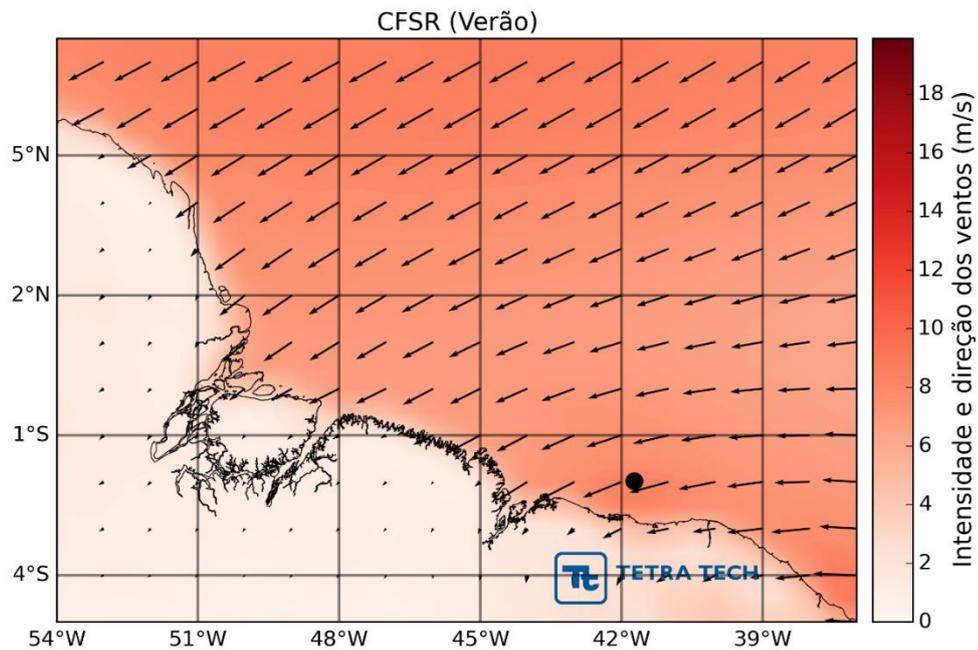


Figura 48 - Climatologia de verão (janeiro a março) do campo de vento a 10 m, segundo dados de reanálise do CFSR/NCEP no período de 1979 a 2010. O campo de cores representa a velocidade em m/s e os vetores indicam a direção.

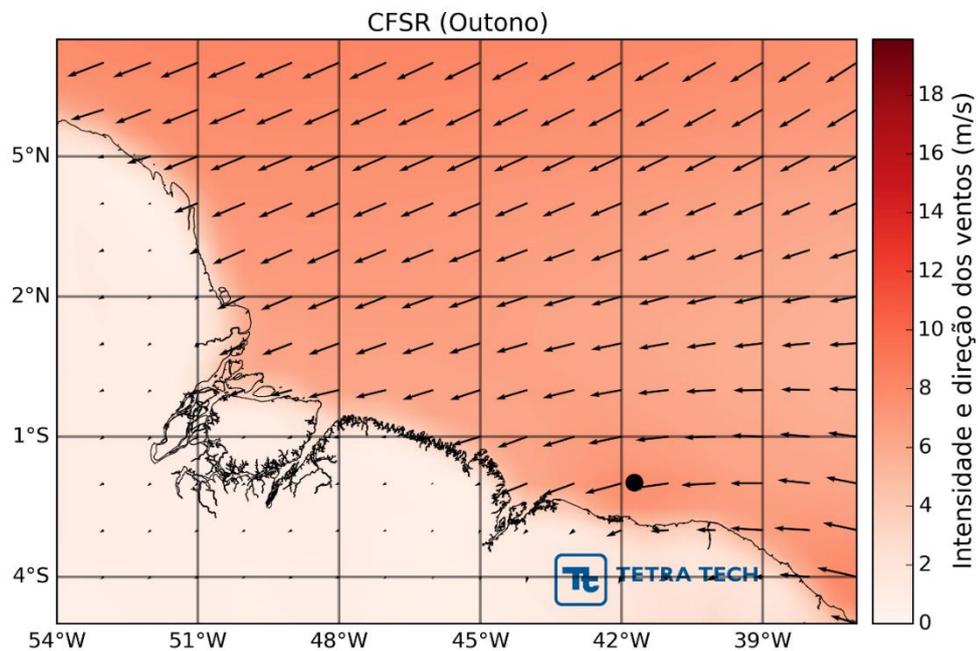


Figura 49 - Climatologia de outono (abril a junho) do campo de vento a 10 m, segundo dados de reanálise do CFSR/NCEP no período de 1979 a 2010. O campo de cores representa a velocidade em m/s e os vetores indicam a direção.

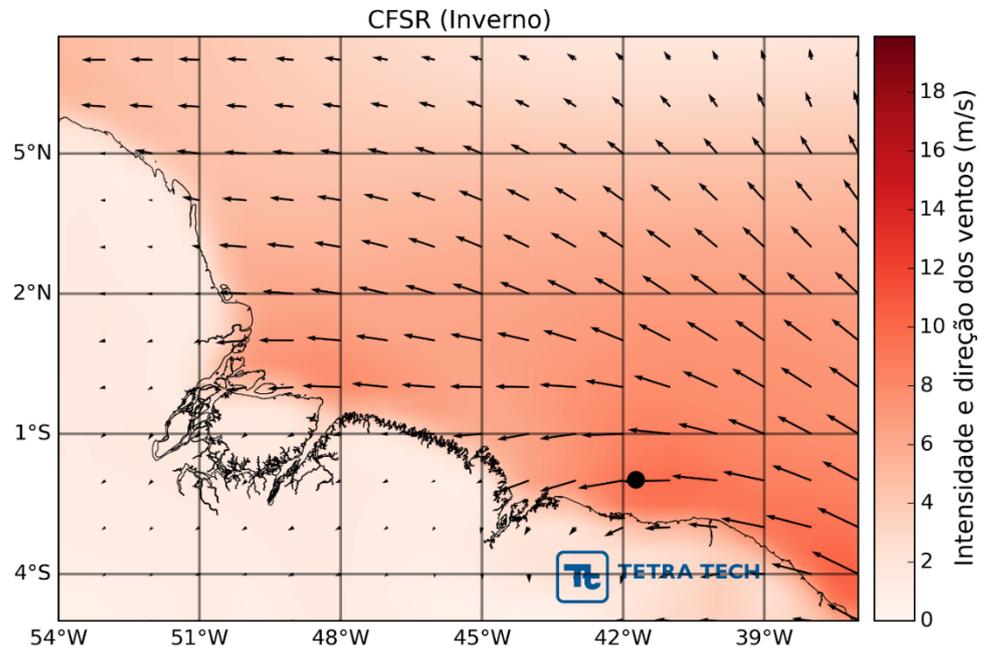


Figura 50 - Climatologia de inverno (julho a setembro) do campo de vento a 10 m, segundo dados de reanálise do CFSR/NCEP no período de 1979 a 2010. O campo de cores representa a velocidade em m/s e os vetores indicam a direção.

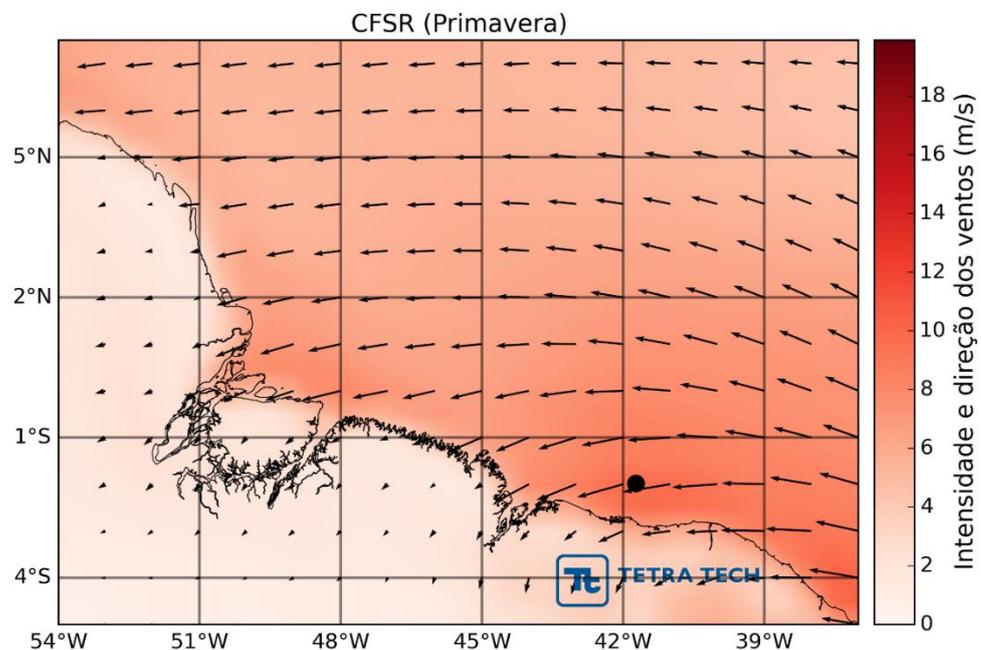


Figura 51 - Climatologia de primavera (outubro a dezembro) do campo de vento a 10 m, segundo dados de reanálise do CFSR/NCEP no período de 1979 a 2010. O campo de cores representa a velocidade em m/s e os vetores indicam a direção.

A seguir, são apresentadas análises estatísticas do vento em localidades próximas à área em estudo. Para análise das séries históricas foram utilizados os dados das estações METAR costeiras mais próximas da área de estudo.

i) Oiapoque

A Figura 52 apresenta as rosas dos ventos para a estação METAR de Oiapoque (SBOI) com dados medidos no período entre 2007 e 2015. As medições maiores do que 4 desvios padrão foram consideradas espúrias e excluídas da análise. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A frequência de ocorrência é apresentada pela distância radial (%) e a escala de cores representa a velocidade de ventos (m/s). Observa-se que durante o verão, os ventos são predominantes de NE enquanto que no inverno são de SE; a primavera e outono são períodos de transição com maior incidência de ventos de NE.

A Tabela 3 à Tabela 6 apresentam os diagramas de ocorrência conjunta para a mesma estação nos períodos de verão, outono, inverno e primavera, respectivamente.

Durante o verão (Tabela 3), os ventos predominantes são de NE (44,0%) e E (30,9%) com velocidades predominantes entre 0 m/s e 4,0 m/s, sendo os ventos mais intensos também de NE e E com velocidades máximas de 7,2 m/s. Para o outono (Tabela 4), os ventos mais frequentes são de NE (28,8%) e E (28,6%) com velocidades predominantes entre 0 m/s e 4,0 m/s. Os ventos mais intensos (7,2 m/s) ocorrem nas direções N, NE, E e SE. No inverno (Tabela 5), os ventos predominantes são de SE (34,6%) e E (30,4%) com velocidades mais frequentes entre 0 m/s e 4,0 m/s. Os ventos mais intensos (7,2 m/s) ocorrem nas direções E, SE e S. Finalmente, na primavera (Tabela 6), os ventos mais frequentes são de E (40,5%) e SE (23,6%) com velocidades mais frequentes entre 0 m/s e 4,0 m/s. Os ventos mais intensos são de NE, E e S, também com 7,2 m/s.

Complementarmente, a Figura 55 apresenta o *boxplot* das intensidades dos ventos para essa estação. Nestas figuras a média mensal da intensidade é apresentada pela linha central da caixa, os extremos das caixas representam os percentis de 25% e 75 %, as barras pontilhadas indicam os limiares da série (média mais/menos 2,7 desvios-padrão) e em vermelho constam os chamados *outliers* (dados acima/abaixo deste limiar) a cada mês

do ano. Observa-se que os ventos apresentam intensidade média de aproximadamente de 3 m/s com desvios chegando a 6 m/s.

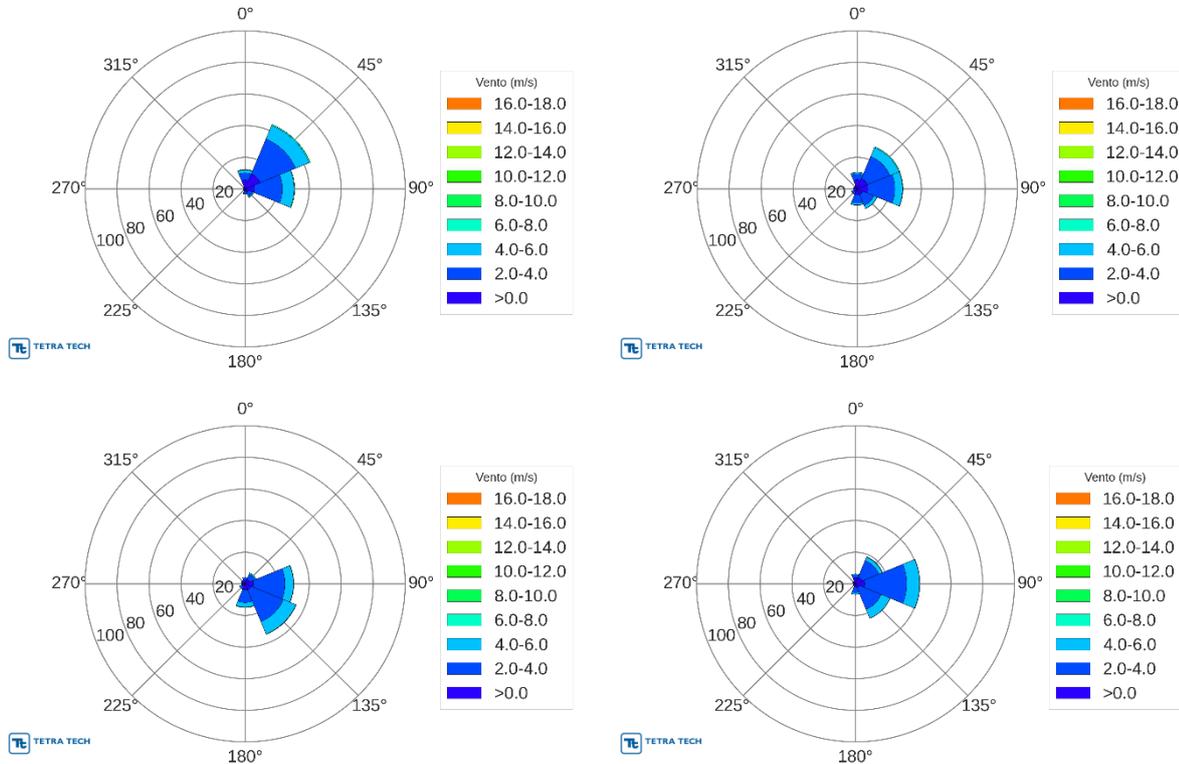


Figura 52 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados medidos na estação METAR de Oiapoque (SBOI).

Tabela 3 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados da estação METAR de Oiapoque (SBOI).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	5,74	10,22	5,81	2,25	1,61	1,07	0,75	1,20	28,7
2,0-4,0	4,38	23,88	17,46	2,76	1,30	0,33	0,07	0,36	50,5
4,0-6,0	1,85	9,24	7,27	0,77	0,21	0,00	0,00	0,00	19,4
6,0-8,0	0,25	0,69	0,39	0,08	0,05	0,00	0,00	0,00	1,5
(%)	12,2	44,0	30,9	5,9	3,2	1,4	0,8	1,6	
Média	2,3	2,8	3,0	2,4	2,1	1,5	1,1	1,3	
Máximo	6,7	7,2	7,2	6,7	6,2	3,6	2,1	3,6	

Tabela 4 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados da estação METAR de Oiapoque (SBOI).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	5,79	6,93	6,55	3,82	3,90	2,19	1,83	1,70	32,7
2,0-4,0	3,63	15,20	17,02	7,43	5,10	1,49	0,37	0,46	50,7
4,0-6,0	0,99	6,06	4,76	2,12	1,22	0,19	0,02	0,03	15,4
6,0-8,0	0,10	0,60	0,27	0,10	0,11	0,02	0,02	0,00	1,2
(%)	10,5	28,8	28,6	13,5	10,3	3,9	2,2	2,2	
Média	2,0	2,9	2,8	2,6	2,4	1,9	1,4	1,4	
Máximo	7,2	7,2	7,2	7,2	6,2	6,7	6,2	5,1	

Tabela 5 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados da estação METAR de Oiapoque (SBOI).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	2,81	3,01	5,16	4,06	3,72	1,82	1,61	1,88	24,1
2,0-4,0	1,08	3,55	19,79	21,81	8,13	1,66	0,65	0,55	57,2
4,0-6,0	0,13	0,84	5,23	8,45	2,93	0,33	0,03	0,06	18,0
6,0-8,0	0,00	0,03	0,18	0,23	0,24	0,03	0,00	0,00	0,7
(%)	4,0	7,4	30,4	34,6	15,0	3,8	2,3	2,5	
Média	1,6	2,3	2,8	3,1	2,8	2,1	1,5	1,4	
Máximo	5,7	6,2	7,2	7,2	7,2	6,7	5,1	5,1	

Tabela 6 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro), a partir de dados da estação METAR de Oiapoque (SBOI).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	3,71	4,53	5,93	2,79	2,13	0,81	0,88	1,54	22,3
2,0-4,0	1,99	11,39	26,28	14,68	3,60	0,61	0,19	0,39	59,1
4,0-6,0	0,45	2,34	8,10	6,07	0,99	0,11	0,00	0,02	18,1
6,0-8,0	0,02	0,20	0,16	0,08	0,03	0,00	0,02	0,00	0,5
(%)	6,2	18,5	40,5	23,6	6,7	1,5	1,1	1,9	
Média	1,9	2,6	2,9	3,1	2,5	2,0	1,4	1,3	
Máximo	6,7	7,2	7,2	6,7	7,2	5,1	6,2	4,6	

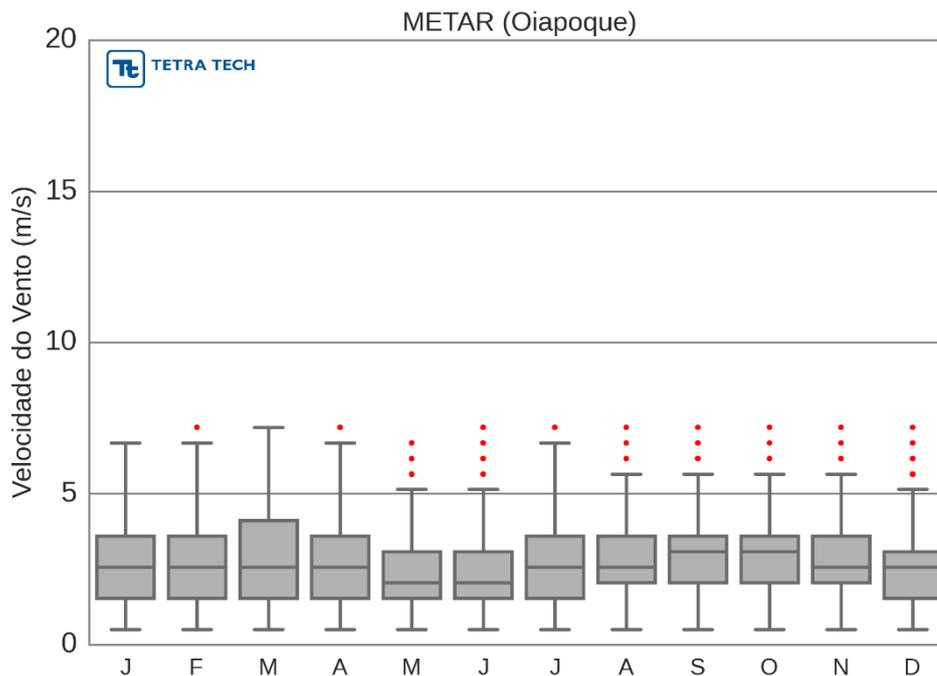


Figura 53 – Boxplot para a velocidade do vento medida na estação METAR de Oiapoque (SBOI).

ii) Macapá

Para a estação METAR de Macapá (SBMQ), a Figura 54 apresenta as rosas dos ventos para as estações de verão, inverno, outono e primavera no período de 2002 a 2011. Assim como para a estação anterior, os registros com intensidades maiores do que 4 desvios padrão foram excluídos da análise. Durante o verão, os ventos predominantes são de NE enquanto que nas outras estações do ano são de E. A Tabela 7 à Tabela 10 apresentam os diagramas de ocorrência conjunta para a mesma estação.

Durante o verão (Tabela 7), os ventos mais intensos são de NE (35%) e E (26,9%) com velocidades mais frequentes entre 2,0 m/s e 6,0 m/s; os ventos mais intensos (10,3 m/s) ocorrem nas direções E e SE. No outono (Tabela 8), os ventos mais frequentes mudam para E (31,0%) e NE (25,6%) com velocidades mais frequentes entre 0,0 m/s e 4,0 m/s e os ventos mais intensos (10,3 m/s) ocorrem nas direções NE, E e SE. Para o inverno (Tabela 9), os ventos mais frequentes são de E (42,2%) e NE (26,8%) com velocidades mais frequentes entre 2,0 m/s e 6,0 m/s e os ventos mais intensos (10,3 m/s) ocorrem nas direções E, SE e S. Finalmente na primavera (Tabela 10), os ventos mais frequentes são de E (39,5%) e NE (32,5%); as velocidades mais frequentes são entre 2,0 m/s e 6,0 m/s e os ventos mais intensos ocorrem nas direções E, NE e SE com 10,3 m/s.

Assim como na análise para a estação anterior, a Figura 55 apresenta o *boxplot* para a intensidade de vento registrada na estação METAR de Macapá. Os ventos apresentam intensidade média de cerca de 4,5 m/s e os desvios atingem até 10 m/s durante a primavera. Ao contrário da estação METAR anterior, a maior quantidade de *outliers* está no primeiro semestre, quando a incidência de ventos é predominantemente de NE.

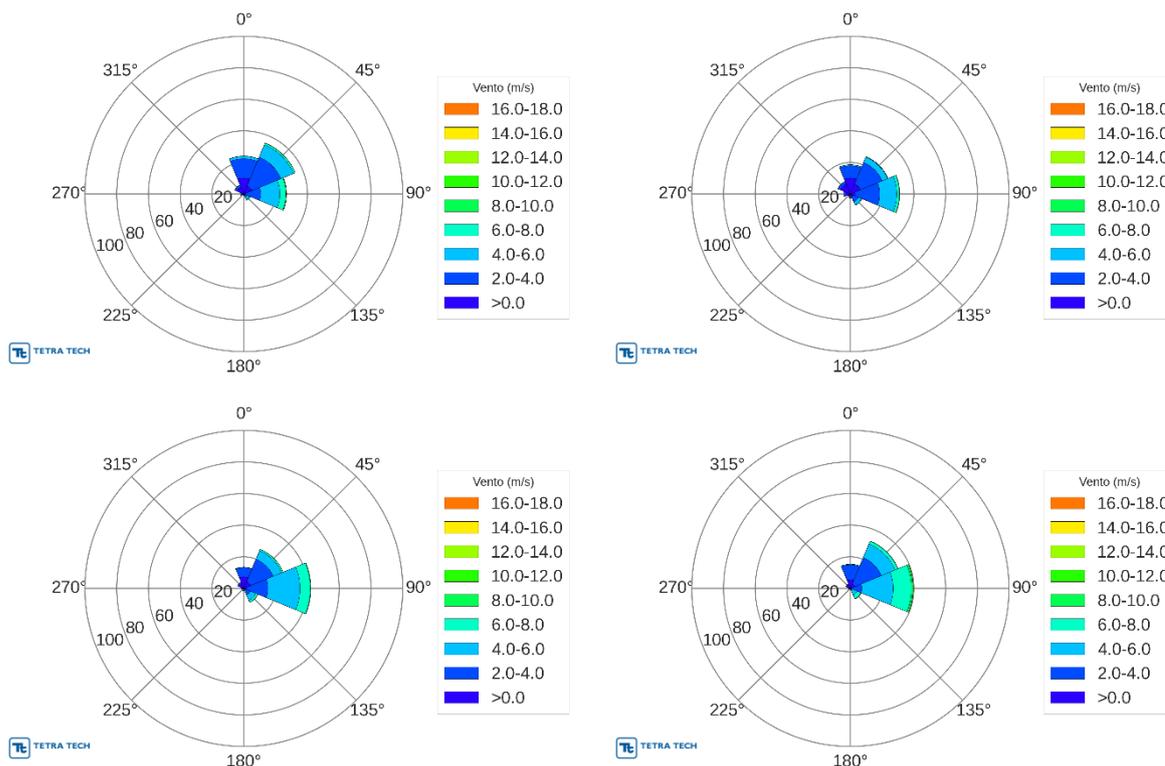


Figura 54 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados medidos na estação METAR de Macapá (SBMQ).

Tabela 7 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados da estação METAR de Macapá (SBMQ).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	10,11	5,45	1,42	0,66	0,39	0,33	1,40	4,58	24,3
2,0-4,0	12,22	19,77	9,21	1,53	0,39	0,21	0,56	1,54	45,4
4,0-6,0	1,60	8,52	12,02	1,56	0,08	0,05	0,09	0,06	24,0
6,0-8,0	0,09	1,17	3,79	0,56	0,03	0,01	0,01	0,01	5,7
8,0-10,0	0,01	0,08	0,38	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,5
10,0-12,0	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1
(%)	24,0	35,0	26,9	4,3	0,9	0,6	2,1	6,2	
Média	2,1	3,1	4,3	3,8	2,4	1,9	1,7	1,5	
Máximo	8,2	9,3	10,3	10,3	9,3	6,2	9,3	6,7	

Tabela 8 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados da estação METAR de Macapá (SBMQ).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	10,11	6,78	3,02	1,79	1,08	1,06	3,23	6,80	33,9
2,0-4,0	7,75	14,81	15,46	3,69	1,20	0,51	0,95	1,72	46,1
4,0-6,0	0,60	3,68	10,70	1,92	0,20	0,06	0,09	0,04	17,3
6,0-8,0	0,03	0,36	1,66	0,36	0,06	0,02	0,01	0,00	2,5
8,0-10,0	0,00	0,02	0,16	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,2
(%)	18,5	25,6	31,0	7,8	2,5	1,7	4,3	8,6	
Média	1,8	2,6	3,5	3,0	2,2	1,7	1,5	1,4	
Máximo	6,2	10,3	10,3	10,3	9,3	7,2	6,2	5,1	

Tabela 9 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados da estação METAR de Macapá (SBMQ).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	7,34	4,66	1,72	0,92	0,49	0,23	1,26	3,29	19,9
2,0-4,0	5,89	15,31	13,52	3,48	0,84	0,22	0,32	0,88	40,5
4,0-6,0	0,17	5,77	20,08	3,77	0,32	0,05	0,03	0,02	30,2
6,0-8,0	0,01	0,98	6,54	1,36	0,07	0,01	0,00	0,01	9,0
8,0-10,0	0,00	0,05	0,28	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,4
(%)	13,4	26,8	42,2	9,6	1,7	0,5	1,6	4,2	
Média	1,8	3,0	4,3	4,0	2,9	2,1	1,4	1,4	
Máximo	6,2	9,3	10,3	10,3	10,3	9,3	5,1	7,2	

Tabela 10 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro), a partir de dados da estação METAR de Macapá (SBMQ).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	5,48	3,06	0,60	0,24	0,21	0,26	0,78	2,22	12,8
2,0-4,0	9,38	17,96	6,58	1,03	0,24	0,14	0,38	0,90	36,6
4,0-6,0	0,46	9,38	19,83	3,36	0,10	0,03	0,03	0,04	33,2
6,0-8,0	0,00	1,94	11,39	2,42	0,03	0,00	0,00	0,01	15,8
8,0-10,0	0,00	0,12	1,05	0,21	0,02	0,00	0,00	0,00	1,4
10,0-12,0	0,00	0,01	0,08	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1
(%)	15,3	32,5	39,5	7,3	0,6	0,4	1,2	3,2	
Média	2,1	3,4	5,1	5,2	2,8	1,8	1,6	1,6	
Máximo	5,1	10,3	10,3	10,3	9,3	4,1	5,1	7,2	

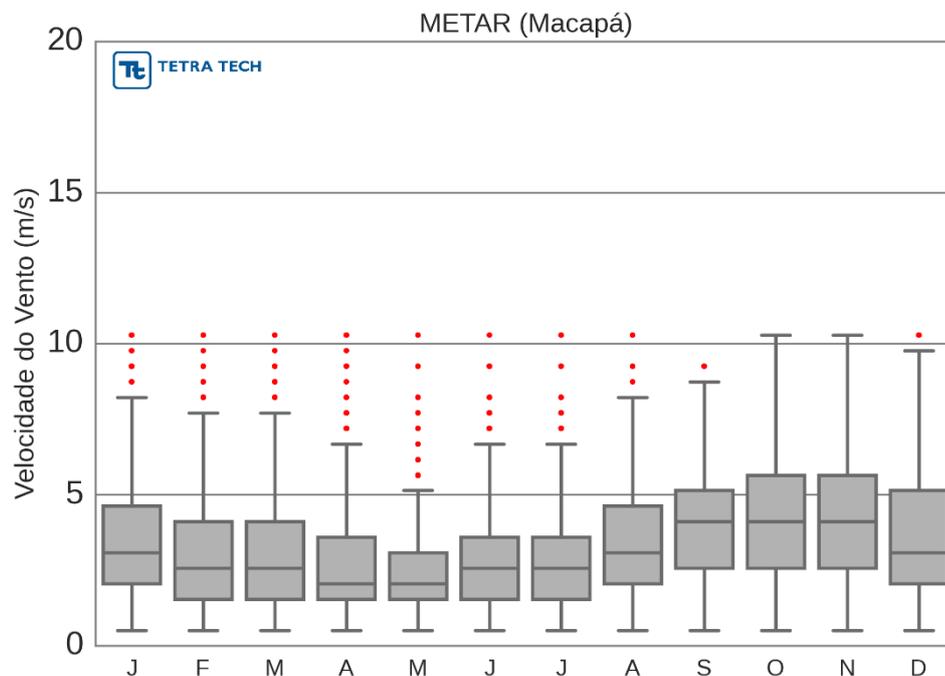


Figura 55 - Boxplot para a velocidade do vento medida na estação METAR de Macapá (SBMQ).

iii) São Luís

A Figura 56 apresenta as rosas dos ventos para os períodos de verão, outono, inverno e primavera para a estação de São Luís (SBSL) no período entre 2002 e 2015. Mantendo-se o padrão analítico, registros maiores do que 4 desvios padrão foram excluídos desta análise. Os ventos de NE são predominantes em todas as estações do ano, devido à localização da estação em relação a posição da ZCIT. A Tabela 11 à Tabela 14 apresentam os diagramas de ocorrência conjunta para essa estação.

Durante o verão (Tabela 11), os ventos predominantes são de NE (60,9%) e E (19,4%) com intensidades mais frequentes entre 2,0 m/s e 4,0 m/s; os ventos mais intensos ocorrem de SE com 10,8 m/s. No outono (Tabela 12), os ventos predominantes também são de NE (40,45%) e E (29,1%) com intensidades predominantes entre 0,0 m/s e 4,0 m/s com ventos mais intensos ocorrendo de E, SE e S com intensidade de 11,3 m/s. Para o inverno (Tabela 13), os ventos mais frequentes são também de NE (58,6%) e E (30,2%) com velocidades predominantes entre 2,0 m/s e 6,0 m/s; já os ventos mais intensos ocorrem de S com 12,3 m/s. Assim como nas estações anteriores, na primavera (Tabela 14), os ventos predominantes são de NE (58,6%) e E (30,2%) com velocidades mais frequentes entre 2,0 e 6,0 m/s e ventos mais intensos de S com 12,3 m/s.

Similarmente as estações METAR anteriores, a Figura 57 apresenta o *boxplot* para a intensidade dos ventos para a estação São Luís. É possível se observar uma variação anual com menores intensidades no primeiro semestre e maiores no segundo. A maior quantidade de *outliers* ocorre justamente quando os ventos são menos intensos. Essa variação anual está ligada ao ciclo sazonal de deslocamento da ZCIT.

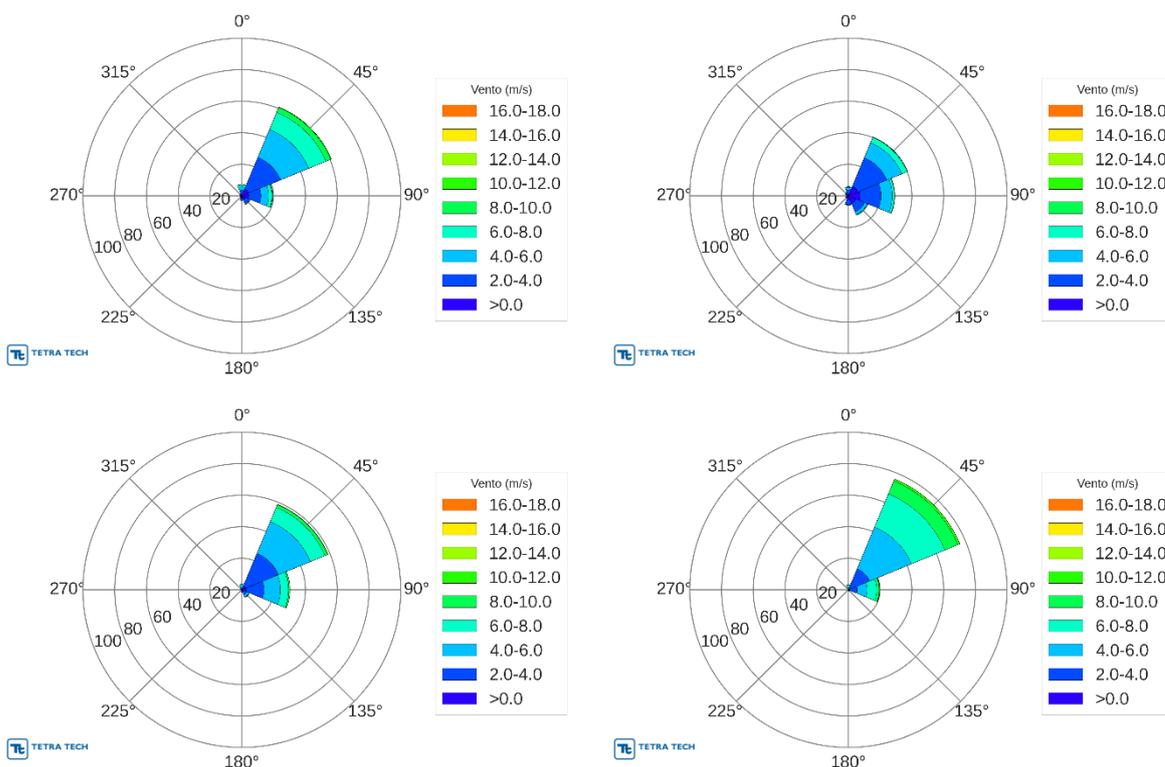


Figura 56 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados medidos na estação METAR de São Luís (SBSL).

Tabela 11 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados da estação METAR de São Luís (SBSL).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,68	4,70	4,26	2,57	1,48	0,60	0,50	0,71	15,5
2,0-4,0	2,85	21,68	7,73	2,58	1,33	0,45	0,42	0,75	37,8
4,0-6,0	2,21	19,15	4,81	0,49	0,12	0,04	0,06	0,10	27,0
6,0-8,0	1,30	11,70	2,20	0,16	0,02	0,00	0,01	0,01	15,4
8,0-10,0	0,12	3,29	0,36	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	3,8
10,0-12,0	0,01	0,41	0,06	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,5
(%)	7,2	60,9	19,4	5,8	3,0	1,1	1,0	1,6	
Média	4,0	4,5	3,5	2,3	2,0	1,9	2,1	2,1	
Máximo	10,3	12,3	11,3	10,8	10,3	10,3	9,3	6,2	

Tabela 12 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados da estação METAR de São Luís (SBSL).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	1,14	6,45	7,41	5,15	2,75	1,04	0,73	1,03	25,7
2,0-4,0	2,63	19,67	13,05	5,85	2,70	0,64	0,71	0,97	46,2
4,0-6,0	1,59	10,28	7,10	1,80	0,33	0,11	0,11	0,17	21,5
6,0-8,0	0,38	3,62	1,34	0,40	0,03	0,02	0,01	0,03	5,8
8,0-10,0	0,02	0,33	0,18	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,6
10,0-12,0	0,00	0,03	0,03	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,1
(%)	5,8	40,4	29,1	13,3	5,8	1,8	1,6	2,2	
Média	3,2	3,4	3,0	2,5	2,1	1,9	2,1	2,2	
Máximo	10,3	10,8	11,3	11,3	11,3	7,7	9,3	7,7	

Tabela 13 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados da estação METAR de São Luís (SBSL).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,21	2,63	2,67	1,00	0,28	0,09	0,10	0,17	7,1
2,0-4,0	1,07	22,30	11,27	2,44	0,77	0,11	0,08	0,35	38,4
4,0-6,0	1,61	21,79	10,34	1,44	0,22	0,03	0,03	0,16	35,6
6,0-8,0	0,57	9,79	5,05	0,30	0,06	0,01	0,01	0,01	15,8
8,0-10,0	0,03	1,91	0,79	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	2,8
10,0-12,0	0,00	0,20	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,3
12,0-14,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,004
(%)	3,5	58,6	30,2	5,2	1,4	0,2	0,2	0,7	
Média	4,3	4,4	4,2	3,3	3,0	2,5	2,4	2,9	
Máximo	8,2	11,3	11,3	9,3	12,3	7,2	7,2	8,7	

Tabela 14 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro), a partir de dados da estação METAR de São Luís (SBSL).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,05	1,06	1,03	0,24	0,06	0,02	0,01	0,02	2,5
2,0-4,0	0,28	13,33	4,51	0,38	0,16	0,04	0,01	0,02	18,7
4,0-6,0	1,17	28,57	6,29	0,18	0,05	0,01	0,00	0,01	36,3
6,0-8,0	1,32	22,82	6,07	0,05	0,02	0,01	0,00	0,01	30,3
8,0-10,0	0,27	8,86	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,7
10,0-12,0	0,00	1,31	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5
12,0-14,0	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	3,1	76,0	19,6	0,9	0,3	0,1	0,0	0,1	
Média	5,8	5,6	5,2	3,0	3,1	2,9	2,4	3,3	
Máximo	11,3	12,3	12,3	8,7	8,2	7,2	4,1	6,2	

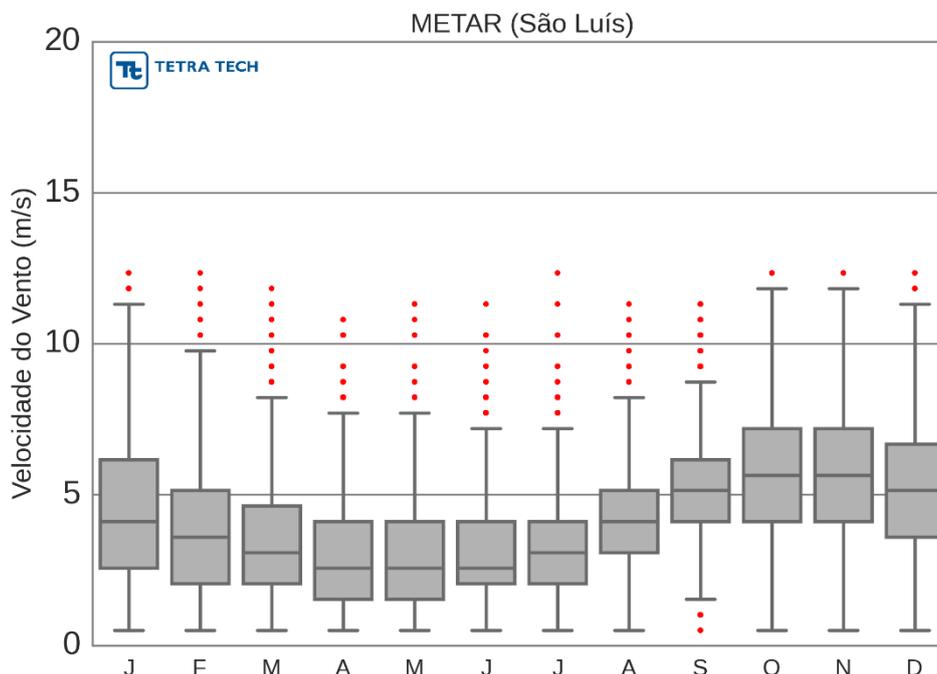


Figura 57 - Boxplot para a velocidade do vento medida na estação METAR de São Luís (SBSL).

iv) Parnaíba

Finalmente, a Figura 58 apresenta as rosas dos ventos para a estação METAR de Parnaíba (SBPB) entre 2007 e 2015 para as estações de verão, outono, inverno e primavera. A Tabela 15 à Tabela 18 apresentam os diagramas de ocorrência conjunta para as estações ao longo do ano para essa estação. Assim como anteriormente, as medições de intensidade do vento maiores do que 4 desvios padrão não foram consideradas nessa análise. Durante todo o ano os ventos predominantes são de E seguidos por ventos de NE.

Durante o verão (Tabela 15), os ventos mais frequentes são de E (51,5%) e NE (31,9%) com velocidades predominantes entre 6,0 m/s e 10,0 m/s sendo os ventos mais intensos nas direção E com 12,9 m/s. No outono (Tabela 16), os ventos incidem predominantemente de E (50,1%) e NE (22,9%) com intensidades mais frequentes entre 2,0 e 6,0 m/s e ventos intensos de E com 11,3 m/s. Já no inverno (Tabela 17), os ventos mais frequentes continuam de E (61,5%) e NE (28,8%) com intensidades mais frequentes entre 4,0 e 8,0 m/s e com ventos mais intensos de NE com 14,4 m/s. Finalmente, na

primavera (Tabela 18), os ventos mais frequentes continuam de E (71,9%) e NE (24,6%) com intensidades mais frequentes entre 4,0 e 8,0 m/s; já os ventos mais intensos ocorrem de NE com 14,4 m/s.

Complementarmente, a Figura 59 apresenta o *boxplot* da intensidade dos ventos para a estação METAR de Parnaíba, as definições são as mesmas das análises anteriores. Assim como na estação de São Luís, é possível observar uma variação sazonal com os ventos mais intensos no segundo semestre, devido ao deslocamento da ZCIT para sul.

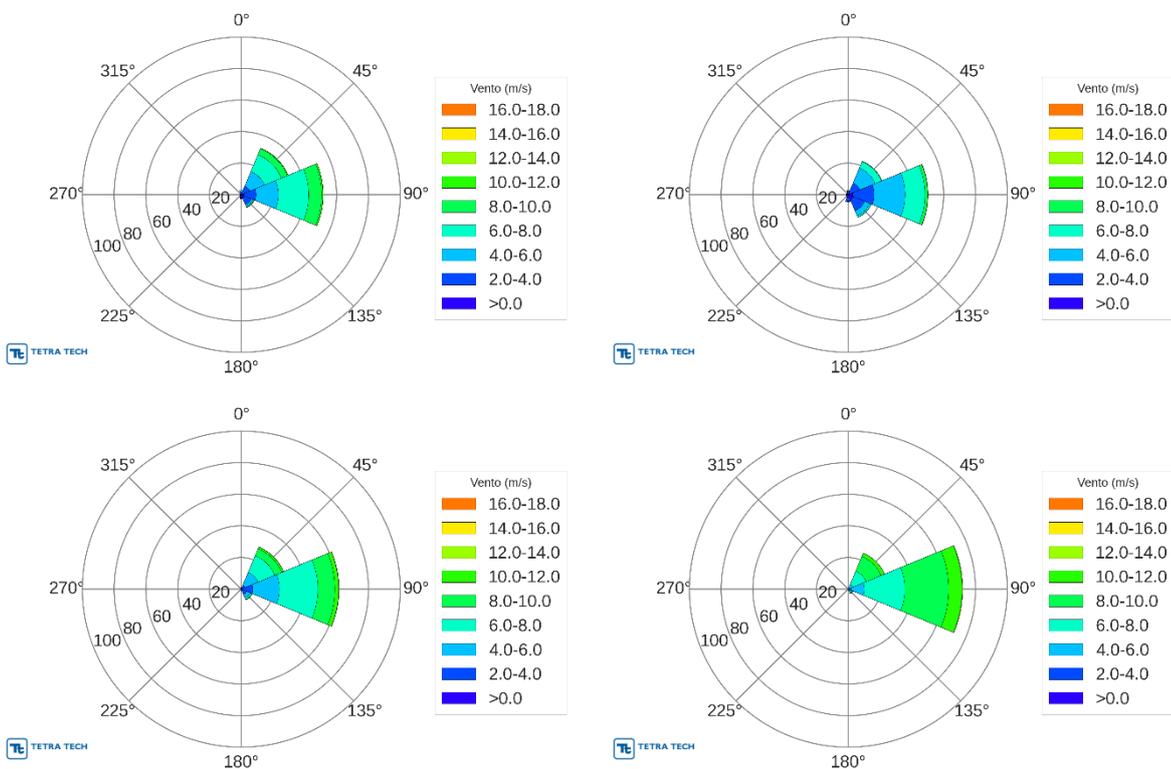


Figura 58 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados medidos na estação METAR de Parnaíba (SBPB).

Tabela 15 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados da estação METAR de Parnaíba (SBPB).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,40	0,83	1,61	2,30	1,88	0,54	0,35	0,28	8,2
2,0-4,0	1,41	5,00	7,66	4,54	0,59	0,46	0,26	0,23	20,1
4,0-6,0	0,97	9,98	14,07	1,09	0,03	0,01	0,01	0,10	26,3
6,0-8,0	0,09	11,55	19,11	0,66	0,00	0,01	0,00	0,00	31,4
8,0-10,0	0,00	4,14	8,23	0,26	0,01	0,00	0,00	0,00	12,6
10,0-12,0	0,00	0,41	0,84	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	1,3
12,0-14,0	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1
(%)	2,9	31,9	51,6	8,9	2,5	1,0	0,6	0,6	
Média	3,4	5,8	6,0	3,1	1,6	1,9	1,8	2,2	
Máximo	7,7	12,3	12,9	10,8	10,3	6,2	4,1	5,7	

Tabela 16 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados da estação METAR de Parnaíba (SBPB).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,54	1,45	2,76	3,42	2,33	0,82	0,53	0,39	12,2
2,0-4,0	1,43	6,43	13,51	7,63	1,87	0,76	0,67	0,59	32,9
4,0-6,0	0,64	10,43	19,49	3,50	0,35	0,11	0,06	0,11	34,7
6,0-8,0	0,02	4,35	12,44	0,96	0,06	0,01	0,01	0,00	17,8
8,0-10,0	0,00	0,27	1,79	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00	2,2
10,0-12,0	0,00	0,00	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
(%)	2,6	22,9	50,1	15,6	4,6	1,7	1,3	1,1	
Média	3,0	4,5	4,8	3,2	2,2	2,1	2,3	2,4	
Máximo	6,7	9,3	11,3	10,3	8,7	6,2	6,7	5,7	

Tabela 17 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados da estação METAR de Parnaíba (SBPB).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,05	0,26	0,54	0,62	0,29	0,05	0,04	0,06	1,9
2,0-4,0	0,18	2,28	6,73	3,02	0,72	0,05	0,04	0,03	13,1
4,0-6,0	0,57	8,83	16,77	2,42	0,08	0,00	0,00	0,00	28,7
6,0-8,0	0,05	11,48	24,14	1,13	0,02	0,00	0,00	0,01	36,8
8,0-10,0	0,00	4,76	10,74	0,24	0,01	0,00	0,00	0,00	15,7
10,0-12,0	0,00	1,12	2,41	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	3,6
12,0-14,0	0,00	0,09	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
14,0-16,0	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	0,8	28,8	61,5	7,5	1,1	0,1	0,1	0,1	
Média	4,4	6,5	6,4	4,2	2,6	1,9	1,9	2,1	
Máximo	7,7	14,4	13,9	11,8	8,7	3,1	3,6	6,2	

Tabela 18 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro), a partir de dados da estação METAR de Parnaíba (SBPB).

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,00	0,04	0,17	0,08	0,05	0,05	0,03	0,01	0,4
2,0-4,0	0,00	0,43	1,77	0,81	0,03	0,04	0,00	0,00	3,1
4,0-6,0	0,02	2,70	8,18	0,96	0,01	0,03	0,01	0,00	11,9
6,0-8,0	0,03	9,02	25,50	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	35,3
8,0-10,0	0,01	10,17	27,53	0,36	0,02	0,00	0,01	0,00	38,1
10,0-12,0	0,00	2,20	8,46	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	10,8
12,0-14,0	0,00	0,06	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,3
14,0-16,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	0,1	24,6	71,9	3,1	0,1	0,1	0,0	0,0	
Média	6,3	7,8	7,9	5,6	3,5	2,7	3,6	0,5	
Máximo	8,2	13,4	14,4	11,8	9,8	5,1	8,7	0,5	

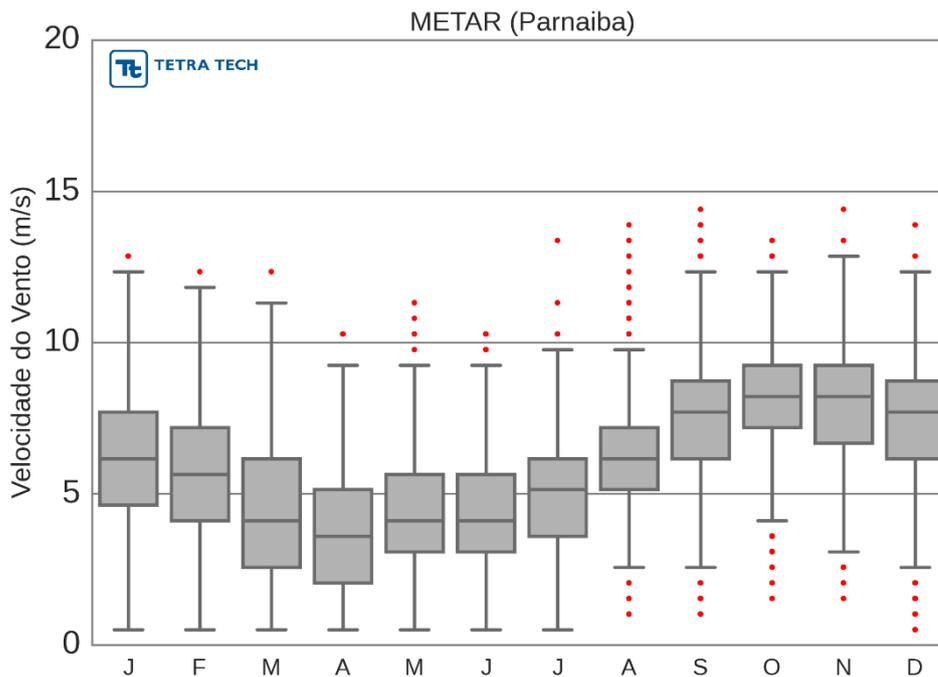


Figura 59 - Boxplot para a velocidade do vento medida na estação METAR de Parnaíba (SBPB).

v) CFSR

Para caracterização dos ventos sobre o bloco BAR-M-346 foi extraída uma série temporal da reanálise do CFSR/NCEP sobre o ponto de grade o mais próximo possível do bloco. A série temporal cobre de 1979 a 2015 e não foram removidos *outliers* para as análises a seguir. A Figura 60 apresenta as rosas dos ventos para os períodos de verão, outono, inverno e primavera. A Tabela 19 à Tabela 22 apresentam os diagramas de ocorrência conjunta que descrevem essas rosas. Nesse ponto, os ventos são predominantemente de E durante todo o ano.

Durante o verão (Tabela 19), os ventos mais frequentes são de E (61,0%) e NE (37,0%) com intensidades mais frequentes entre 6,0 m/s e 10 m/s sendo os ventos mais intensos de E com 16,4 m/s. No outono (Tabela 20), os ventos mais frequentes continuam de E (77,1%) e NE (15,8%) com velocidades mais frequentes também entre 6,0 m/s e 10,0 m/s e ventos mais intensos de E com 14,5 m/s. Para o inverno (Tabela 21), os ventos mais frequentes são de E (87,5%) e SE (7,3%) com intensidades mais frequentes entre 10,0 m/s e 14,0 m/s e os ventos mais intensos são de E com 15,7 m/s. Na primavera (Tabela 22), os ventos mais frequentes voltam a ser de E (87,6%) e NE (12,1%) com intensidades mais frequentes entre 8,0 m/s e 12,0 m/s e ventos mais intensos ocorrem de E com 16,1 m/s.

Assim como para as estações METAR, a Figura 61 traz o *boxplot* para os dados de vento extraídos da reanálise do CFSR/NCEP nas proximidades do bloco BAR-M346. Observa-se a mesma sazonalidade das estações METAR de São Luis e Parnaíba, porém a intensidade dos ventos é muito maior devido ao menor atrito do oceano em comparação com o continente. A quantidade de *outliers* é significativamente maior devido ao longo período de análise.

Complementarmente, a Figura 62 apresenta o *stickplot* para o mesmo ponto de análise para o ano de modelagem (2014). Observa-se uma frequência muito grande de ventos E e NE.

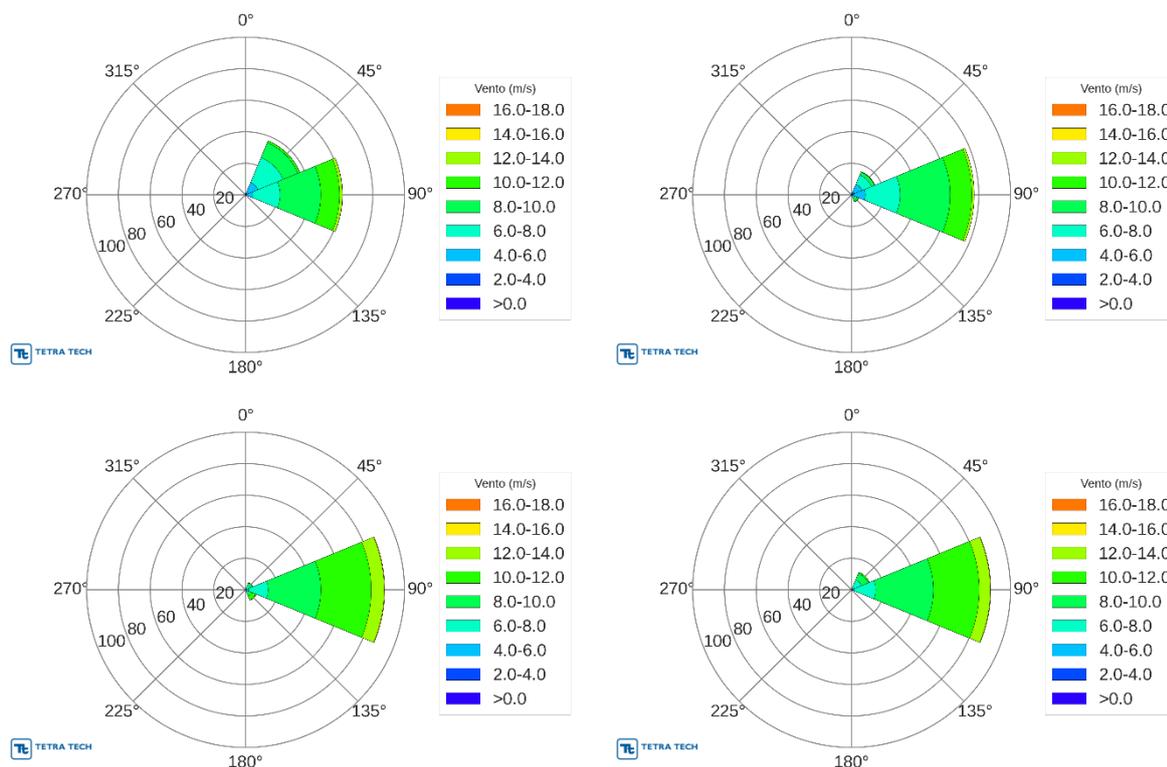


Figura 60 - Rosas dos vetores do vento nos períodos de verão (superior esquerda), outono (superior direita), inverno (inferior esquerda) e primavera (inferior direita), de acordo com dados da reanálise do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.

Tabela 19 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o verão (janeiro a março), a partir de dados do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,10	0,13	0,08	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,5
2,0-4,0	0,35	1,11	0,65	0,09	0,04	0,04	0,06	0,09	2,4
4,0-6,0	0,47	7,20	3,92	0,08	0,03	0,02	0,02	0,05	11,8
6,0-8,0	0,18	17,10	17,03	0,07	0,00	0,01	0,01	0,01	34,4
8,0-10,0	0,02	10,18	25,65	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	35,9
10,0-12,0	0,00	1,31	11,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,2
12,0-14,0	0,00	0,02	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,7
14,0-16,0	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1
16,0-18,0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	1,1	37,0	61,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	
Média	4,4	7,2	8,6	4,9	3,1	3,4	3,7	3,2	
Máximo	9,8	13,7	16,4	9,8	6,8	10,8	14,3	12,6	

Tabela 20 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o outono (abril a junho), a partir de dados do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,13	0,22	0,17	0,08	0,06	0,07	0,04	0,07	0,8
2,0-4,0	0,45	1,51	1,27	0,24	0,05	0,05	0,09	0,14	3,8
4,0-6,0	0,49	5,47	7,21	0,50	0,03	0,07	0,08	0,06	13,9
6,0-8,0	0,13	6,37	21,85	1,20	0,01	0,04	0,04	0,03	29,7
8,0-10,0	0,03	1,99	31,45	1,86	0,00	0,01	0,00	0,01	35,4
10,0-12,0	0,01	0,26	13,71	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	14,9
12,0-14,0	0,00	0,00	1,46	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,6
14,0-16,0	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007
(%)	1,2	15,8	77,1	4,9	0,2	0,2	0,2	0,3	
Média	4,2	6,2	8,4	8,1	3,1	4,0	4,0	3,3	
Máximo	10,6	12,3	14,5	13,9	8,3	9,2	7,9	8,7	

Tabela 21 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para o inverno (julho a setembro), a partir de dados do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,1
2,0-4,0	0,04	0,21	0,24	0,08	0,02	0,00	0,00	0,01	0,6
4,0-6,0	0,00	0,88	1,97	0,29	0,02	0,00	0,00	0,00	3,2
6,0-8,0	0,00	1,97	12,00	1,02	0,01	0,00	0,00	0,00	15,0
8,0-10,0	0,00	1,54	33,15	2,85	0,00	0,00	0,00	0,00	37,5
10,0-12,0	0,00	0,35	31,64	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	34,7
12,0-14,0	0,00	0,00	8,15	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	8,5
14,0-16,0	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,4
(%)	0,1	5,0	87,5	7,3	0,1	0,0	0,0	0,0	
Média	2,7	7,3	9,7	9,4	4,2	0,9	1,5	2,4	
Máximo	6,5	12,0	15,7	13,9	7,1	1,8	2,5	3,8	

Tabela 22 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento para a primavera (outubro a dezembro a partir de dados do CFSR/NCEP no período de 1970 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.

Vento (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
2,0-4,0	0,01	0,09	0,09	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,2
4,0-6,0	0,01	1,52	1,43	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	3,0
6,0-8,0	0,00	5,20	13,71	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	19,0
8,0-10,0	0,00	4,43	36,23	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	40,8
10,0-12,0	0,00	0,82	28,81	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	29,7
12,0-14,0	0,00	0,03	6,95	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	7,0
14,0-16,0	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,3
16,0-18,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	0,0	12,1	87,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
Média	3,4	7,7	9,6	8,1	3,6	4,0	3,8	3,0	
Máximo	6,6	13,0	16,1	13,3	5,2	4,3	4,4	5,0	

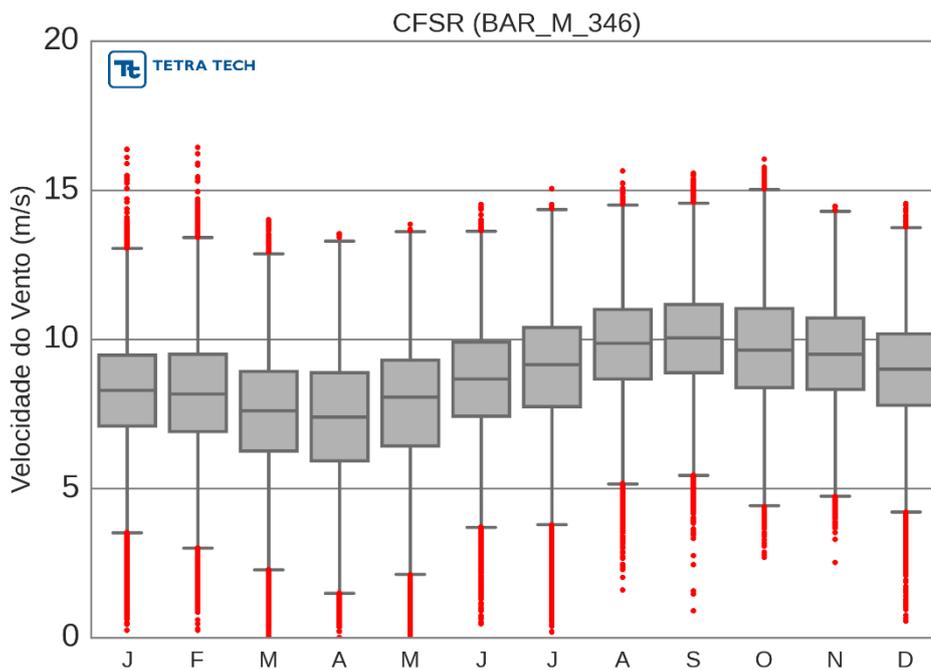


Figura 61 - Boxplot para a velocidade do vento nas proximidades do bloco BAR-M-346 extraída do reanálise do CFSR/NCEP.

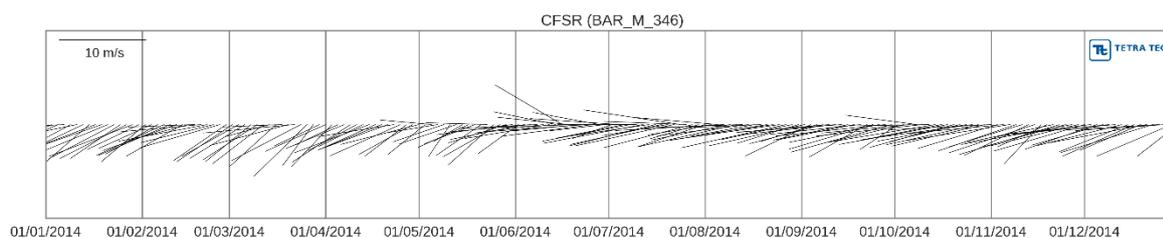


Figura 62 - Stickplot para a velocidade e direção vento do nas proximidades do bloco BAR-M-346 extraída do reanálise do CFSR/NCEP para o ano de modelagem (2014).

2.10. CONDIÇÕES EXTREMAS DO REGIME DE VENTOS

Segundo Wilks (1995) o termo “eventos extremos” indica os maiores (ou menores) valores de uma variável em um determinado número de observações. Desta forma, para caracterização de condições extremas, foram considerados os maiores valores da velocidade do vento. A intensidade mínima dos ventos é zero, associado à condição de calmaria, o que não caracteriza uma condição extrema do regime de ventos. Dois critérios foram utilizados para selecionar os eventos extremos:

- Valor médio mais um desvio padrão (representando aproximadamente o percentil de 85%);
- Valor médio mais dois desvios padrão (representando aproximadamente o percentil de 95%).

A caracterização dos eventos extremos de vento foi realizada para o período de 1979 a 2015 com base nos dados de reanálise do CFSR/NCEP no ponto de grade mais próximo o possível do bloco BAR-M-346 (ver Figura 1). A Figura 63 apresenta as rosas de ventos dos eventos extremos de acordo com o primeiro e o segundo critérios no ponto de análise. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A frequência de ocorrência é apresentada pela distância radial (%) e a escala de cores representa a velocidade de ventos (m/s).

Os valores para o primeiro e segundo critérios de corte são, respectivamente, 10,83 m/s e 12,94 m/s. Segundo ambos os critérios, a maior parte (perto de 100%) dos eventos

mais intensos de vento foram incidentes da direção E, associados aos ventos alísios e a circulação da ZCIT.

A Tabela 23 apresenta a distribuição sazonal dos eventos extremos ocorridos entre 1979 e 2015; observa-se que a maior quantidade de eventos extremos de velocidade do vento ocorre marcadamente durante a primavera para o primeiro critério e durante o verão para o segundo critério. As velocidades médias para o primeiro e segundo critérios são, respectivamente 12,30 m/s e 13,88 m/s, ambas ocorrendo durante o inverno.

A Figura 64 apresenta a evolução anual da frequência de ocorrência de ambos os critérios no período de 1979 a 2015. Observa-se uma boa correlação entre os anos com maior número de eventos extremos e anos de El Niño e entre anos de menor número de eventos extremos e anos de La Niña⁸.

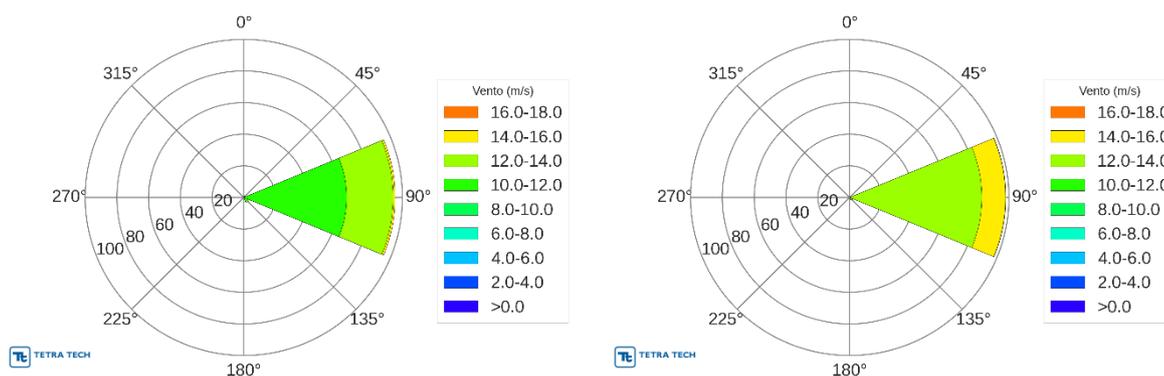


Figura 63 - Rosas dos vetores do vento para os eventos extremos separados pelo primeiro (esquerda) e segundo (direita) critérios de acordo com os dados da reanálise do CFSR no período de 1979 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.

⁸ http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_ERSSTv3b.shtml. Último acesso em 01/12/2015.

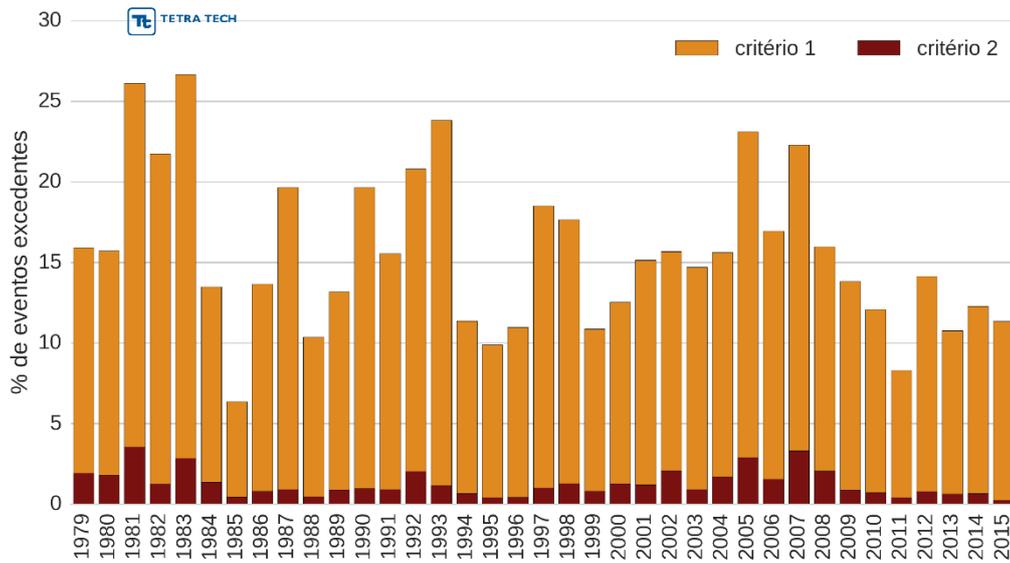


Figura 64 - Variação anual da quantidade de eventos extremos de vento segundo os dados da reanálise do CFSR no período de 1979 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.

Tabela 23 - Número de eventos extremos por estação do ano segundo dados de vento da reanálise do CFSR no período de 1979 a 2015 nas proximidades do bloco de exploração BAR-M-346.

Estação	1° Critério			2° Critério		
	Prob. (%)	Média (m/s)	Direção	Prob. (%)	Média (m/s)	Direção
Verão	3,81	10,95	E	0,47	12,63	E
Outono	3,91	10,96	E	0,26	12,68	E
Inverno	3,85	12,30	E	0,31	13,88	E
Primavera	4,05	12,08	E	0,45	13,58	E

3. OCEANOGRAFIA

O presente item apresenta os resultados de uma análise detalhada dos aspectos oceanográficos mais relevantes na região do bloco BAR-M-346. Esta análise foi realizada a partir de estudos anteriores, de dados disponíveis na região do bloco, de climatologias e de resultados de modelos oceânicos consagrados e reconhecidos pela comunidade científica.

As análises foram divididas entre verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro) e de acordo com a migração meridional da Zona de Convergência Intertropical. Os parâmetros analisados para a realização desta caracterização foram: temperatura, salinidade, densidade, massas d'água, regime de correntes, ondas e maré.

3.1. BASES DE DADOS

Para as análises necessárias à caracterização dos parâmetros oceanográficos, as seguintes bases de dados foram utilizadas:

- WOA13⁹: climatologia de temperatura e salinidade;
- OISST¹⁰: temperatura da superfície do mar;
- SMOS¹¹: salinidade da superfície do mar;
- WOCE¹²: correntes;
- HYCOM¹³: correntes;
- SWAN¹⁴: ondas;

⁹ *World Ocean Atlas 2013*. Conjunto de dados fornecidos pela NOAA. Disponível em <<https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA13.html>>. Último acesso em 05 de maio de 2014.

¹⁰ *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature*, disponível em <<https://www.ncdc.noaa.gov/oisst>>. Último acesso em 14/09/2015.

¹¹ *Soil Moisture and Ocean Salinity*, disponível em <<http://cp34-bec.cmima.csic.es/data/data-access/>>. Último acesso em 03 de julho de 2015.

¹² *World Ocean Circulation Experiment*, disponível em <<http://www.ewoce.org/data/index.html>>. Último acesso 14 de outubro de 2013

¹³ *Hybrid Coordinates Oceanic Model*, disponível em <<http://hycom.org>>. Último acesso 27 de novembro de 2015.

¹⁴ *Simulating Waves Nearshore*. Modelo disponível em <<http://www.swan.tudelft.nl/>>. Resultados gerados pela TETRA TECH

- FEMAR¹⁵: constantes harmônicas de maré;
- CFSR¹⁶: extremos de elevação da superfície do mar (maré meteorológica);
- Dados BP¹⁷: correntes.

A seguir são apresentadas as tabelas com a descrição das bases de dados utilizadas para as análises espaciais (Tabela 24), de seções verticais (Tabela 25) e pontuais (Tabela 26), bem como o mapa com a localização dos dados (Figura 65).

Tabela 24 - Informações das bases de dados de parâmetros oceanográficos com distribuição espacial (datum SIRGAS2000). Fonte: TETRA TECH.

BASE DE DADOS	PARÂMETRO	RESOLUÇÃO VERTICAL	RESOLUÇÃO ESPACIAL	RESOLUÇÃO TEMPORAL	PERÍODO
HYCOM	Corrente	32 sigma	0,08° x 0,08°	24 h	2008 a 2012
GDP	Corrente	Superfície	1° x 1°	Climatologia	1988 a 2005
WOA13	Temperatura e salinidade	33 sigma	0,25° x 0,25°	Climatologia	1886 a 2013
OISST	Temperatura	Superfície	1km x 1km	24 h	2014
SMOS	Salinidade	Superfície	0,25° x 0,25°	24 h	2014
CSR3	Harmônico de maré	Superfície	0,5° x 0,5°	6h	1979 a 2014
WW3	Onda	Superfície	0,05° x 0,05°	1 h	2001 a 2010

Tabela 25 - Informações das seções verticais de medição de parâmetros oceanográficos (datum SIRGAS2000). Fonte: TETRA TECH.

PARÂMETRO	BASE DE DADOS	NÍVEL VERTICAL	COORDENADAS		PERÍODO
Corrente	HYCOM	0 a 3300 m	2,72°S 1,27°N	41,73°W 41,73°W	2008 a 2012
Temperatura, Salinidade, Densidade	WOA13	0 a 4500 m	2,72°S 1,27°N	41,73°W 41,73°W	Climatologia

¹⁵ Fundação Estudos do Mar. Disponível em <<http://www.fundacaofemar.org.br/>>. Último acesso em: 20 de maio de 2014.

¹⁶ Climate Forecast System Reanalysis, disponível em <<http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.1>>. Último acesso em 03 de junho de 2014.

¹⁷ Dados coletados pela BP

Tabela 26 - Informações das estações pontuais de medição de parâmetros oceanográficos (datum SIRGAS2000).

PARÂMETROS	DADO	Coordenadas	PERÍODO
CORRENTE	HYCOM	2,00°S 41,60°W	01-Jan-2008 a 31-Dez-2012
	WOCE K327	0,08°N 44,39°W	07-Set-1989 a 10-Out-1990
	WOCE K328	0,83°N 44,07°W	06-Set-1989 a 11-Out-1990
	WOCE K340	0,42°N 44,25°W	14-Set-1990 a 08-Out-1991
	WOCE K361	1,18°N 44,04°W	29-Out-1992 a 04-Mar-1994
	M1	4,16° N 48,83°W	12-Jun-2000 a 21-Mar-2001
	M2	4,50° N 048,50°W	12-Jun-2000 a 21-Mar-2001
	PH1	0,79 N 43,43W	19-Abr-2008 a 15-Ago-2008
	PH2	0,78 N 43,43 W	19-Abr-2008 a 15-Ago-2008
TEMPERATURA E SALINIDADE	WOA13	1,90°S 41,60°W	1883 a 2013
ONDA	WW3	2,10°S 41,80°W	01-Jan-2001 a 31-Dez-2010
MARÉ	FEMAR/ Luiz Correia (Porto) - PI	2,85°S 41,64°W	09-Mai a 05-Jun de 1969
	FEMAR/ JP-15 (Plataforma) - MA	1,87°S 43,95°W	12-Jul a 12-Ago de 1962
	FEMAR/ TUTÓIA (Porto) - MA	2,76°S 42,24°W	26-Jun a 27-Jul de 1959
	FEMAR/ CARUTAPERA (Trapiche) - MA	1,20°S 46,01°W	10-Mai a 10-Jun de 1966
	FEMAR/ CABO MAGUARI - PA	0,21°S 48,46°W	16-Jul a 16-Ago de 1971
	FEMAR/ SANTA MARIA DO COCAL - AP	2,59°N 50,85°W	22-Mai a 22-Jun de 1972
NÍVEL MÉDIO DO MAR	CFSR	1,98°S 41,73°W	1979 a 2010

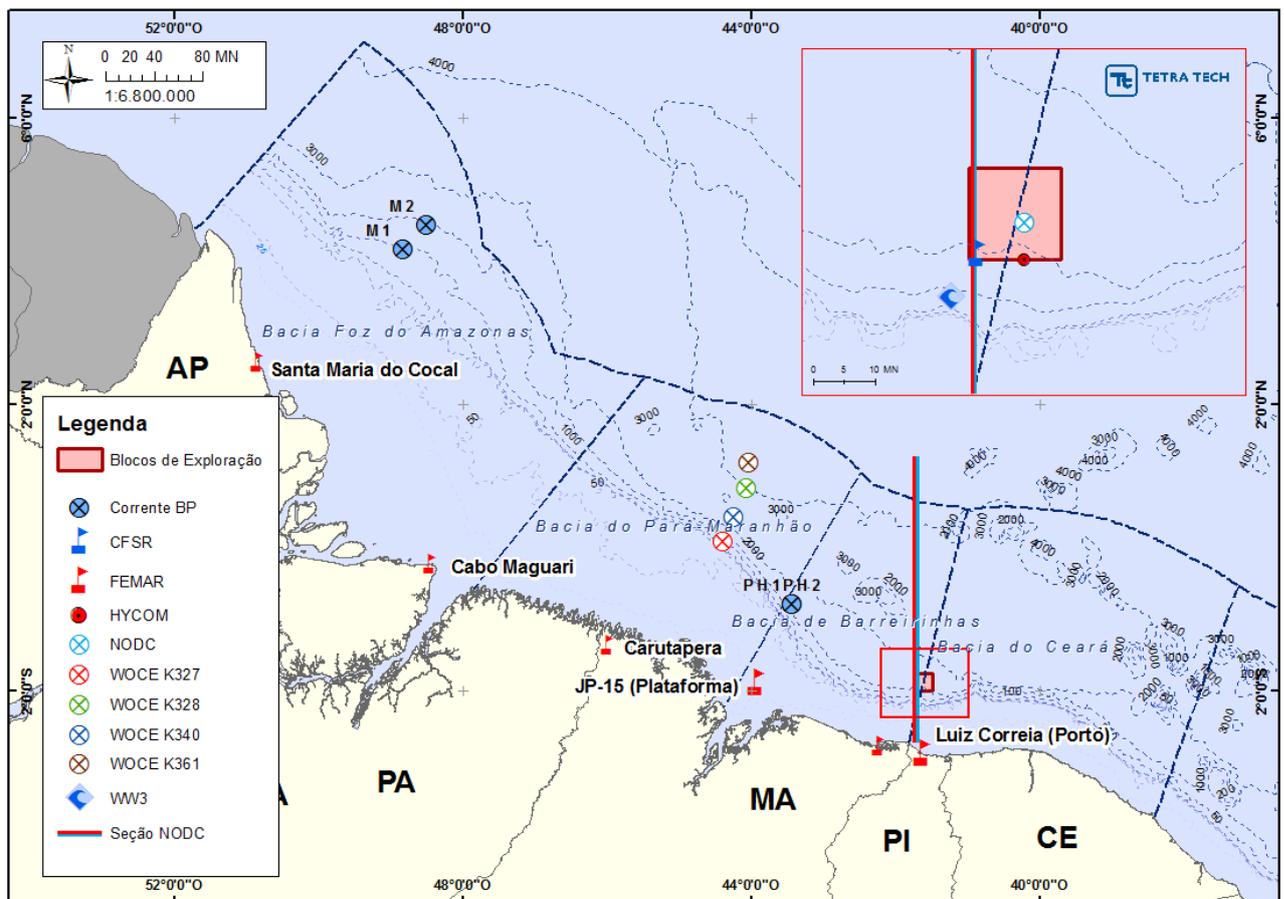


Figura 65 - Localização dos parâmetros oceanográficos analisados.

3.2. MASSAS D'ÁGUA, TEMPERATURA, SALINIDADE E DENSIDADE

Em termos gerais a distribuição térmica superficial do oceano decresce de valores elevados no Equador até temperaturas próximas à zero em regiões polares. Como exemplo pode-se citar a Corrente do Brasil, que transporta calor da região equatorial para a tropical, e a Corrente de Benguela, que transporta águas mais frias para regiões equatoriais.

Abaixo da superfície é possível distinguir três camadas com diferentes padrões (ASEFF, 2006):

- Camada superficial: região que se inicia na superfície e que chega a atingir 200 m de profundidade em algumas localidades. É a chamada Camada de Mistura, uma

camada de água onde a temperatura é aproximadamente igual à temperatura registrada na superfície;

- Camada intermediária: região da termoclina, onde se observa um declínio acentuado na temperatura; esta camada torna-se mais espessa entre 200 e 1.000 m de profundidade. Analogamente com a haloclina e picnoclina para os declínios de salinidade e densidade; e
- Camada profunda: região caracterizada por temperaturas baixas (aproximadamente, 4 °C) e com gradiente pequeno, em especial quando comparado à camada superior.

A região de interesse deste estudo, compreendendo a Bacia de Barreirinhas, encontra-se em latitudes equatoriais entre o Oceano Atlântico Sul e Norte. Nesta porção do globo, devido à reduzida variação na insolação ao longo do ano, a temperatura da camada superior e a profundidade da termoclina apresentam variações sazonais pequenas. A elevada magnitude da insolação na região gera uma termoclina com profundidades inferiores se comparada a regiões de climas mais frios, que apresentam maior variação sazonal. Durante todo o ano a termoclina apresenta pequena variação em profundidade e espessura.

A seguir, apresenta-se uma caracterização das massas d'água presentes na região: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Cada uma delas apresenta um índice termohalino característico, reflexo das condições ambientais do local de formação e, em alguns casos, dos processos de mistura envolvidos.

Água Tropical (AT): Massa de água quente e salina (com salinidade maior que 36) formada em baixas latitudes por processos de intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação. Transportada pela Corrente do Brasil em seu caminho para o sul, perde sal e calor à medida que se mistura com outras massas. Geralmente é encontrada na região do talude, mas pode ocupar a plataforma externa e média durante o verão (ASEFF, 2006). Seguem exemplos de classificação termohalina da AT.

- $T > 20^{\circ} \text{C}$ e $S > 36$ (EMÍLSSON, 1961; MIRANDA, 1982; STRAMMA & ENGLAND, 1999);
- $T = 24^{\circ} \text{C}$ e $S = 37$ (CASTRO FILHO *et al.*, 1987);

Nesse estudo está sendo considerado o índice termohalino de Miranda (1982).

Água Central do Atlântico Sul (ACAS): Massa de água formada pela mistura da AT e ASA (Água Subantártica), cujo local de formação encontra-se em uma região em que os processos de evaporação são maiores que os de precipitação, o que provoca o afundamentos das águas na região da Convergência Subtropical. A ACAS apresenta temperaturas um pouco menores e salinidade semelhante à AT. Na coluna d'água é encontrada imediatamente abaixo da AT (ASEFF, 2006). A seguir são apresentados exemplos de classificações termohalinas para ACAS.

- $10^{\circ} < T < 20^{\circ} \text{ C}$ e $35 < S < 36$ (SVERDRUP *et al.*, 1942; EMÍLSSON, 1961; MIRANDA, 1982).
- $6^{\circ} \text{ C} < T < 18^{\circ} \text{ C}$ e $34,5 < S < 36$ (AIDAR *et al.*, 1993);
- $T = 13^{\circ} \text{ C}$ e $S = 35,4$ (CASTRO FILHO *et al.*, 1987).
- $6^{\circ} \text{ C} < T < 20^{\circ} \text{ C}$ e $34,6 < S < 36$ (STRAMMA & ENGLAND, 1999);

Nesse estudo está sendo considerado o índice termohalino de Miranda (1982).

Água Intermediária Antártica (AIA): Massa de água localizada abaixo da ACAS que surge do afundamento da Água Superficial Antártica ao sul da frente subantártica (DEACON, 1937). Essa teoria diz que a região de formação dessa água encontrada-se em regiões específicas do sudeste do Pacífico (TALLEY, 1996). Stramma & England (1999), classificaram o índice termohalino da AIA como:

- $3^{\circ} \text{ C} < T < 6^{\circ} \text{ C}$ e $34,2 < S < 34,6$

Água Profunda do Atlântico Norte (APAN): Transportada para sul pela Corrente de Contorno Profunda (GODOI, 2005) e situada na camada inferior à AIA, a APAN é parte integrante da circulação termohalina. Caracterizada por valores de temperatura entre 3 e 4 °C e salinidades entre 34,6 e 35,0, ocupa níveis entre 1.500 e 3.000 m ao longo do Sudeste Brasileiro (SILVEIRA *et al.*, 2000). Apresenta-se com um fluxo organizado, fluindo para o sul ao longo do contorno oeste até cerca de 32°S, região onde parte da corrente retorna em direção ao equador (REID, 1989; WEATHERLY, 1993; CIRANO *et al.*, 2006). Stramma & England (1999) classificam o índice termohalino da APAN como:

- $3^{\circ} \text{ C} < T < 4^{\circ} \text{ C}$ e $34,6 < S < 35,0$

Para ilustrar a descrição anterior, na Figura 66 é apresentado um esquema do posicionamento vertical e horizontal das correntes que as transportam na costa norte brasileira. O esquema é baseado no trabalho de Stramma & England (1999) e Boebel *et al* (1999). Observa-se a região de formação da Corrente e Subcorrente Norte do Brasil, bem como as massas d'água transportadas por essas. Além disso, destaca-se a APAN, que é transportada pela Corrente de Contorno Profunda em sentido oposto à CNB. Esse sistema de correntes e massas d'água formam o principal sistema atuante na costa norte do Brasil próximo à região do talude continental.

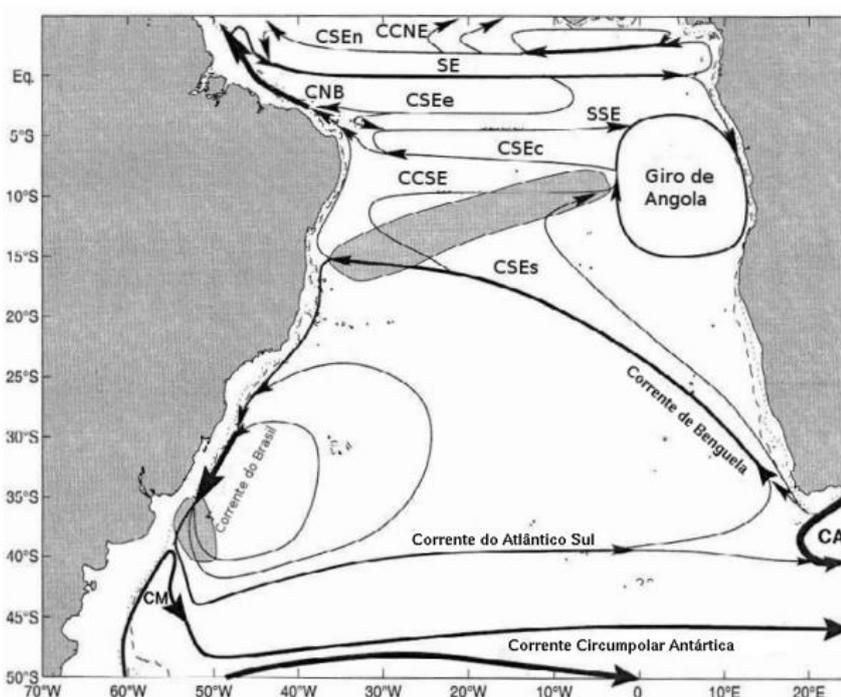


Figura 66 - Síntese do escoamento do sistema de correntes de contorno oeste ao longo da margem continental brasileira, de acordo com os padrões esquemáticos de larga escala Adaptado de Stramma & England (1999) onde Contracorrente Norte Equatorial (CCNE); Subcorrente Equatorial (SE); Corrente Norte do Brasil (CNB); Subcorrente Sul Equatorial (SSE), Contracorrente Sul Equatorial (CCSE); Ramos norte (CSEn), central (CSEc), sul (CSEs) e equatorial (CSEe) da Corrente Sul Equatorial (CSE); Corrente do Brasil; Corrente do Atlântico Sul; Corrente Circumpolar Antártica; Corrente das Malvinas (CM); Corrente das Agulhas (CA).

WORLD OCEAN ATLAS 2013 (WOA13)

World Ocean Atlas 2013 (WOA13) é um conjunto de dados global objetivamente analisado de temperatura, salinidade, oxigênio, fosfato, silicato e nitrato para períodos

anuais, sazonais e mensais. O WOA2013 é um esforço contínuo de quarenta anos para calcular as propriedades do oceano iniciado pela climatologia Levitus em 1982. Produzido pelo National Oceanographic Data Center (NODC) o WOA2013 melhora versões anteriores com maior resolução vertical para todos variáveis. Esta resolução vertical superior pode facilitar modelos de maior resolução, controle mais preciso da qualidade de dados observacionais e estudos de processos em maior detalhe.

Os campos de temperatura e salinidade do WOA13 são gerados a partir de interpolações de informações coletadas por garrafas, CTDs, batitermógrafos, bóias fundeadas, bóias de deriva e perfiladores. O procedimento de interpolação consiste na distribuição dos dados em uma grade de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, onde as médias climatológicas de cada mês são calculadas e interpoladas espacialmente. Esta interpolação é ponderada de acordo com a proximidade com o centro do ponto de grade, isso garante a relação com a proximidade do ponto. O seguinte passo procede de forma que é aplicado uma análise objetiva para garantir o preenchimento de todos os pontos de grade (DALEY, 1991).

O conjunto de dados utilizados para a interpolação consiste em parâmetros de temperatura, pressão e salinidade coletados por perfiladores de condutividade e temperatura (CTD, distribuição espacial das estações na margem ocidental do Atlântico Central apresentada na Figura 67), batitermógrafos descartáveis (XBT, Figura 68) e mecânicos (MBT, Figura 69), perfiladores de deriva (PFL, Figura 70) e garrafas de reversão (OSD, Figura 71).

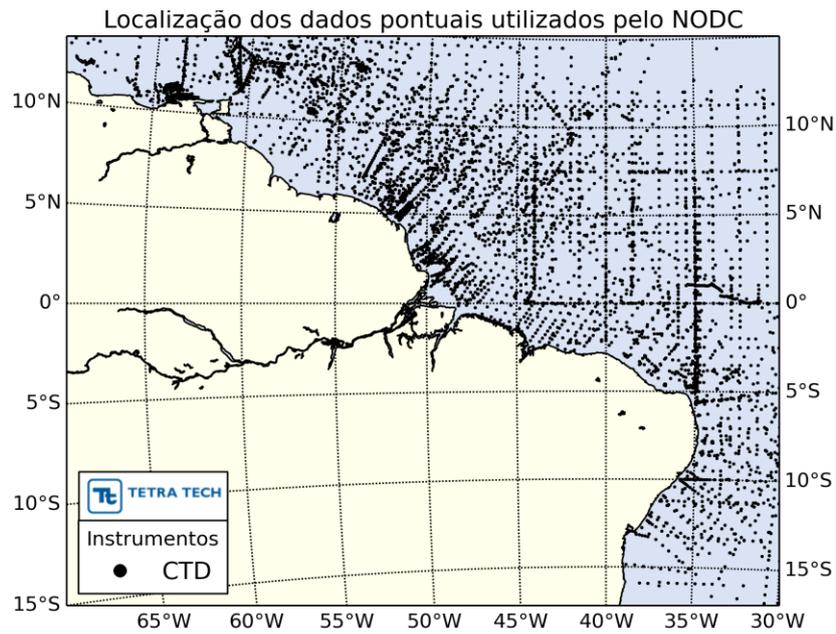


Figura 67 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por CTDs entre os anos de 1969 a 2009 utilizados para as médias climatológicas do WOA13 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.

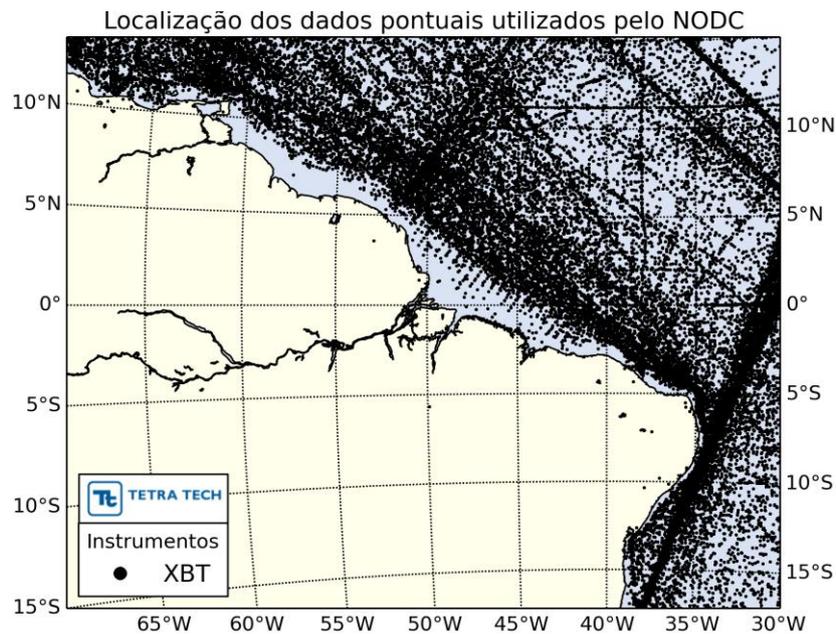


Figura 68 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por XBTs entre os anos de 1966 a 2009 utilizados para as médias climatológicas do WOA13 entre os anos de 1957 - 2009 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.

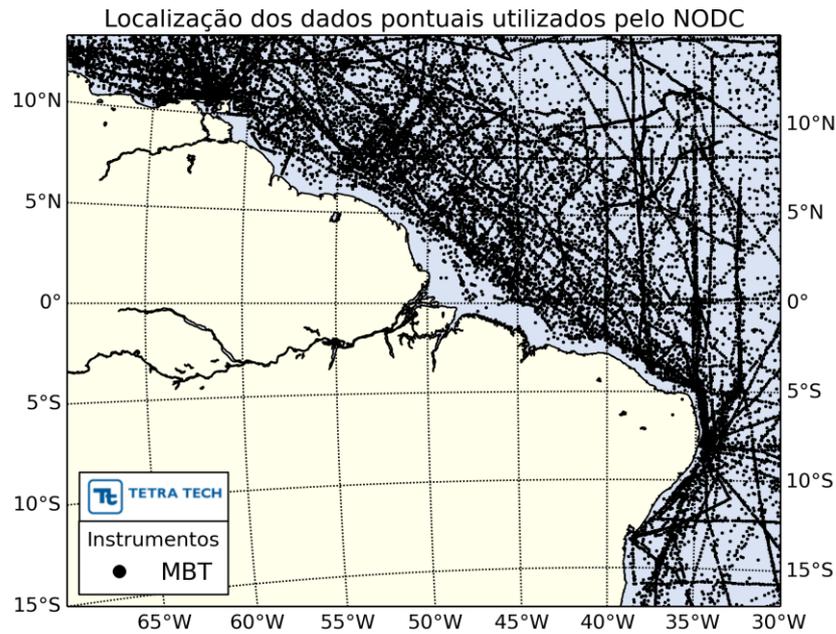


Figura 69 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por MBTs entre os anos de 1941 a 2009 utilizados para as médias climatológicas do WOA13 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.

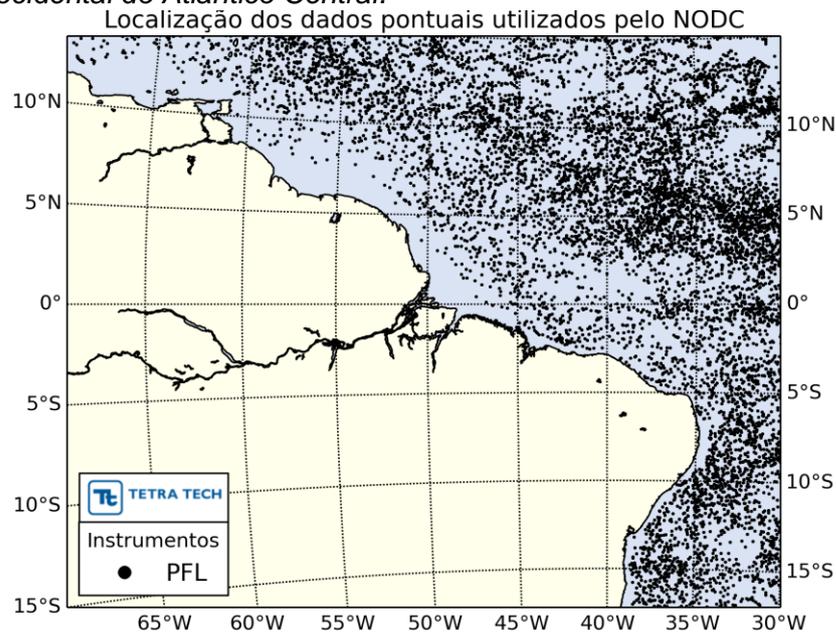


Figura 70 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por perfiladores de deriva (PFL) entre os anos de 1997 a 2009 utilizados para as médias climatológicas do WOA13 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.

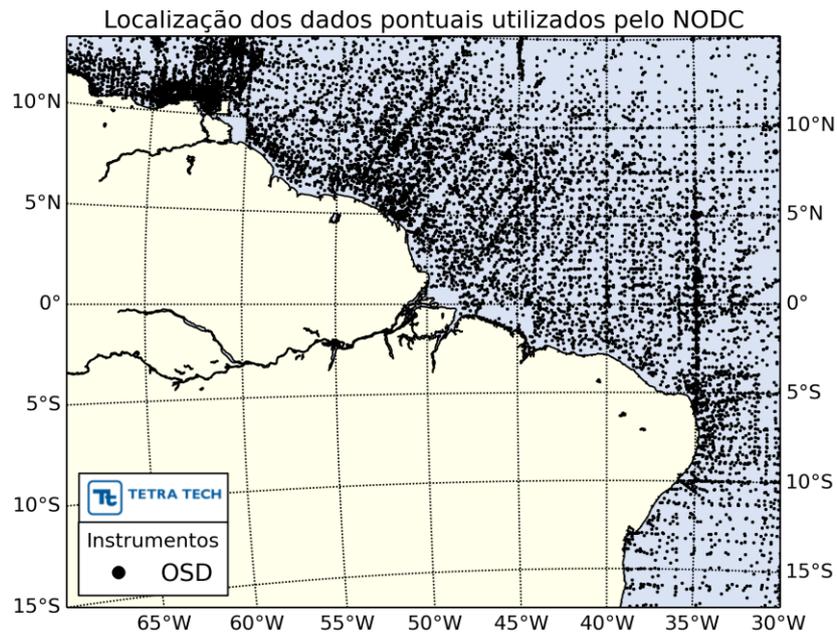


Figura 71 - Localização geográfica de perfis de temperatura, salinidade e pressão coletados por garrafas de reversão (OSD) entre os anos de 1873 a 2009 utilizadas para as médias climatológicas do WOA13 para a região da margem ocidental do Atlântico Central.

Para a análise de temperatura, salinidade, densidade e massas d'água na região do Bloco BAR-M-346, são apresentados mapas de superfície, meio e fundo, seções e perfis verticais gerados a partir das climatologias do WOA13 da NOAA. Os perfis e seções verticais foram obtidos na região do Bloco (Tabela 25 e Tabela 26), cuja posição é ilustrada na Figura 65

A temperatura é apresentada em °C e a salinidade é dada adimensional e representa a quantidade de sal medida em gramas para cada 1 kg de água. A densidade é calculada a partir do polinômio apresentado em Fofonoff & Millard (UNESCO, 1983).

A Figura 72 até Figura 75 ilustram os valores médios de temperatura da superfície do mar (TSM) para os períodos de verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro). Na região da Bacia de Barreirinhas, as temperaturas máxima e mínima encontradas a partir das médias sazonais em superfície foram de aproximadamente 29°C e 26°C, ambas no verão. A variabilidade sazonal observada nos campos superficiais permitiu observar que a região do Bloco BAR-M-346 (aproximadamente 2°S) distingue o verão e o outono como estações mais quentes.

Os campos em níveis picnoclínicos (aproximadamente 300 m) não apresentam grandes variações sazonais em relação à disposição espacial da temperatura na região do Bloco (Figura 76 à Figura 79). Isso se deve à influência da Corrente Norte do Brasil, que transporta na região, em direção ao Hemisfério Norte, águas com características semelhantes durante todo o ano.

Assim como em regiões intermediárias, reduzida variação sazonal foi observada próximo ao fundo (Figura 80 a Figura 83). Neste nível, a temperatura média dos campos variou desde 9,8 °C no outono a até 10,3°C no inverno.

A análise dos campos de salinidade (Figura 84 a Figura 95) e densidade (Figura 96 a Figura 107) em superfície permitiu observar a presença da pluma do Rio Amazonas através de menores valores das respectivas propriedades próximo à costa. Na camada superficial, a salinidade média dos campos variou de 34,96 no outono a até 35,69 na primavera, e as densidades de 1022,47 kg/m³ no outono a até 1023,06 kg/m³ no verão.

Assim como observado para a temperatura aos níveis intermediário (300 m) e profundo (1000 m), para a salinidade e densidade, pequena variação espacial e sazonal foi indicada pelos campos horizontais. Em níveis intermediários, as salinidades médias sazonais variaram em torno de 34,9 e as densidades por volta de 1028,2 kg/m³. Já em 1000 m, as

salinidades foram observadas em torno de 34,6 e as densidades variaram ao redor de 1032 kg/m³.

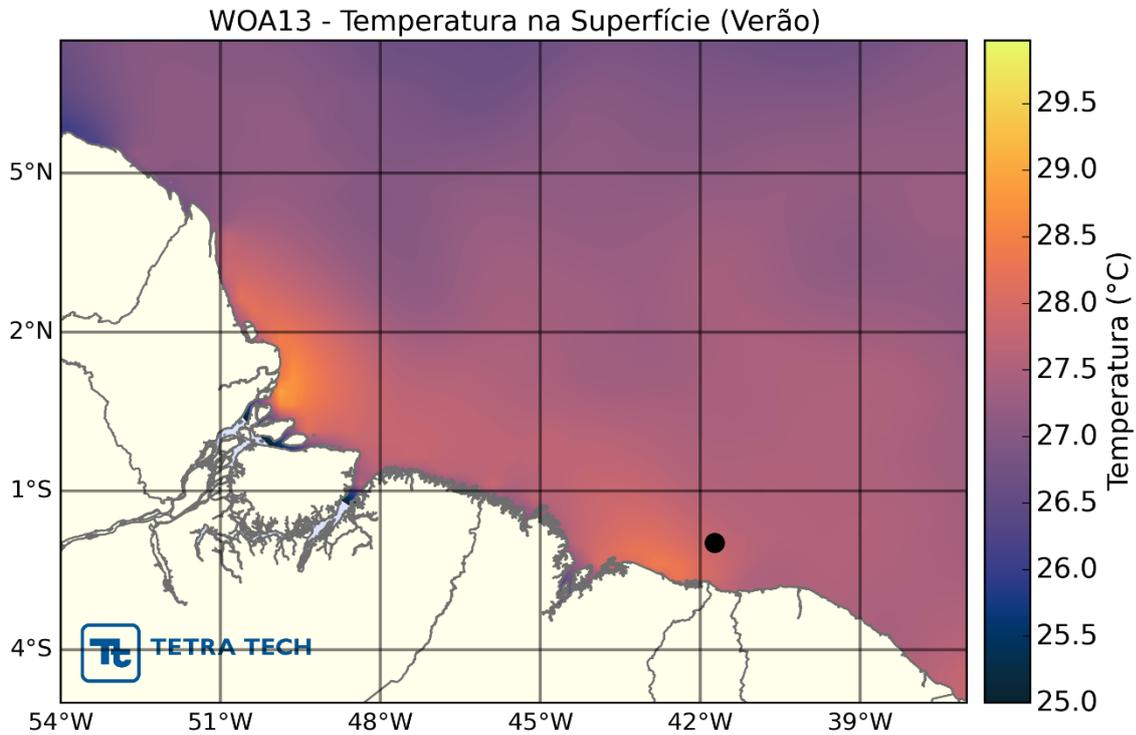


Figura 72 - Distribuição espacial média da temperatura a 0 metro para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

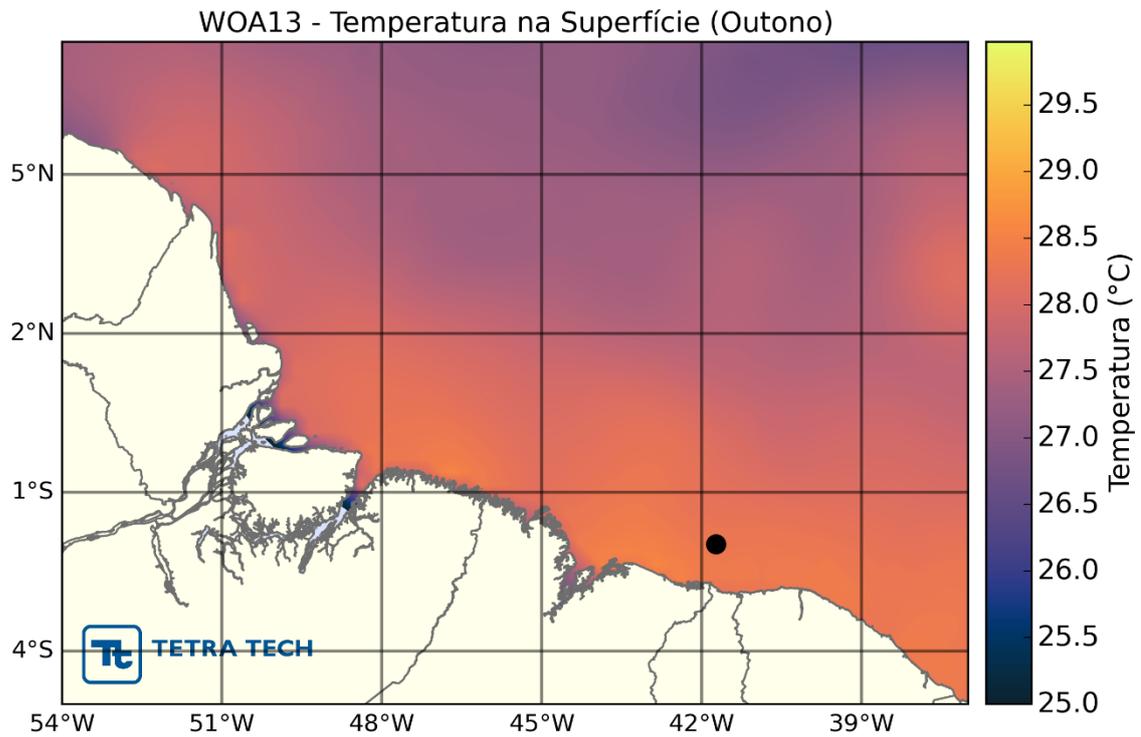


Figura 73 - Distribuição espacial média da temperatura a 0 metro para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

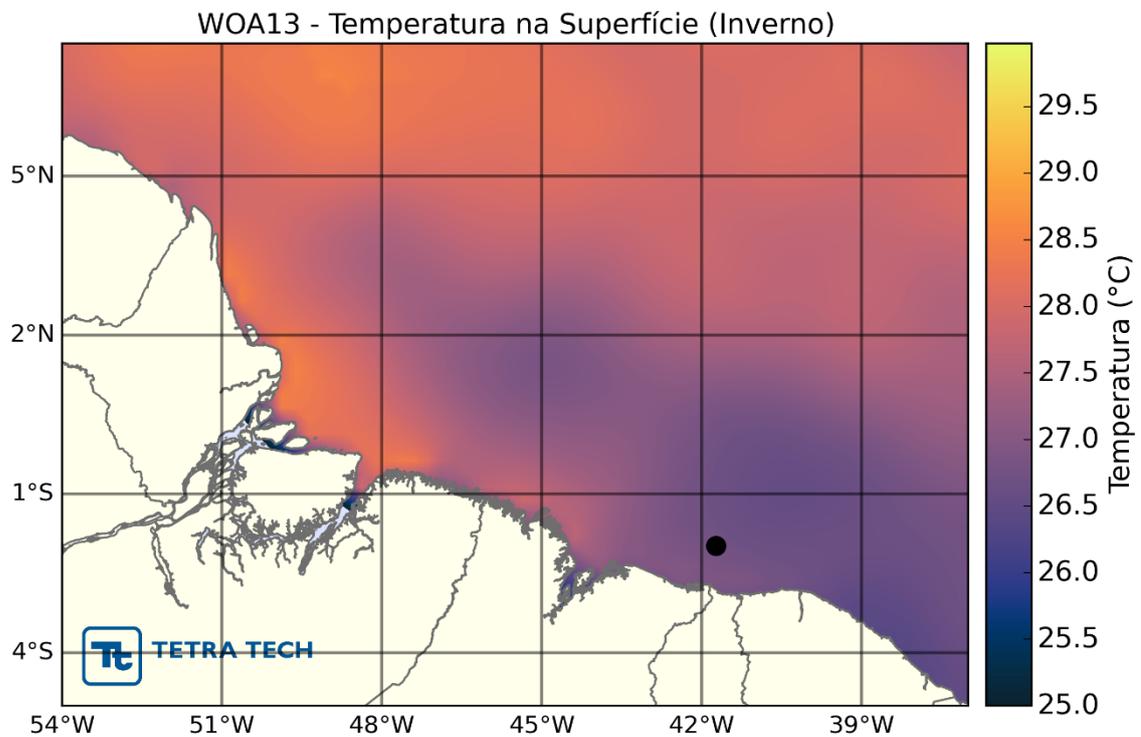


Figura 74 - Distribuição espacial média da temperatura a 0 metro para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

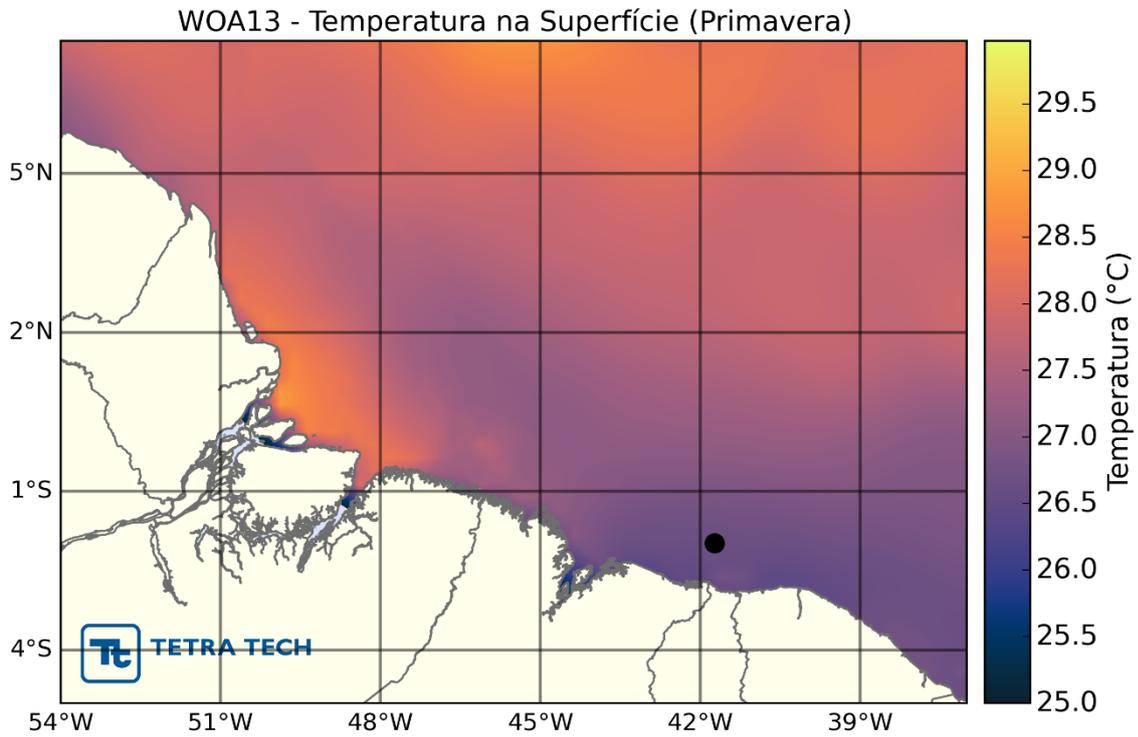


Figura 75 - Distribuição espacial média da temperatura a 0 metro para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

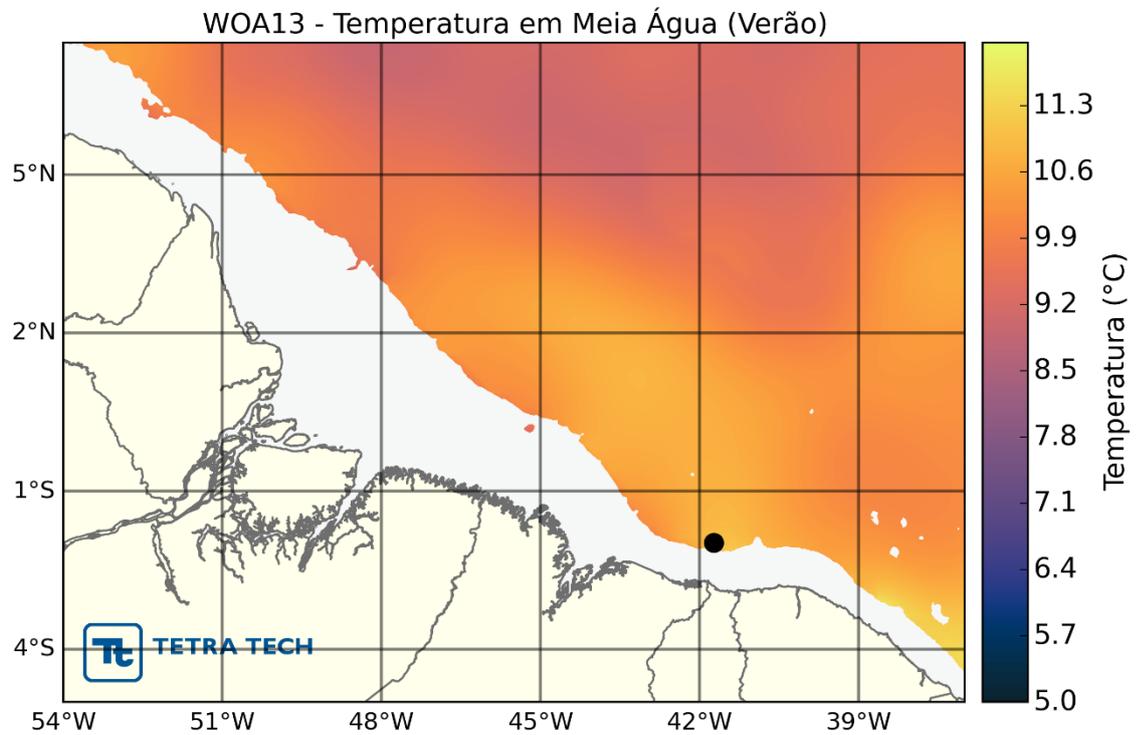


Figura 76 - Distribuição espacial média da temperatura a 300 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

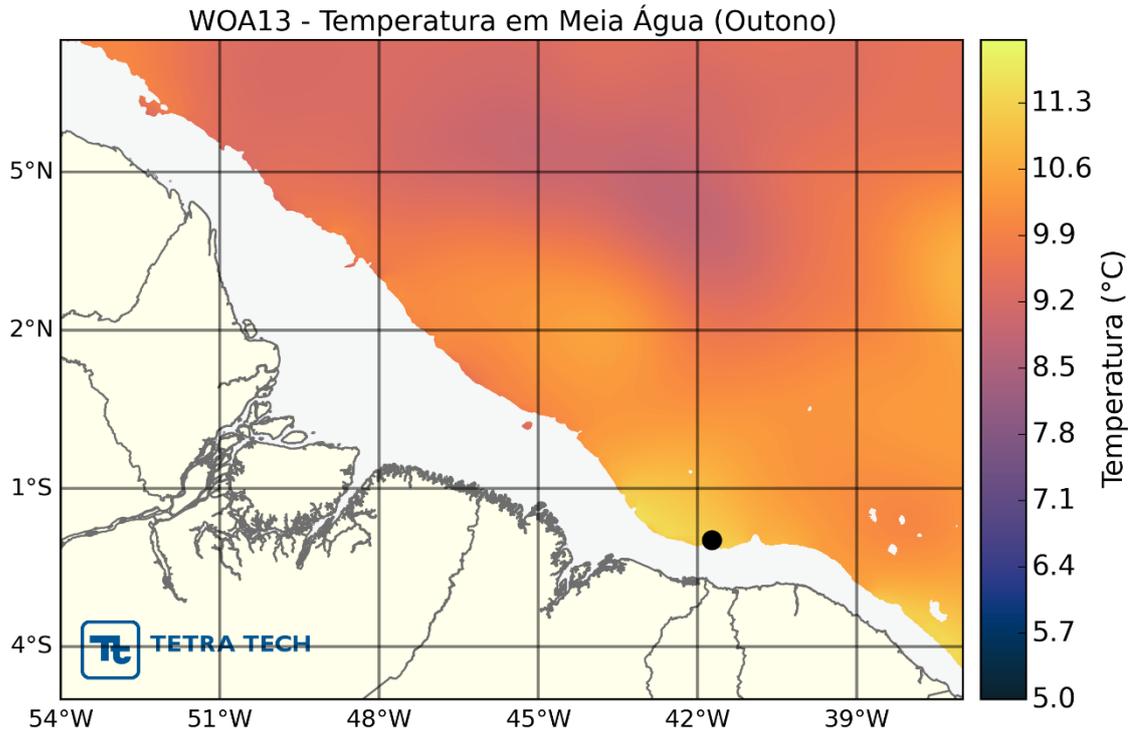


Figura 77 - Distribuição espacial média da temperatura a 300 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

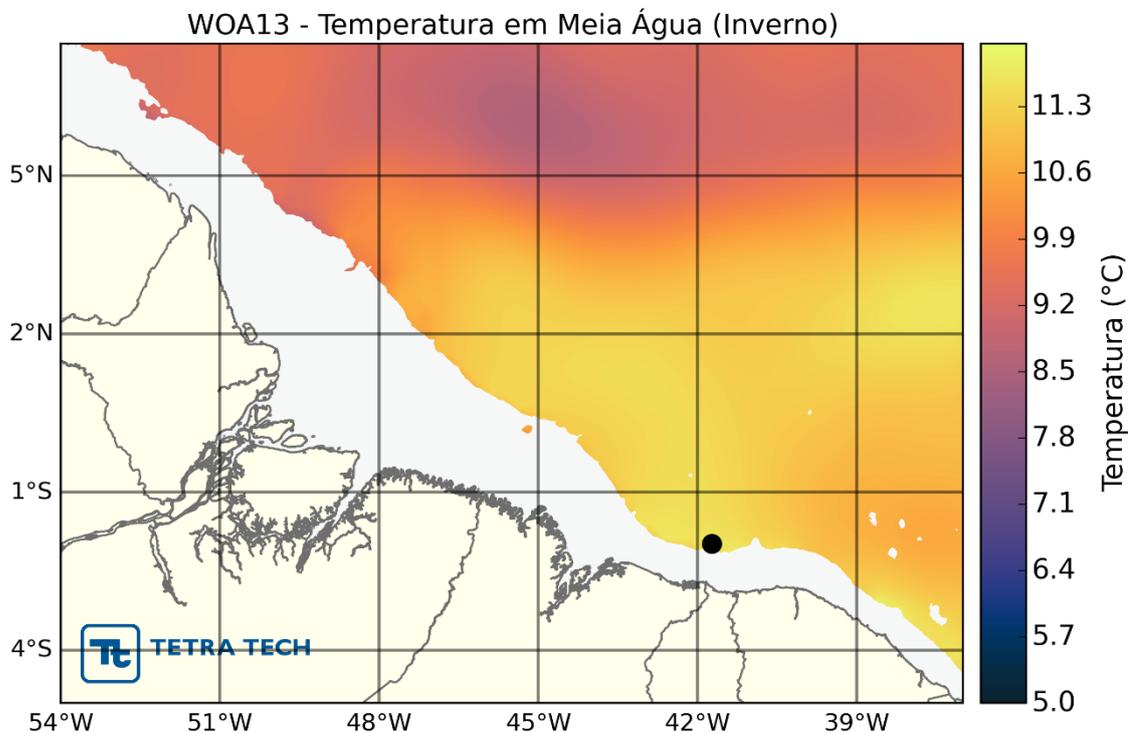


Figura 78 - Distribuição espacial média da temperatura a 300 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

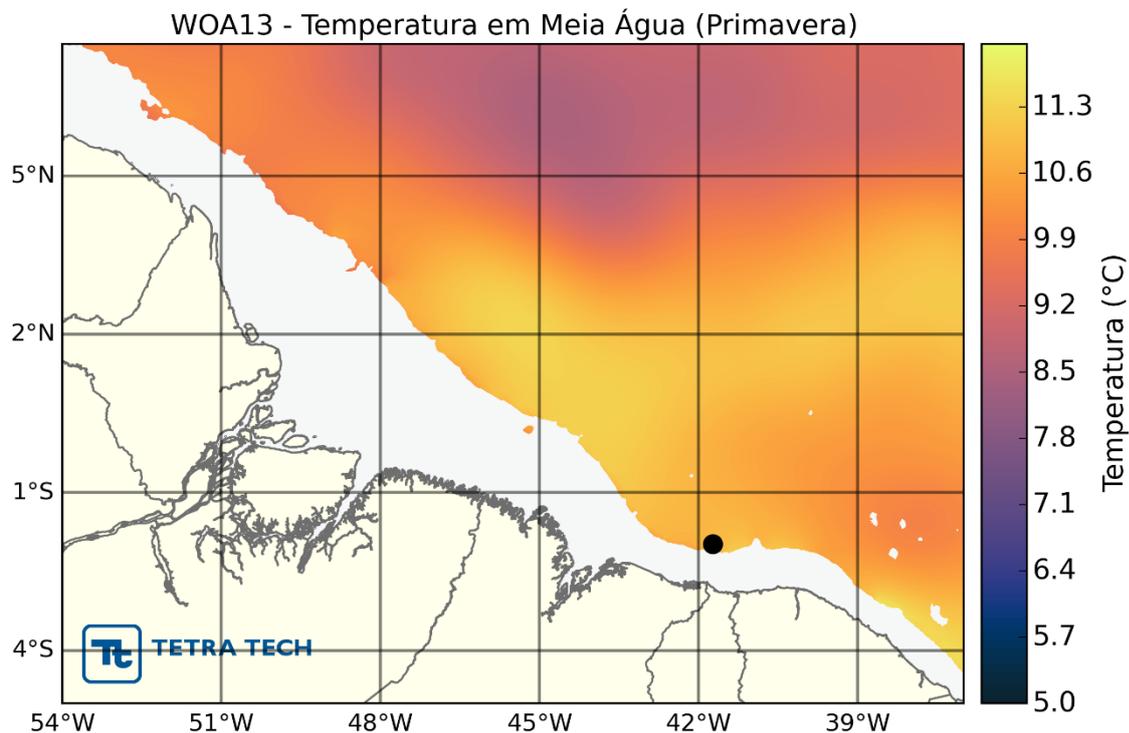


Figura 79 - Distribuição espacial média da temperatura a 300 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

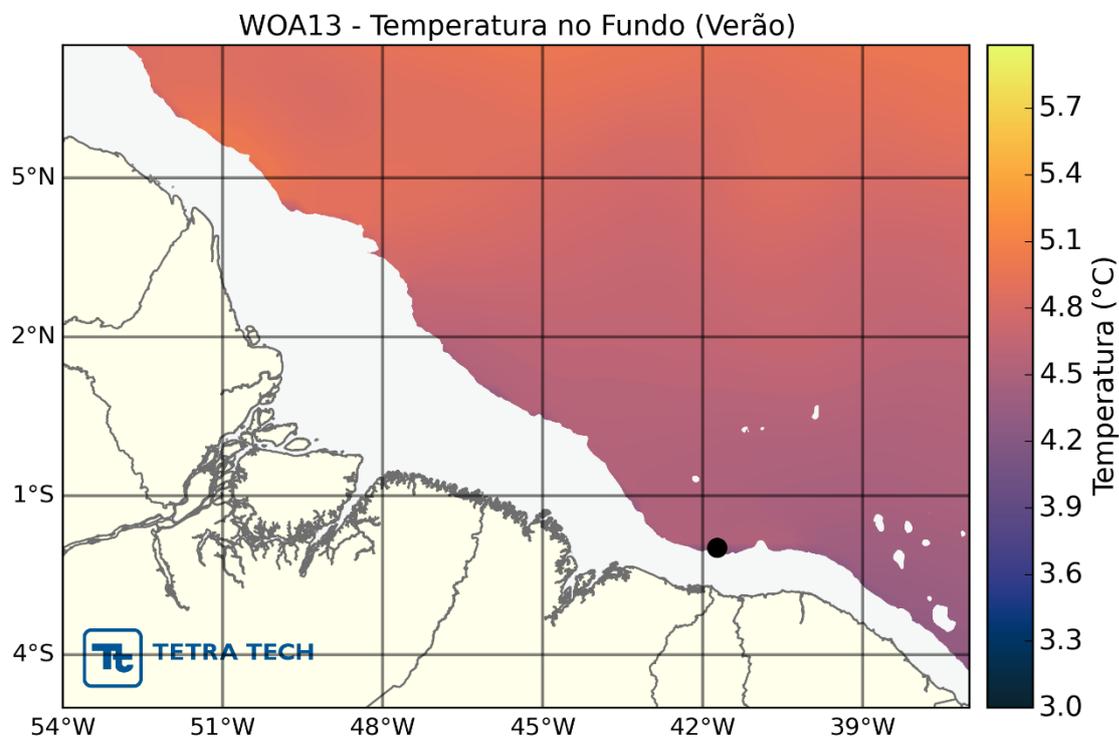


Figura 80 - Distribuição espacial média da temperatura a 1.000 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

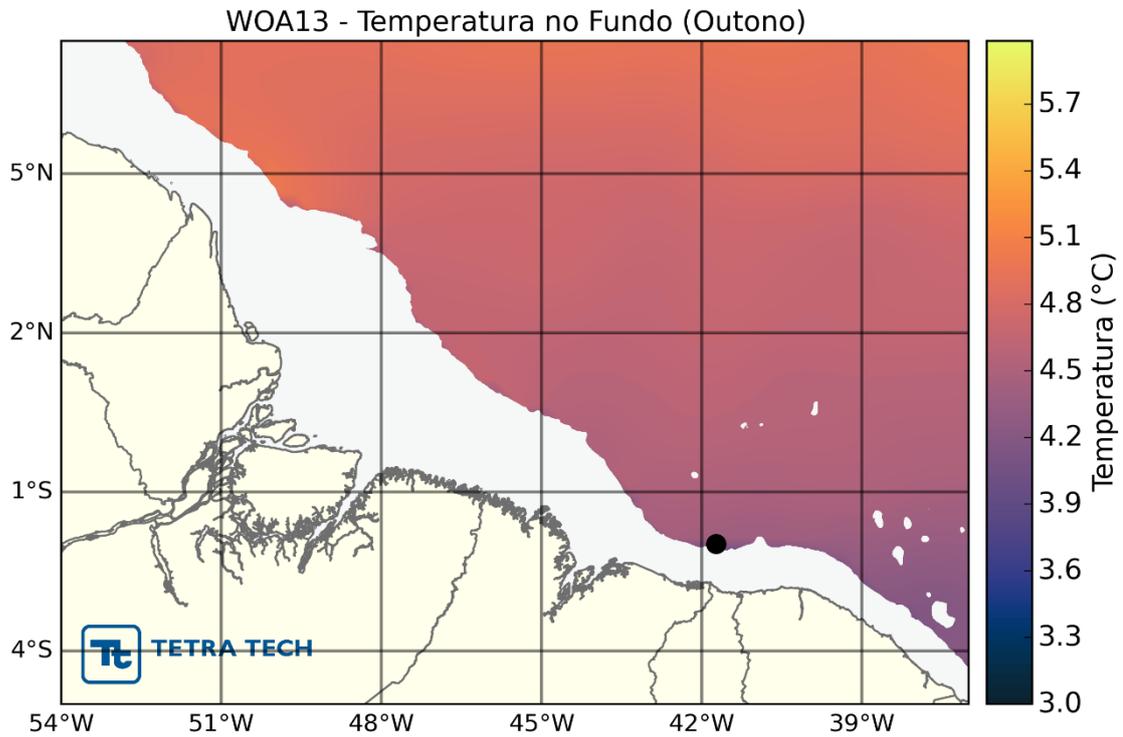


Figura 81 - Distribuição espacial média da temperatura a 1.000 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

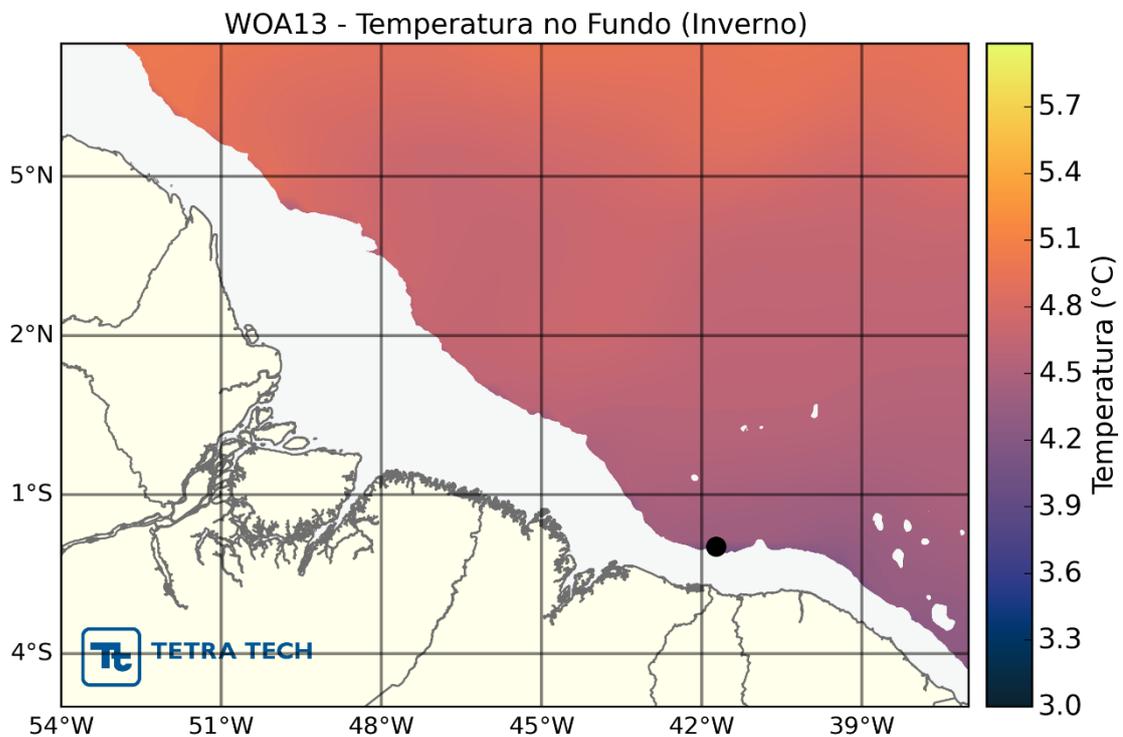


Figura 82 - Distribuição espacial média da temperatura a 1.000 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

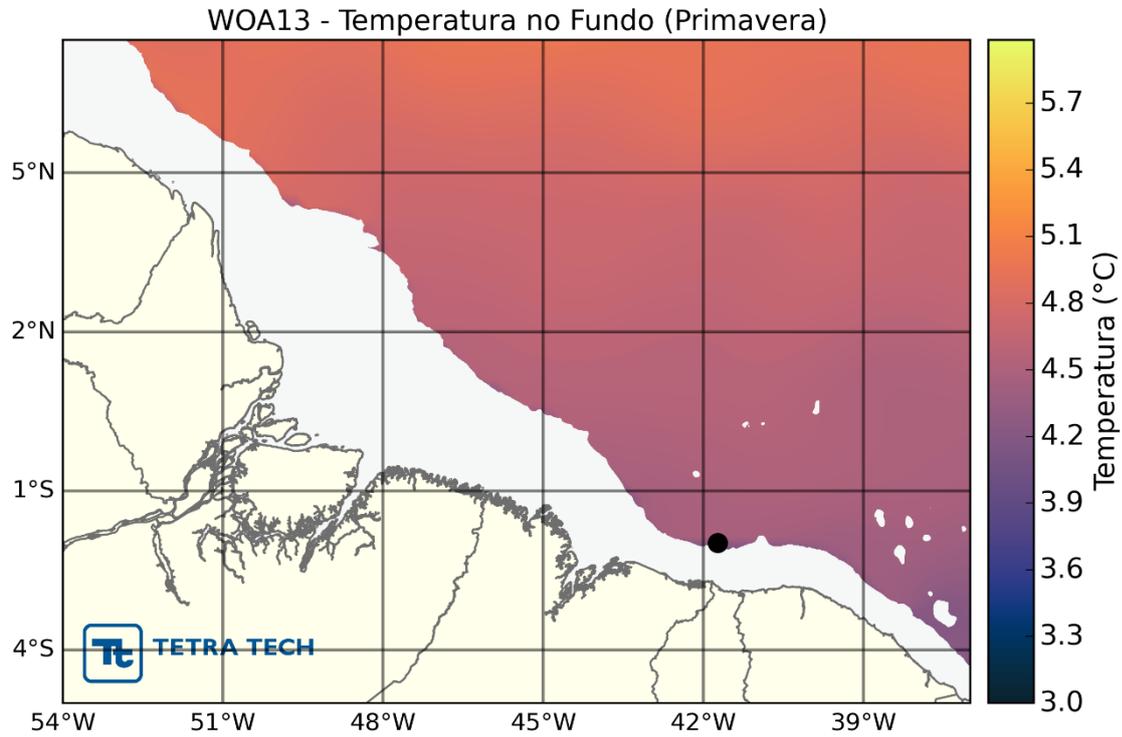


Figura 83 - Distribuição espacial média da temperatura a 1.000 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

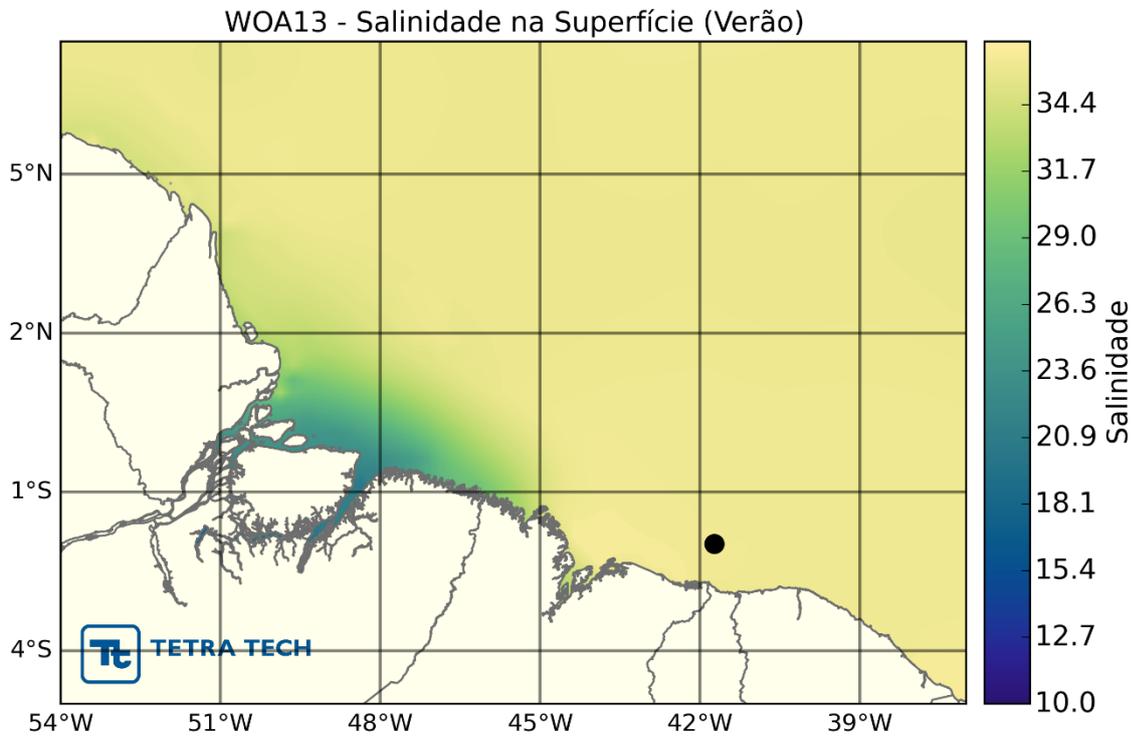


Figura 84 - Distribuição espacial média da salinidade a 0 metro para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

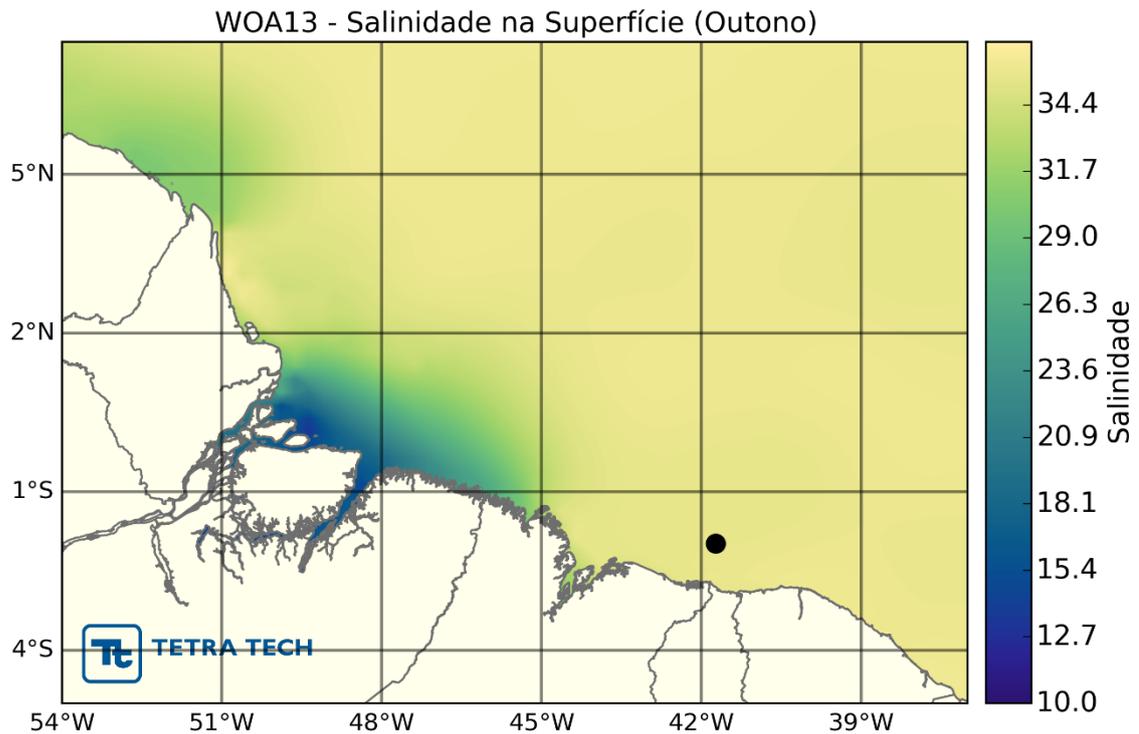


Figura 85 - Distribuição espacial média da salinidade a 0 metro para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

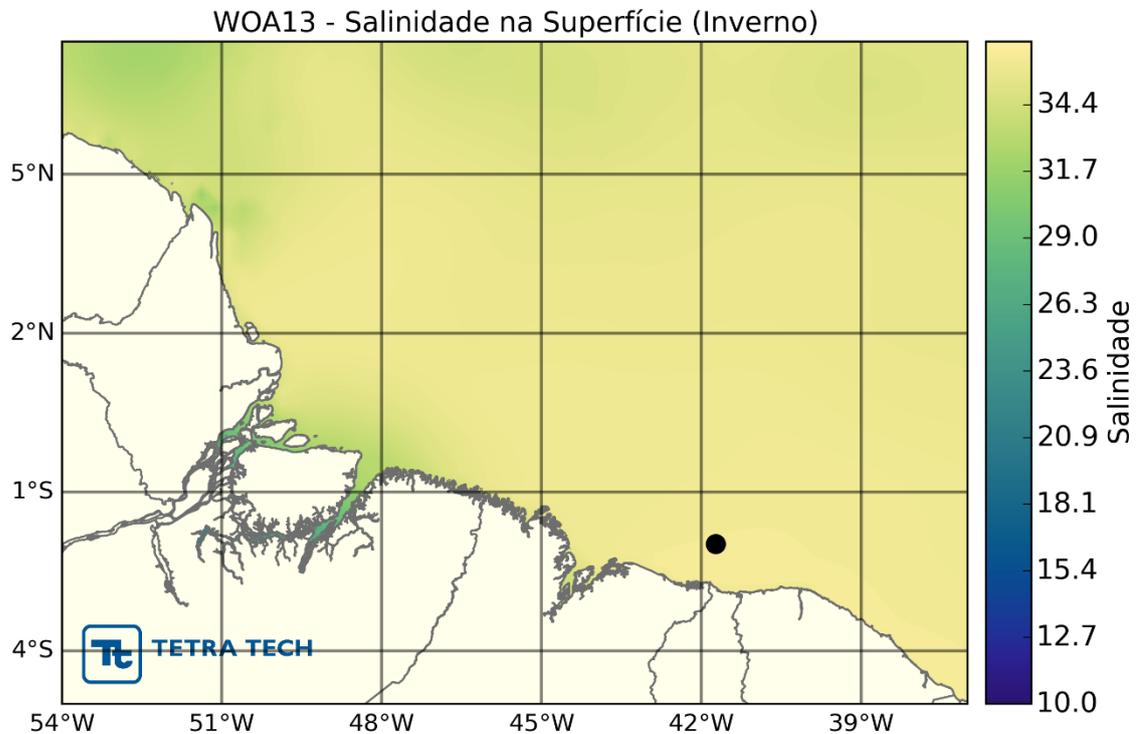


Figura 86 - Distribuição espacial média da salinidade a 0 metro para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

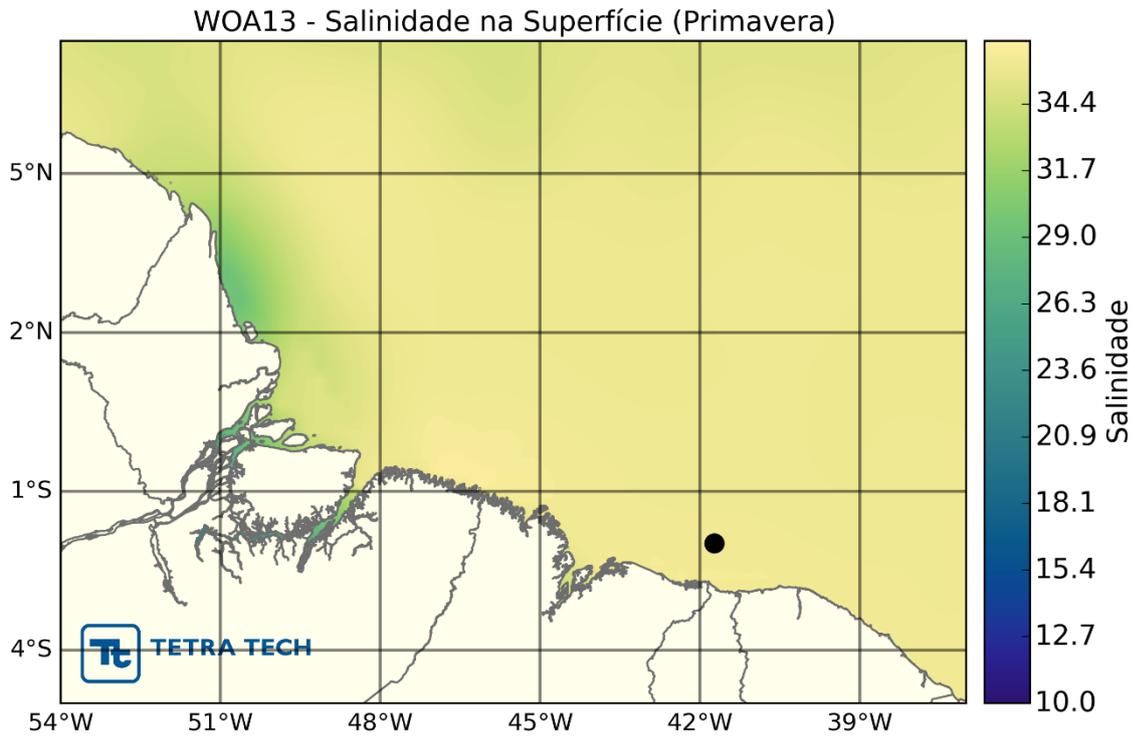


Figura 87 - Distribuição espacial média da salinidade a 0 metro para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

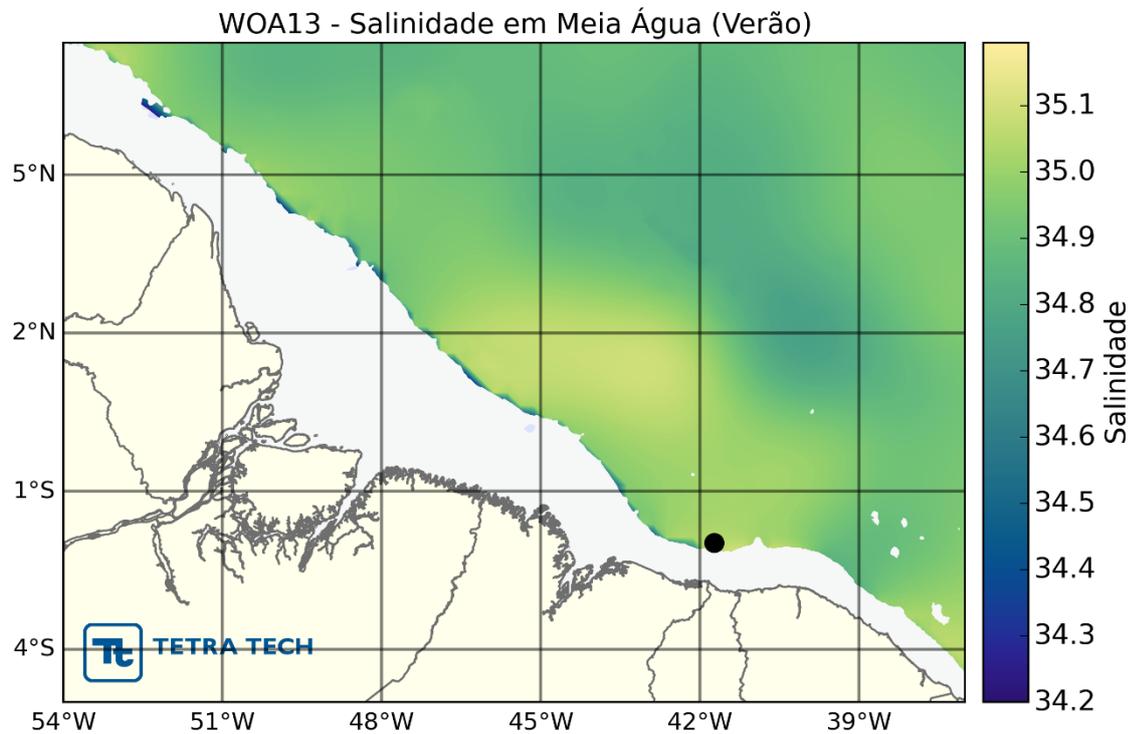


Figura 88 - Distribuição espacial média da salinidade a 300 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

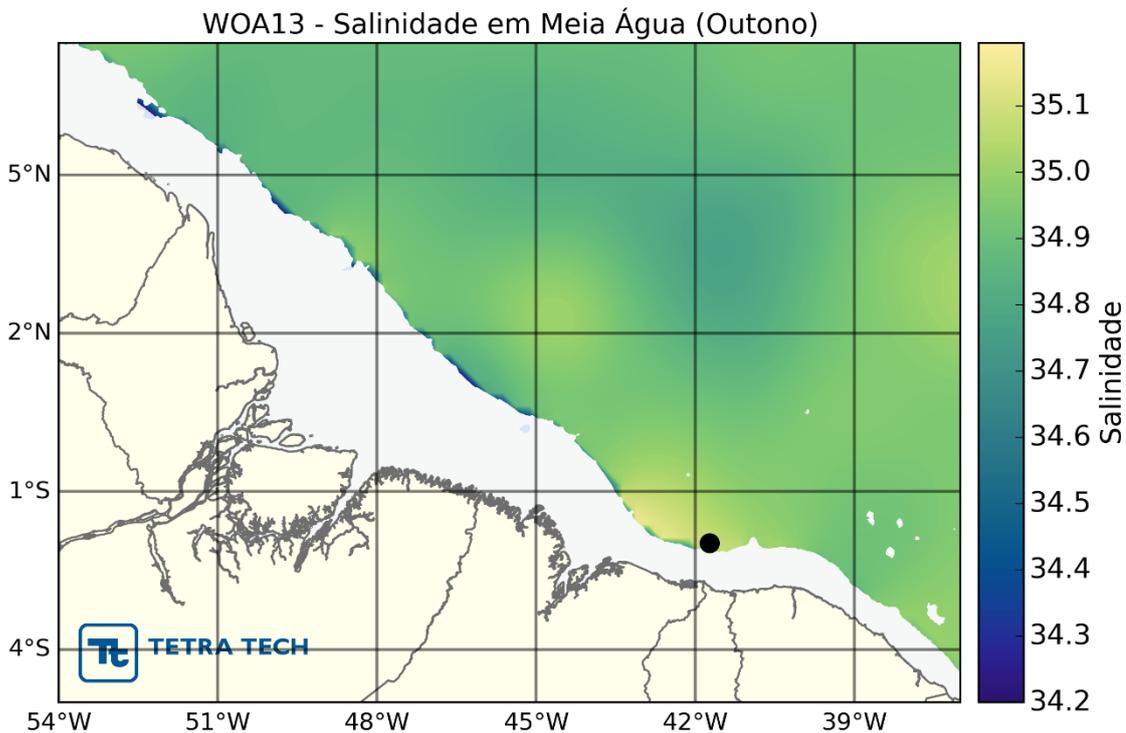


Figura 89 - Distribuição espacial média da salinidade a 300 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

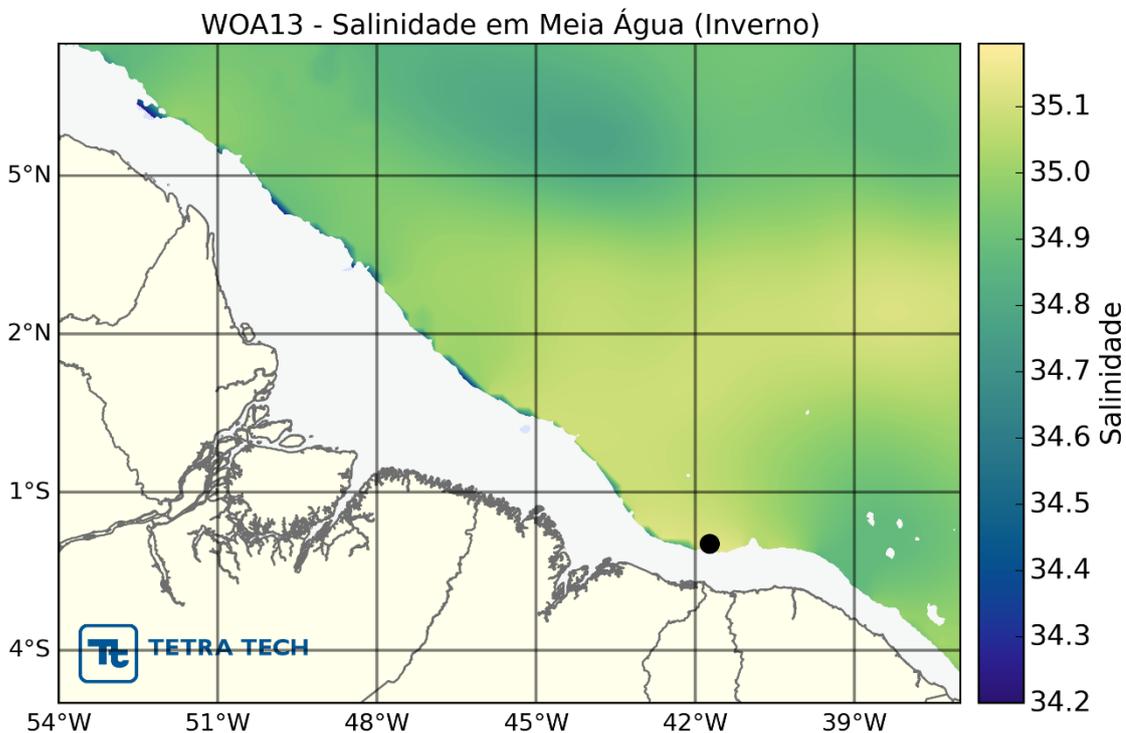


Figura 90 - Distribuição espacial média da salinidade a 300 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

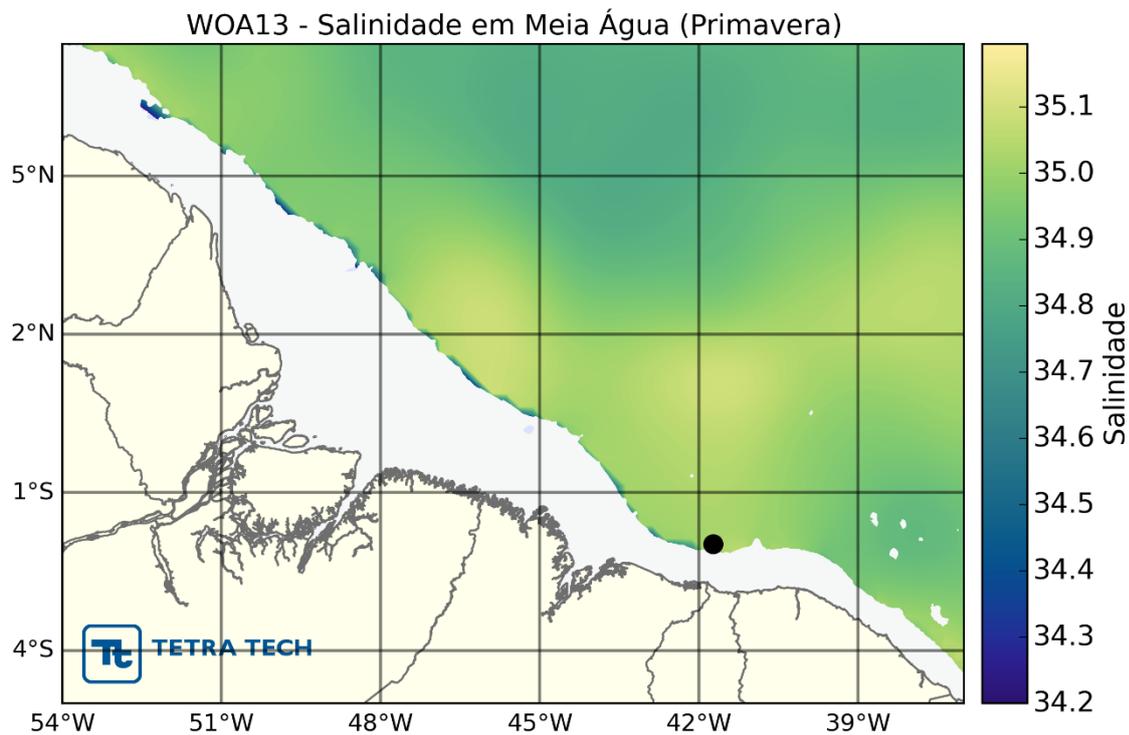


Figura 91 - Distribuição espacial média da salinidade a 300 metros para o período primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

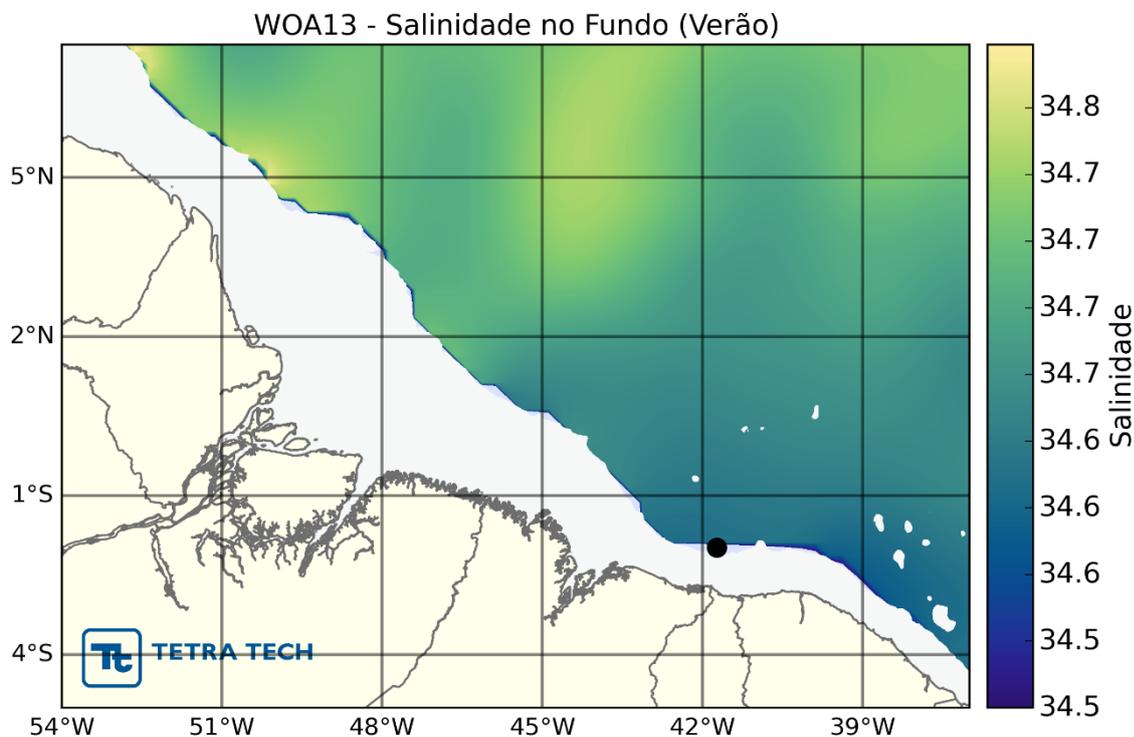


Figura 92 - Distribuição espacial média da salinidade a 1.000 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

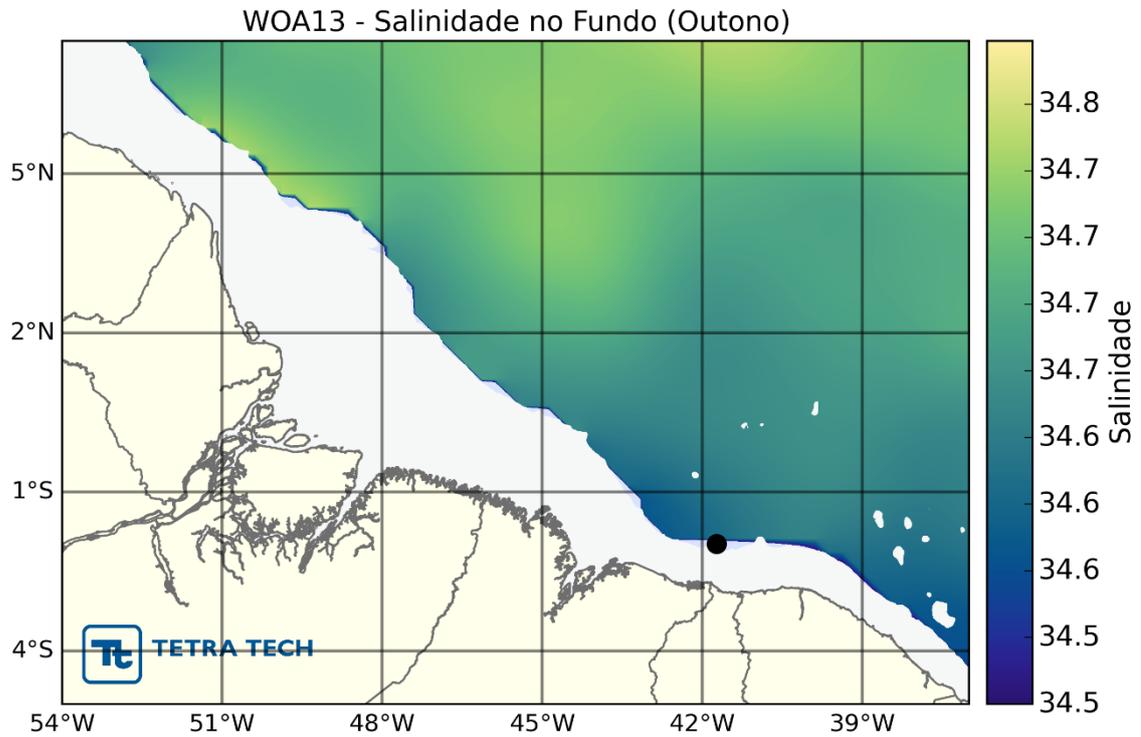


Figura 93 - Distribuição espacial média da salinidade a 1.000 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

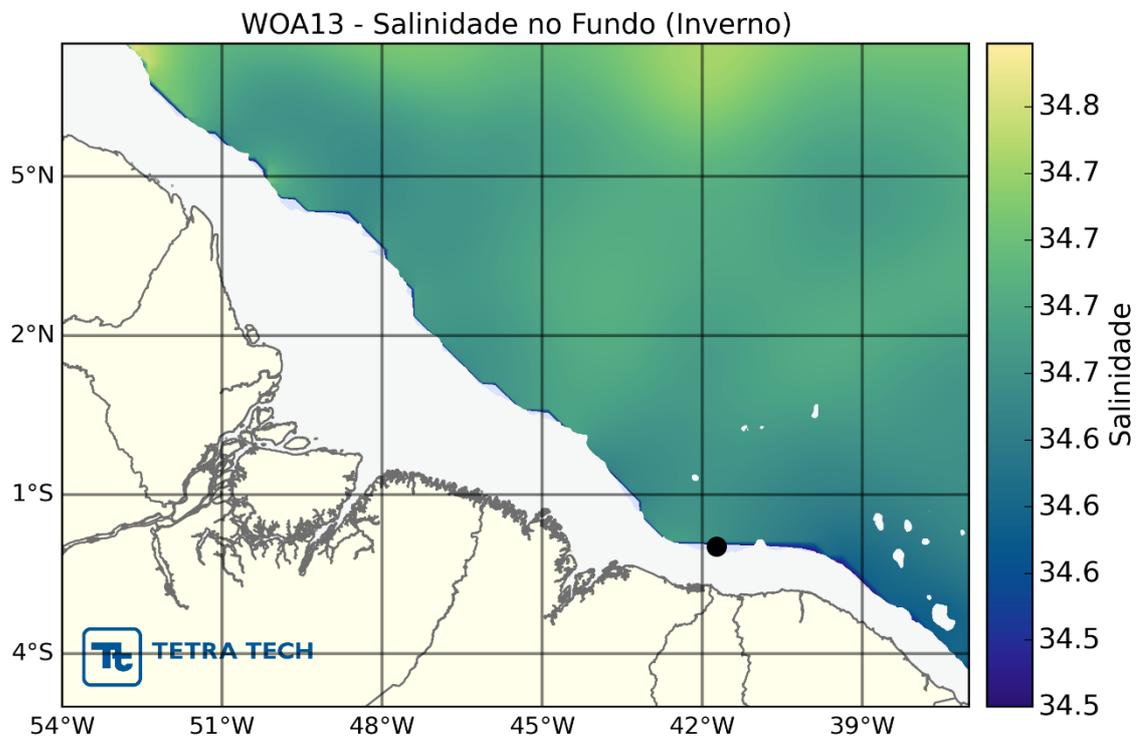


Figura 94 - Distribuição espacial média da salinidade a 1.000 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

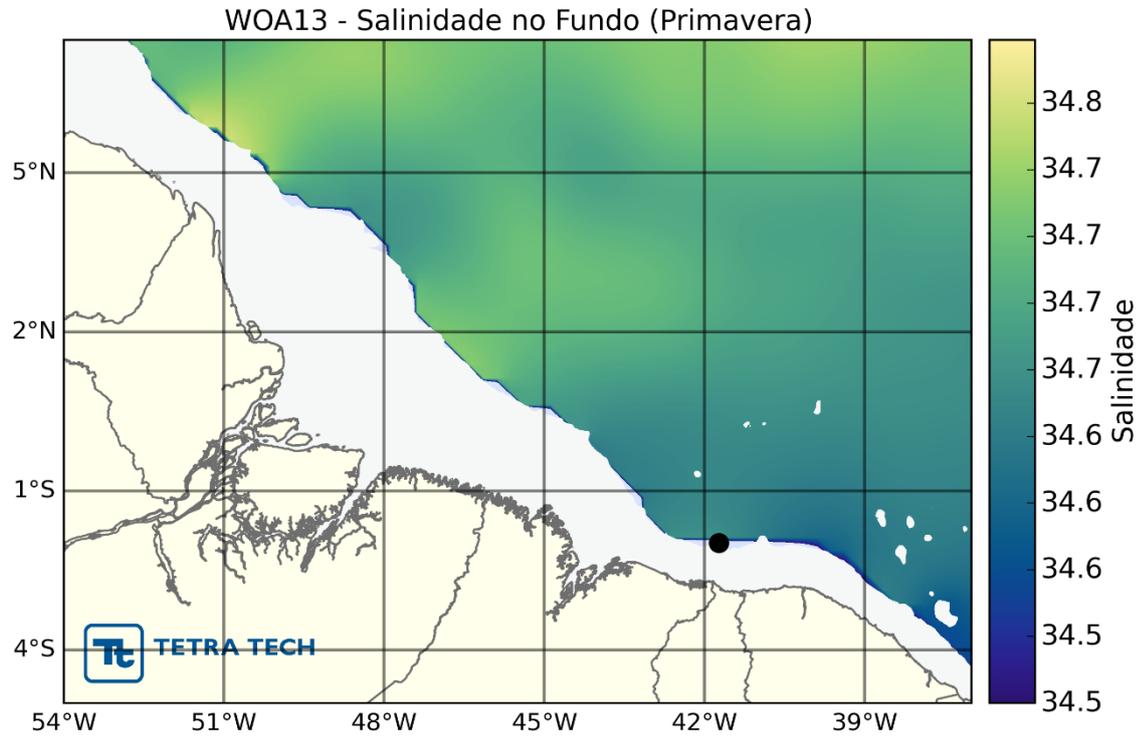


Figura 95 - Distribuição espacial média da salinidade a 1.000 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

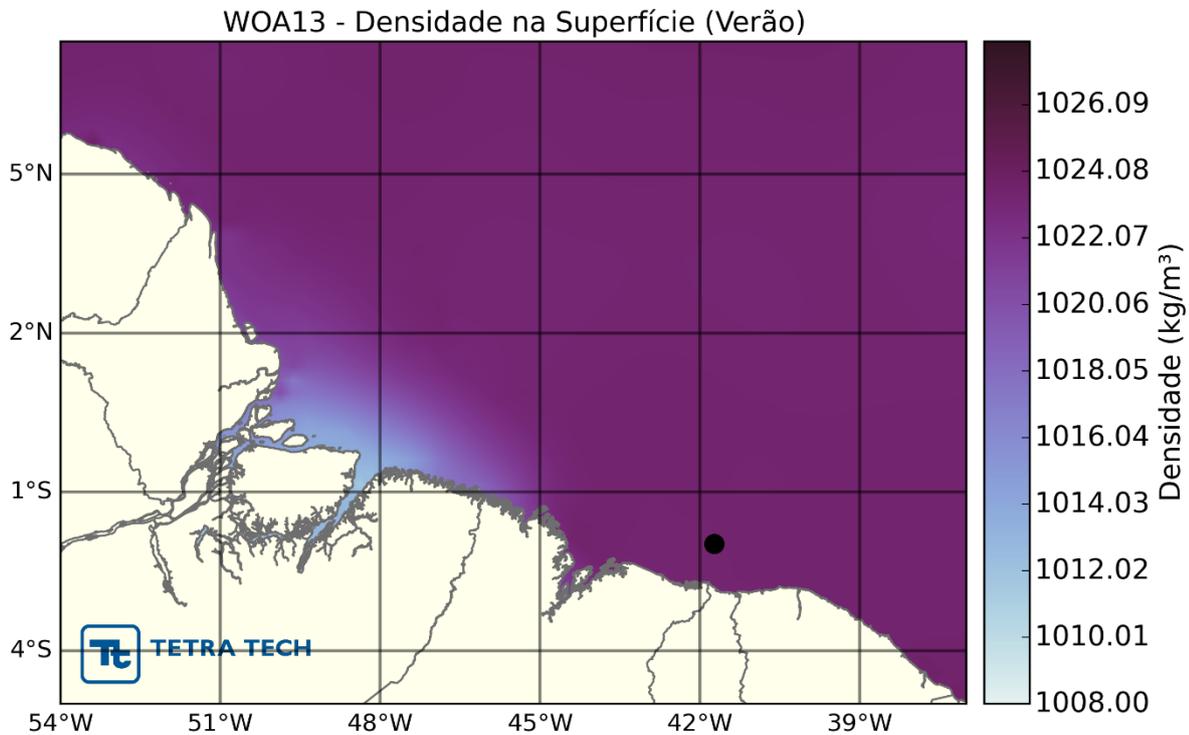


Figura 96 - Distribuição espacial média da densidade a 0 metro para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

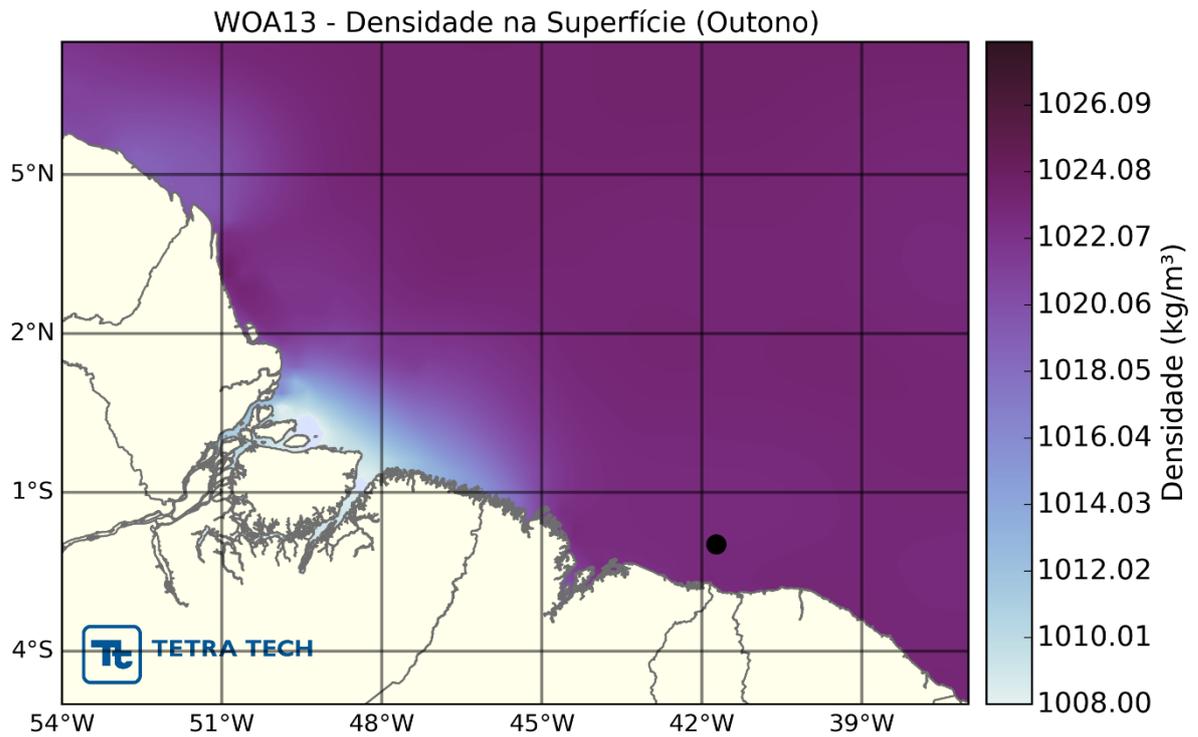


Figura 97 - Distribuição espacial média da densidade a 0 metro para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

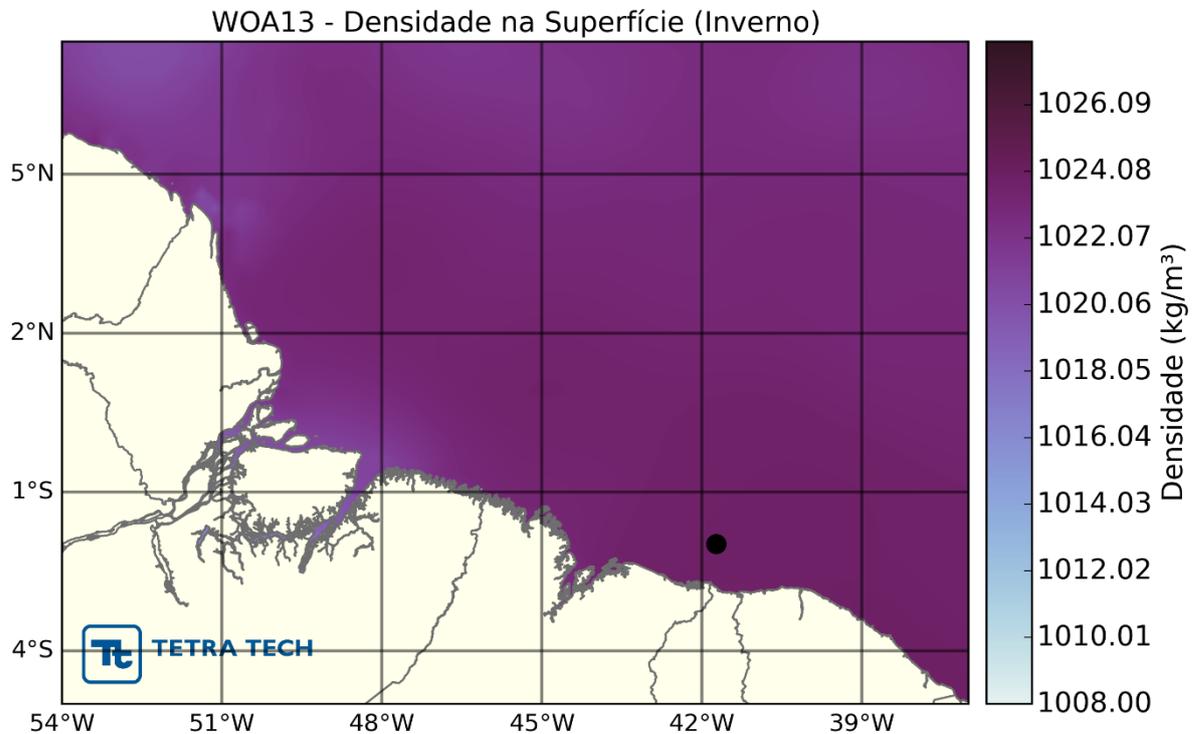


Figura 98 - Distribuição espacial média da densidade a 0 metro para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

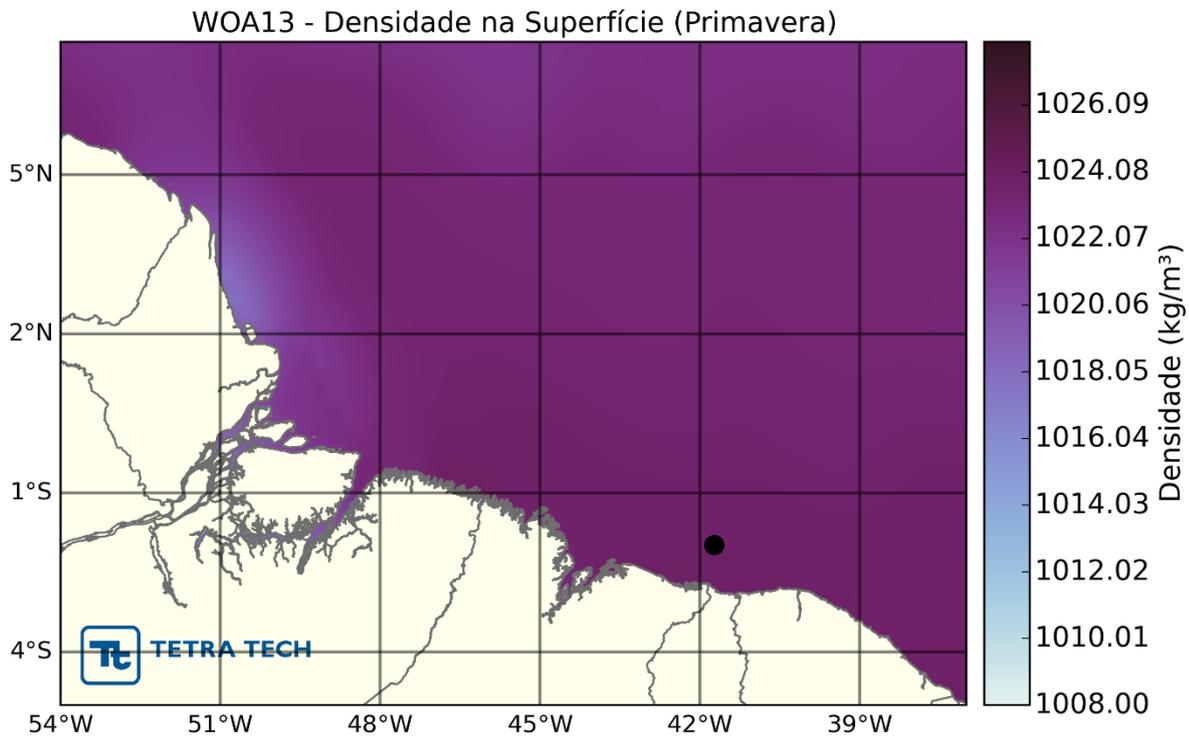


Figura 99 - Distribuição espacial média da densidade a 0 metro para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

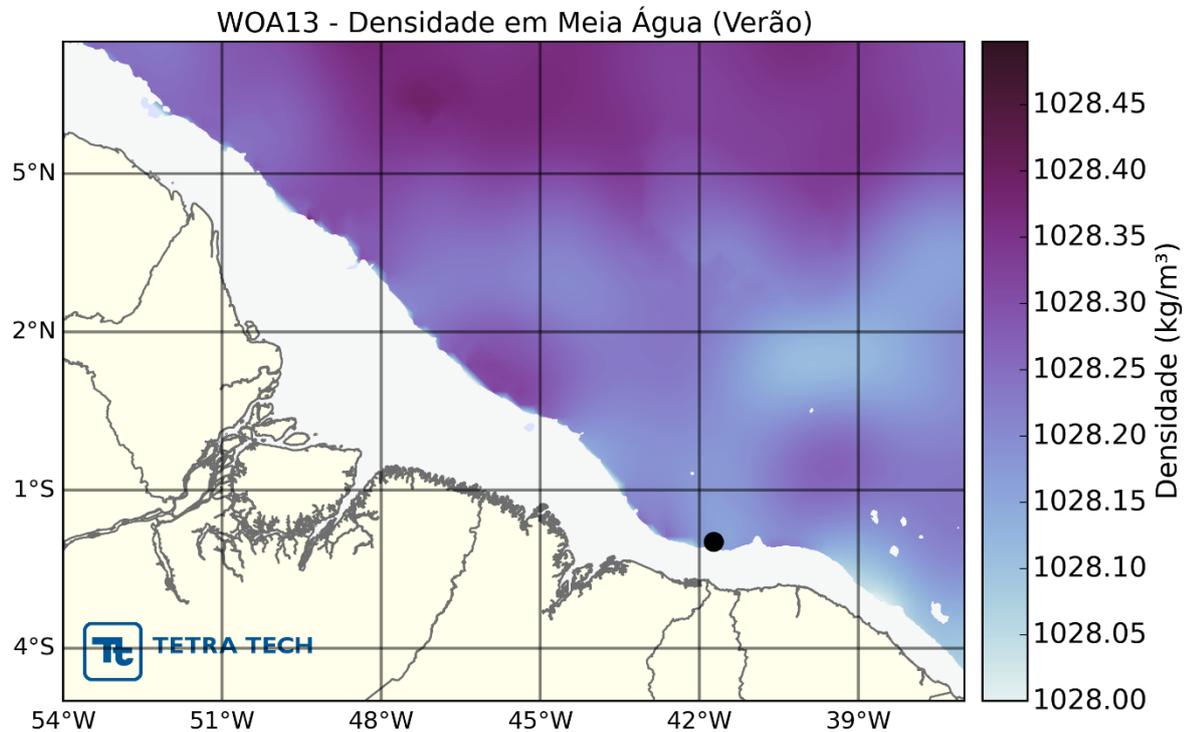


Figura 100 - Distribuição espacial média da densidade a 300 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

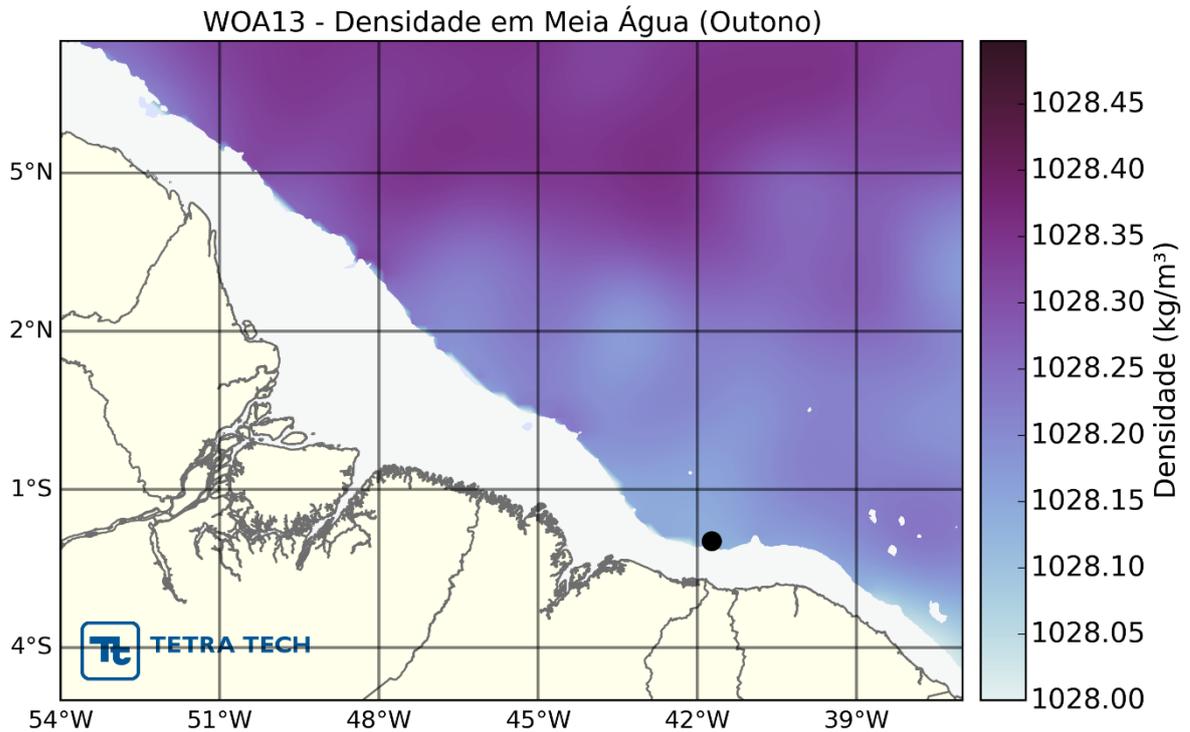


Figura 101 - Distribuição espacial média da densidade a 300 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

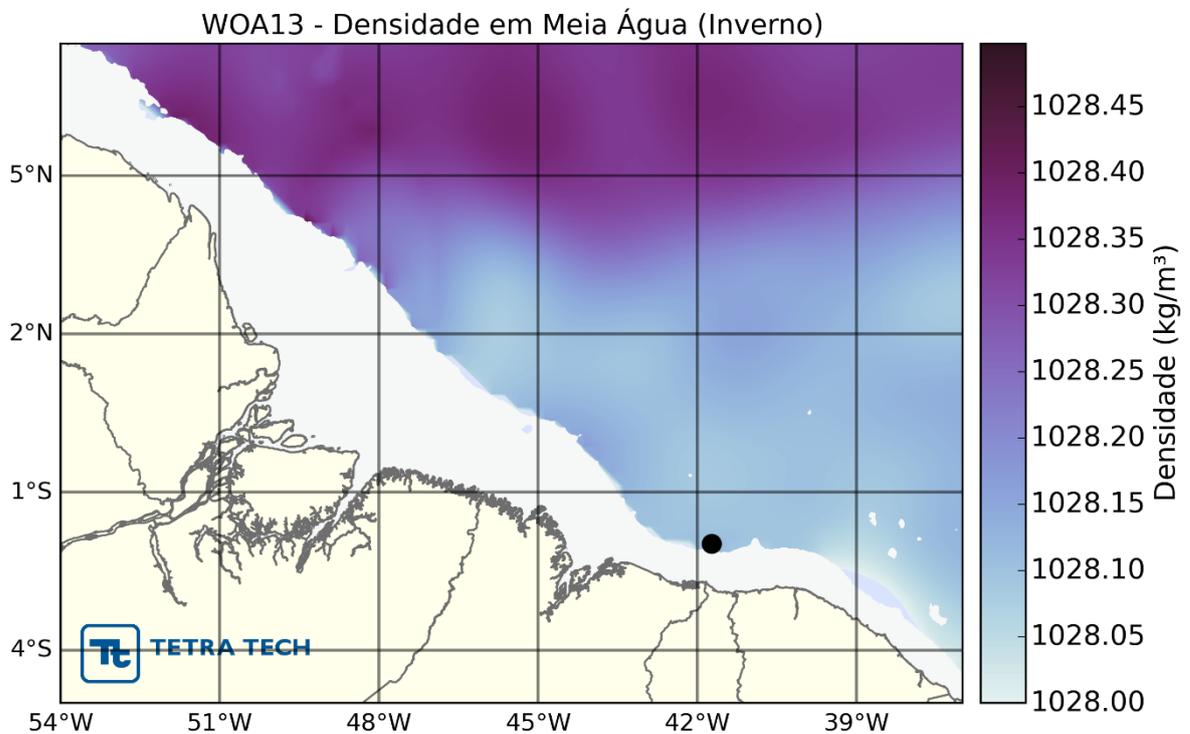


Figura 102 - Distribuição espacial média da densidade a 300 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

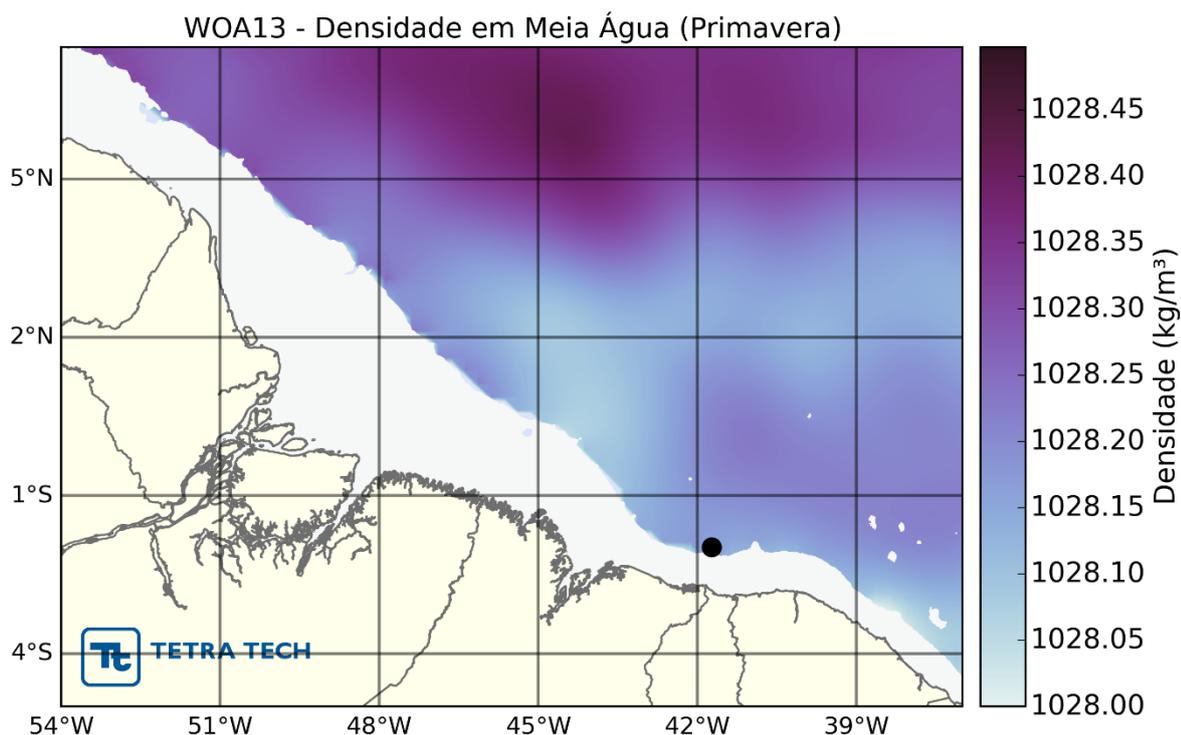


Figura 103 - Distribuição espacial média da densidade a 300 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

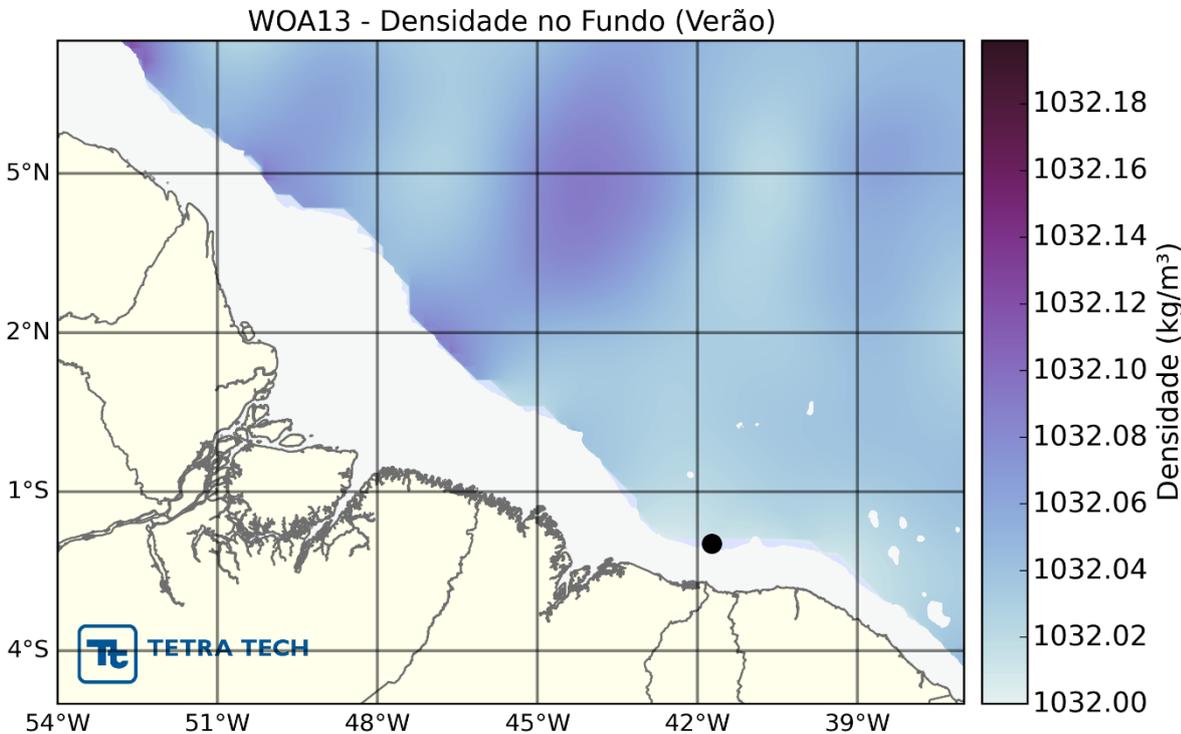


Figura 104 - Distribuição espacial média da densidade a 1.000 metros para o período de verão. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

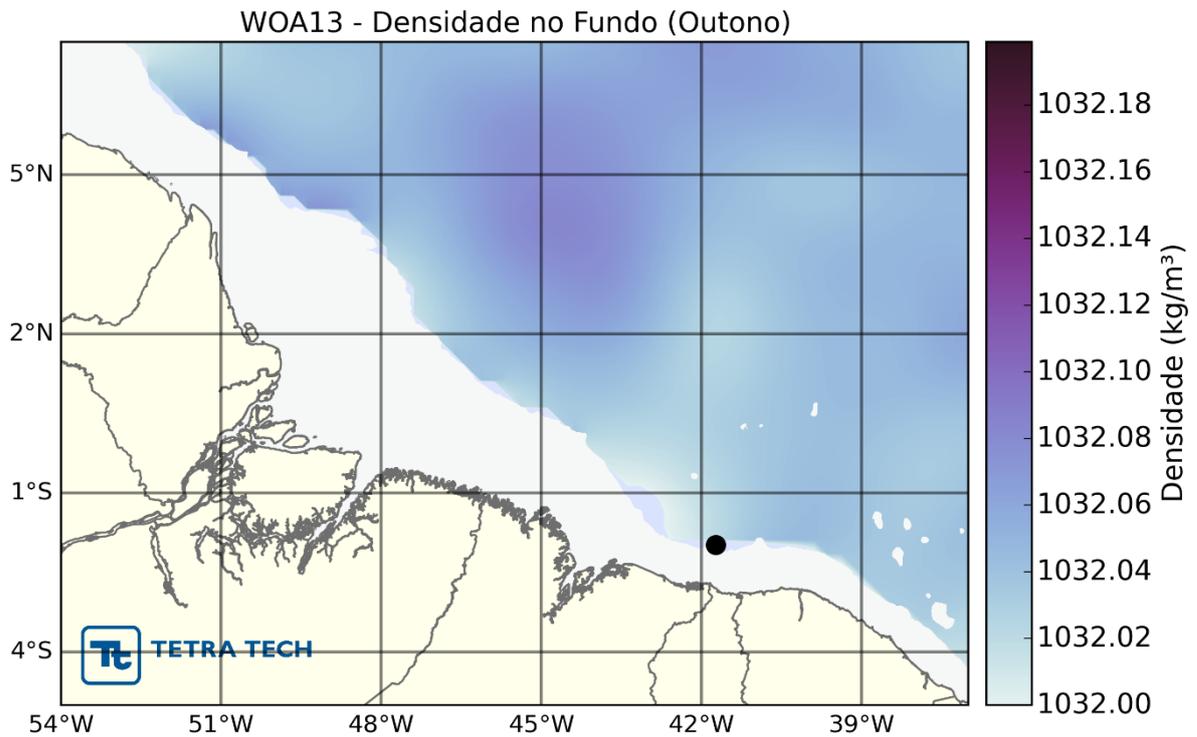


Figura 105 - Distribuição espacial média da densidade a 1.000 metros para o período de outono. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

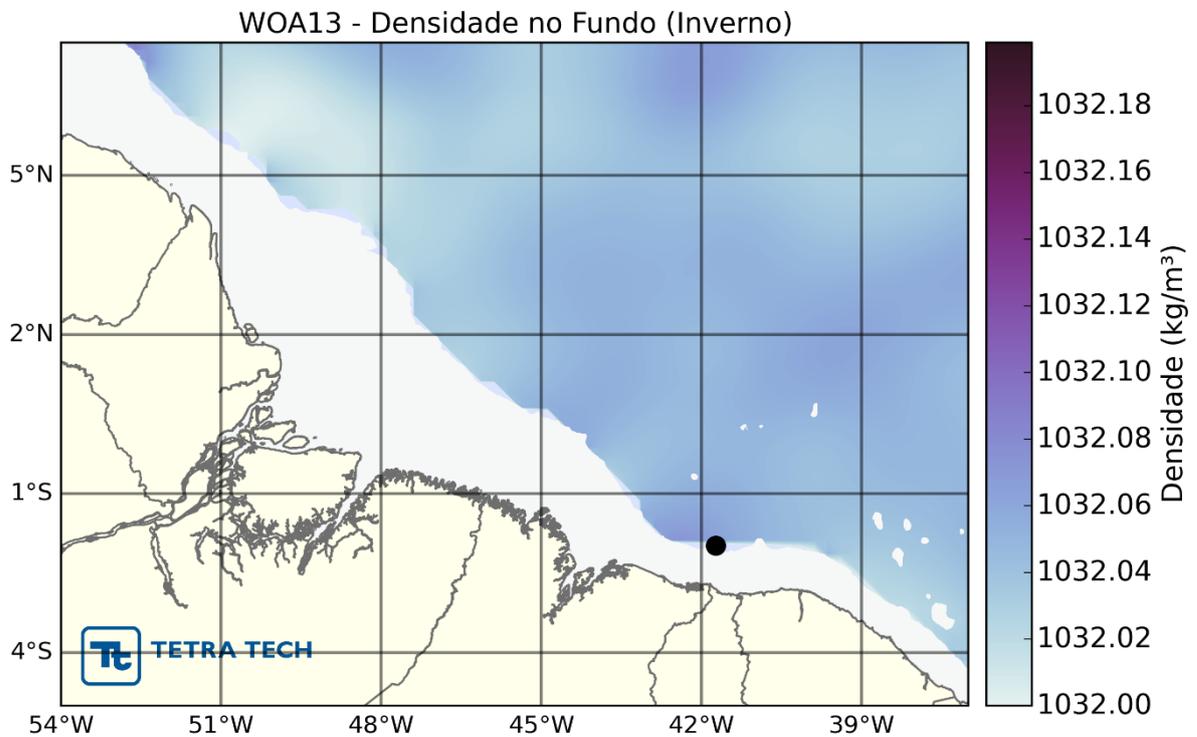


Figura 106 - Distribuição espacial média da densidade a 1.000 metros para o período de inverno. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

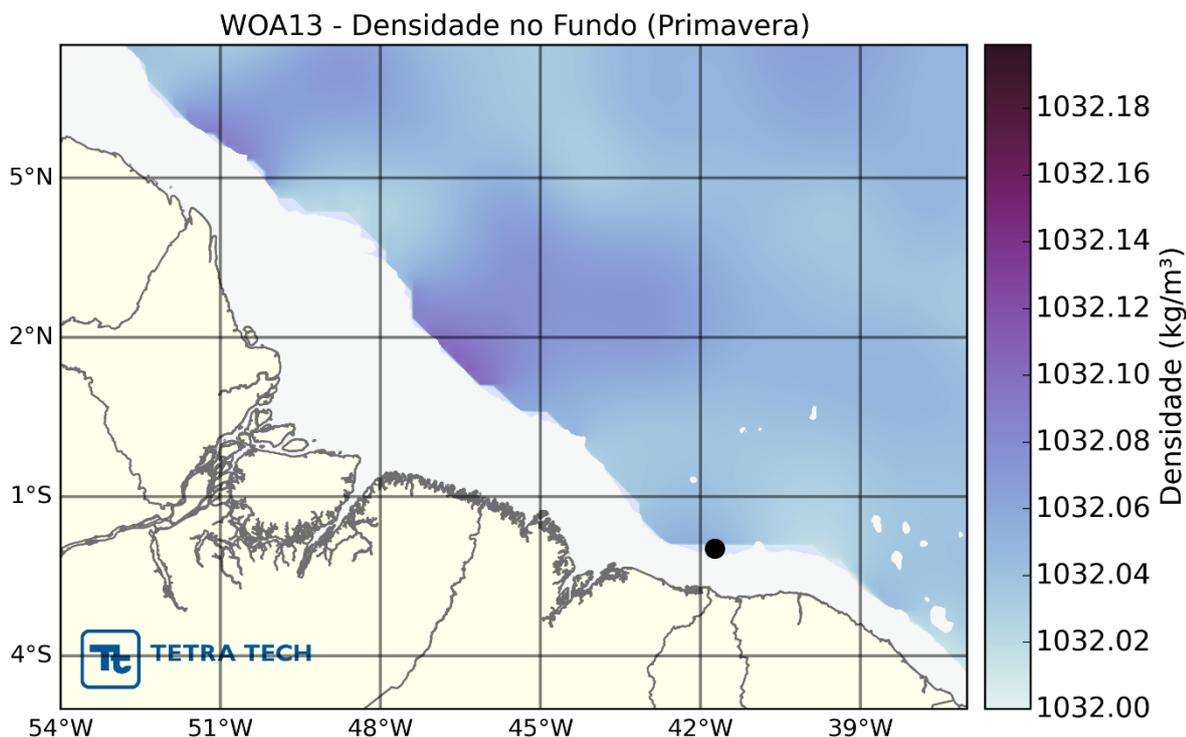


Figura 107 - Distribuição espacial média da densidade a 1.000 metros para o período de primavera. O bloco BAR-M-346 é representado pelo ponto preto.

3.2.1. Temperatura e Salinidade - Ano da Modelagem de Óleo (2014)

Para a avaliação da Temperatura Superficial do Mar (TSM), foram utilizados dados provenientes do projeto OISST¹⁸, da NOAA, com resolução espacial de 0,25 graus e temporal de 1 dia. Os valores de TSM são obtidos com base em observações de diferentes plataformas, tais como satélites, navios e boias oceanográficas. Os dados orbitais inseridos no OISST são provenientes dos sensores *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) e *Advanced Microwave Scanning Radiometer on the Earth Observing System* (AMSR-E), sendo que os dados provenientes do AVHRR abrangem o período de 1981 até a atualidade e os dados do AMSR-E estão disponíveis no período de 2002 a 2011.

Os dados orbitais e observacionais são interpolados para uma grade global regular através de técnicas de interpolação otimizada, com o objetivo de corrigir regiões onde não há dados mensurados *in situ* ou regiões afetadas pela cobertura de nuvens, que não permitem a medição direta pelo satélite.

¹⁸Optimum Interpolation Sea Surface Temperature <<https://www.ncdc.noaa.gov/oisst>>. Último acesso em 14/09/2015.

Além dos dados observacionais, são incluídas também anomalias da TSM calculadas num período de 30 anos. O objetivo da inclusão destes dados é corrigir erros gerados por anos anômalos (*El Niños e La Niñas*), onde os satélites são incapazes de garantir bons resultados. As metodologias de incorporação de dados e estatísticas utilizadas são encontradas em Reynolds *et al.* (2007).

A partir dos campos superficiais de temperatura do ano de 2014, pode-se observar que, nos períodos de verão (Figura 108) e outono (Figura 109) do Hemisfério Sul, as temperaturas foram mais elevadas. Esta variação intraanual das temperaturas na superfície do mar está associadas diretamente com o regime de precipitação na região, que por sua vez varia em função do deslocamento da ITCZ. Esta variação ocorre de tal forma que no Outono e Inverno astronômico do Hemisfério Sul, onde são registrados os período menos chuvosos, também são registradas as maiores temperaturas em superfície (Figura 110 e Figura 111).

A caracterização da salinidade superficial do mar (SSM) no ano escolhido para a modelagem de deriva de óleo foi realizada através dos dados obtidos pelo satélite SMOS¹⁹ (*Soil Moisture Ocean Salinity*), da agência espacial europeia (*European Spatial Agency - ESA*), distribuídos pelo *Barcelona Expert Center* (BEC) através do portal CP34-BEC²⁰. Os valores de salinidade são obtidos através de um radiômetro instalado no satélite, sendo em seguida processados pela ESA, verificados e distribuídos para a comunidade. Os dados apresentam resolução espacial de 0,25° e temporal diária.

Nos períodos de verão (Figura 112) e primavera (Figura 115) observa-se a uma feição de reduzida salinidade característica da pluma do Rio Amazonas, devido ao aporte de água doce, mais próxima da desembocadura do rio e da costa dos estados do Pará e Amapá. Essa feição não é observada nos períodos de outono (Figura 113) e inverno (Figura 114). Próximo ao Bloco BAR-M-346, a salinidade observada por satélite se mantém sem elevada variação durante todo o ano.

¹⁹ Soil Moisture Ocean Salinity (SMOS) - European Spatial Agency (ESA). Disponível em <<https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/smos>>. Último acesso em 15/09/2015.

²⁰ SMOS Barcelona Expert Centre - CP34-BEC. Disponível em <<http://cp34-bec.cmima.csic.es/>>. Último acesso em 15/09/2015.

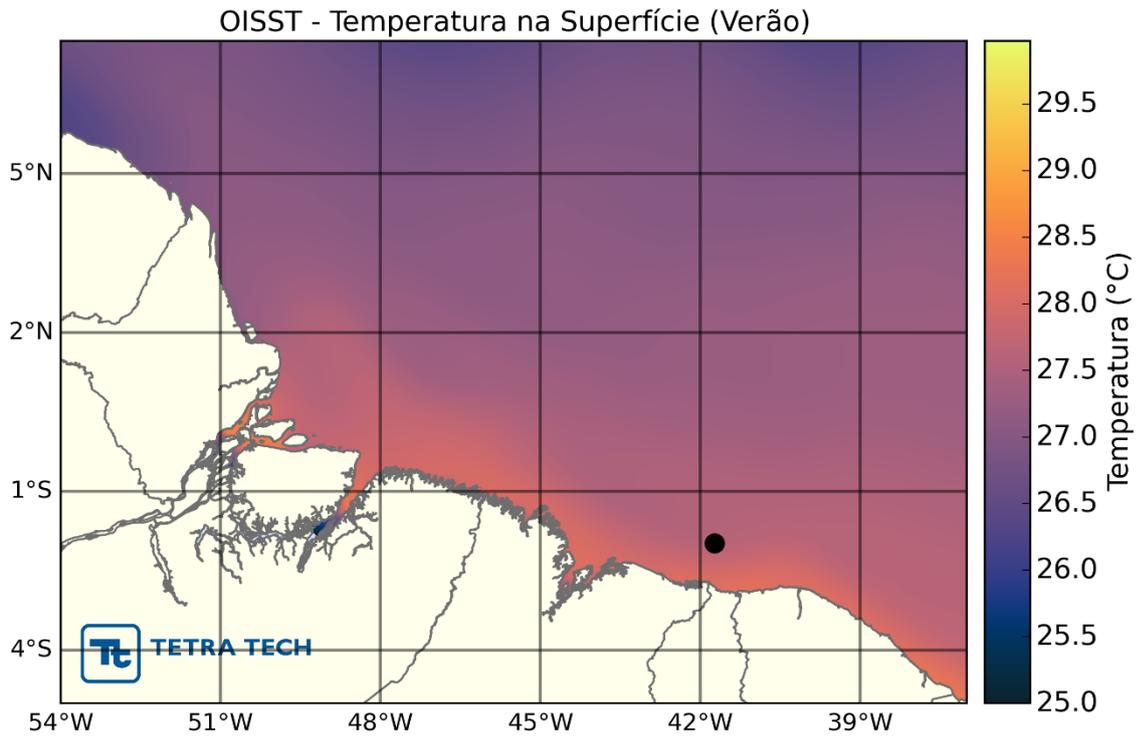


Figura 108 - Distribuição espacial média da temperatura da superfície do mar para o verão de 2014.

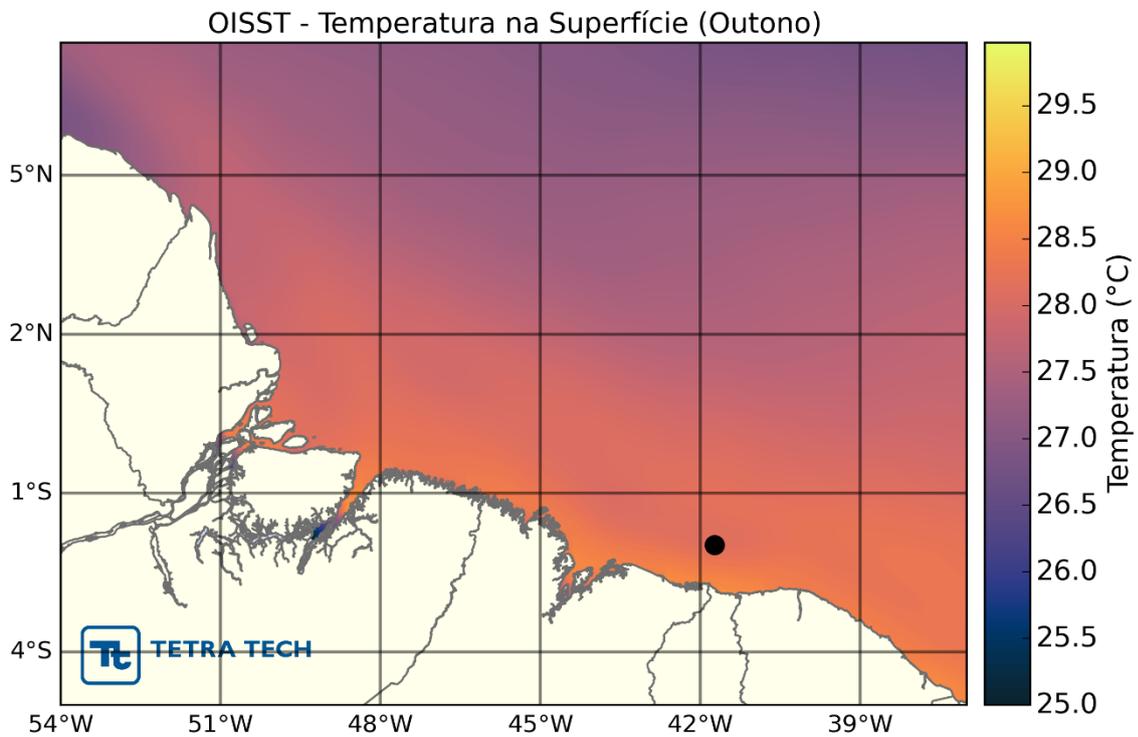


Figura 109 - Distribuição espacial média da temperatura da superfície do mar para o outono de 2014.

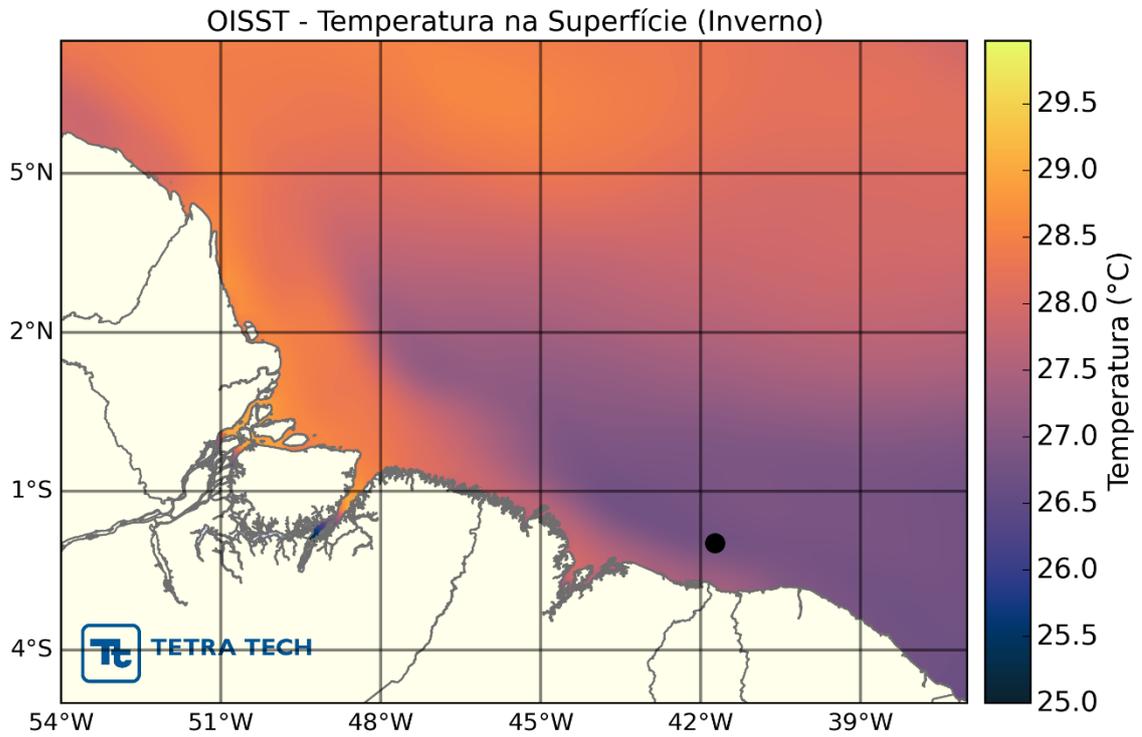


Figura 110 - Distribuição espacial média da temperatura da superfície do mar para o inverno de 2014.

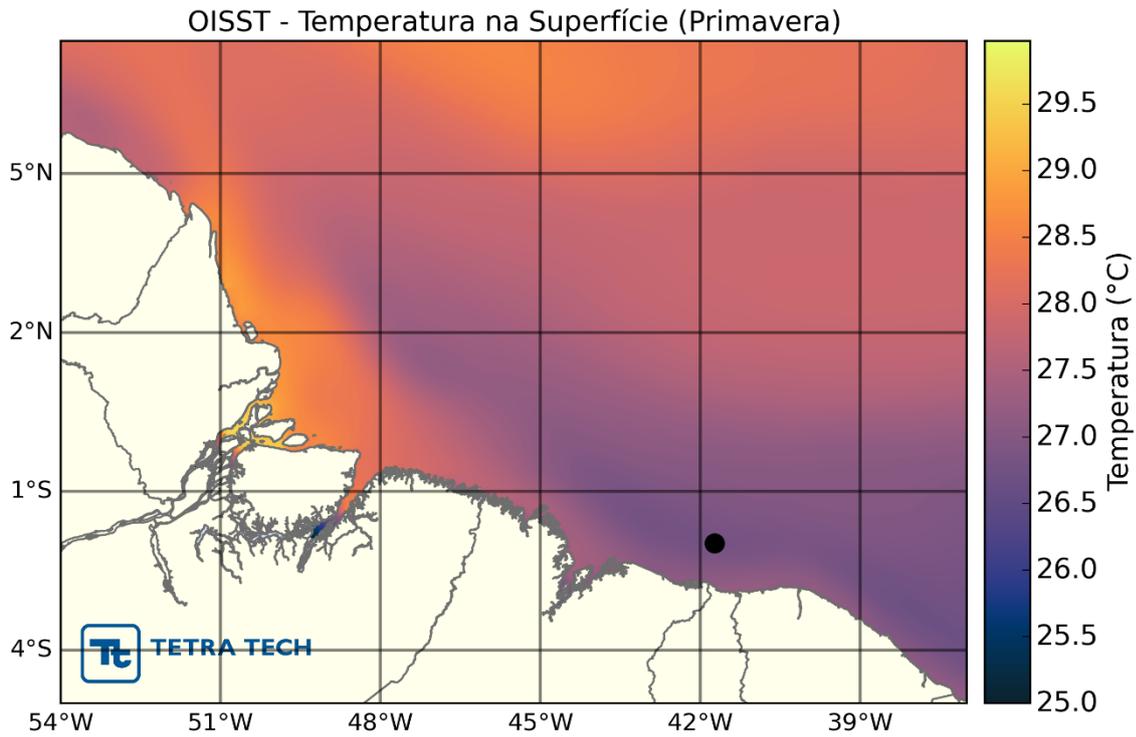


Figura 111 - Distribuição espacial média da temperatura da superfície do mar para a primavera de 2014.

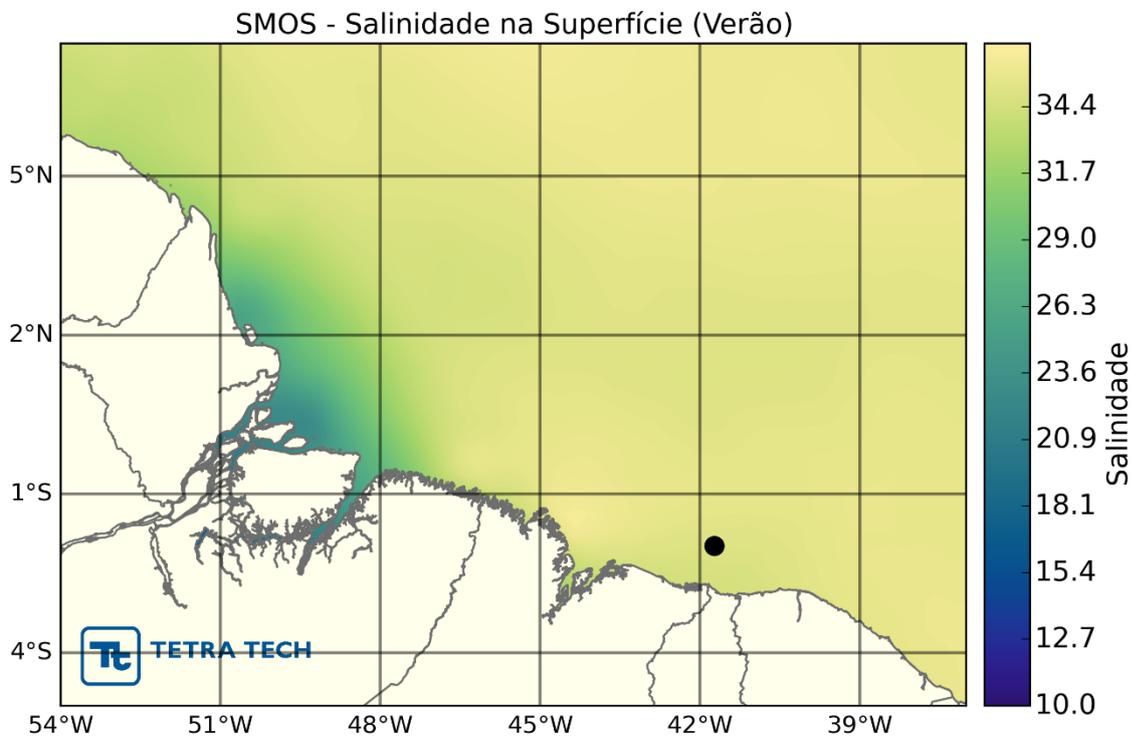


Figura 112 - Distribuição espacial média da salinidade da superfície do mar para o verão de 2014.

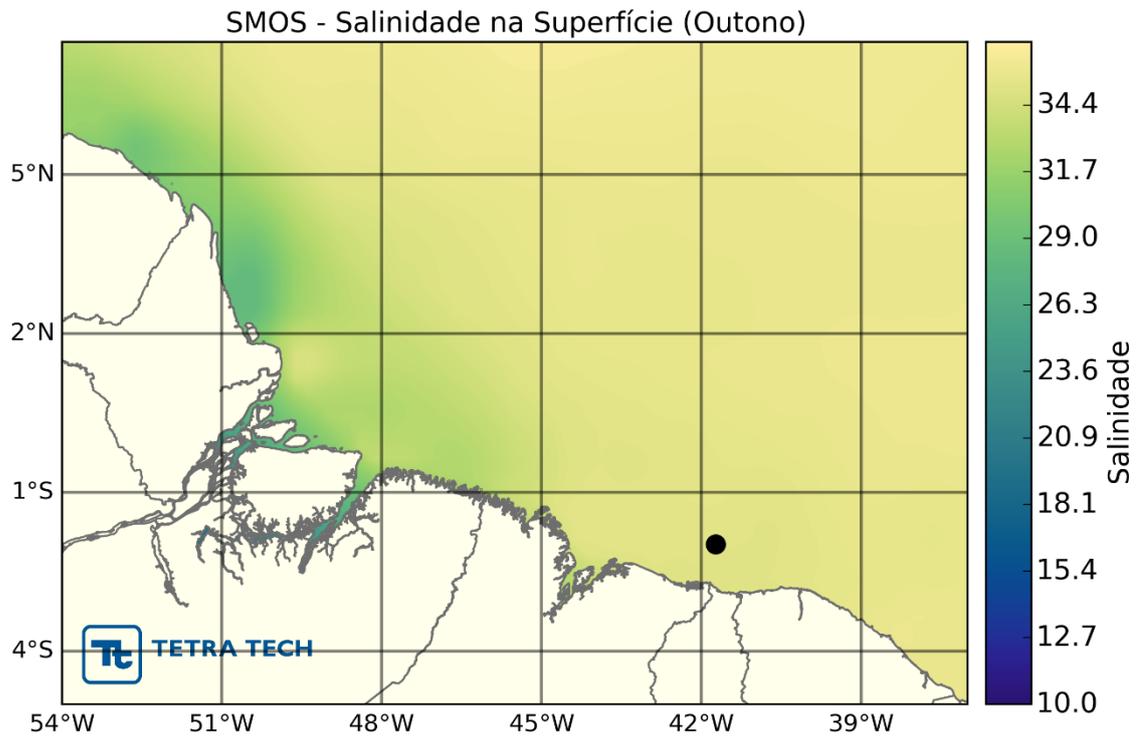


Figura 113 - Distribuição espacial média da salinidade da superfície do mar para o outono de 2014.

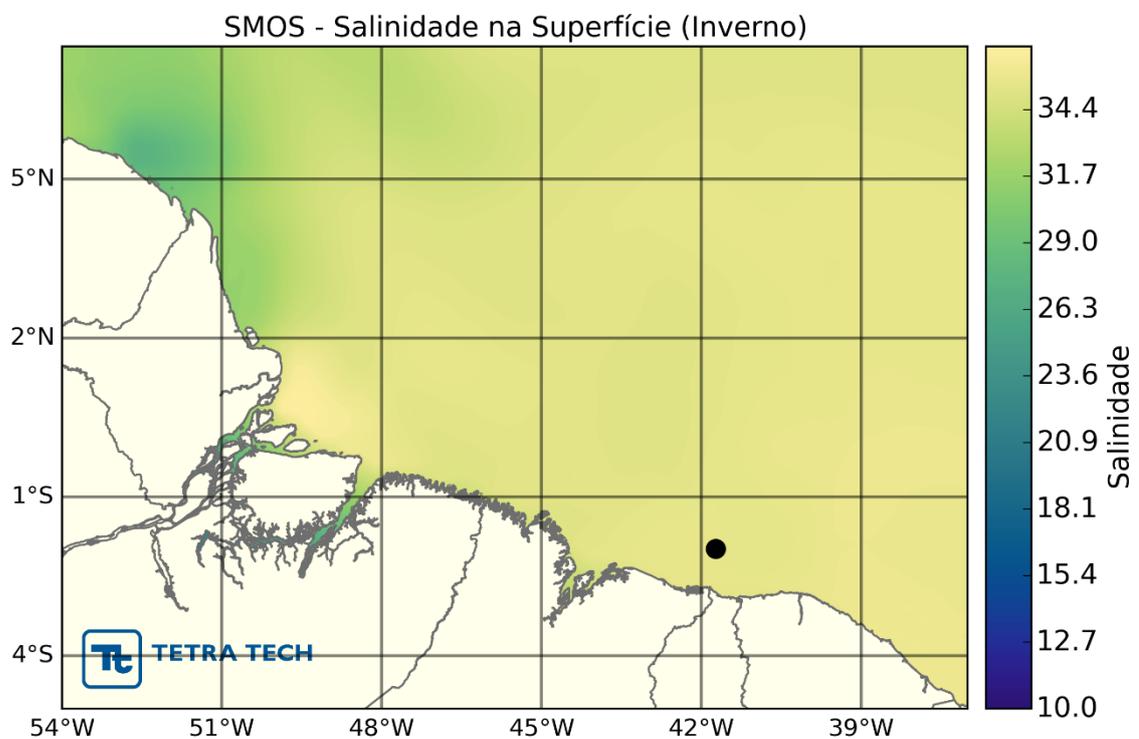


Figura 114 - Distribuição espacial média da salinidade da superfície do mar para o inverno de 2014.

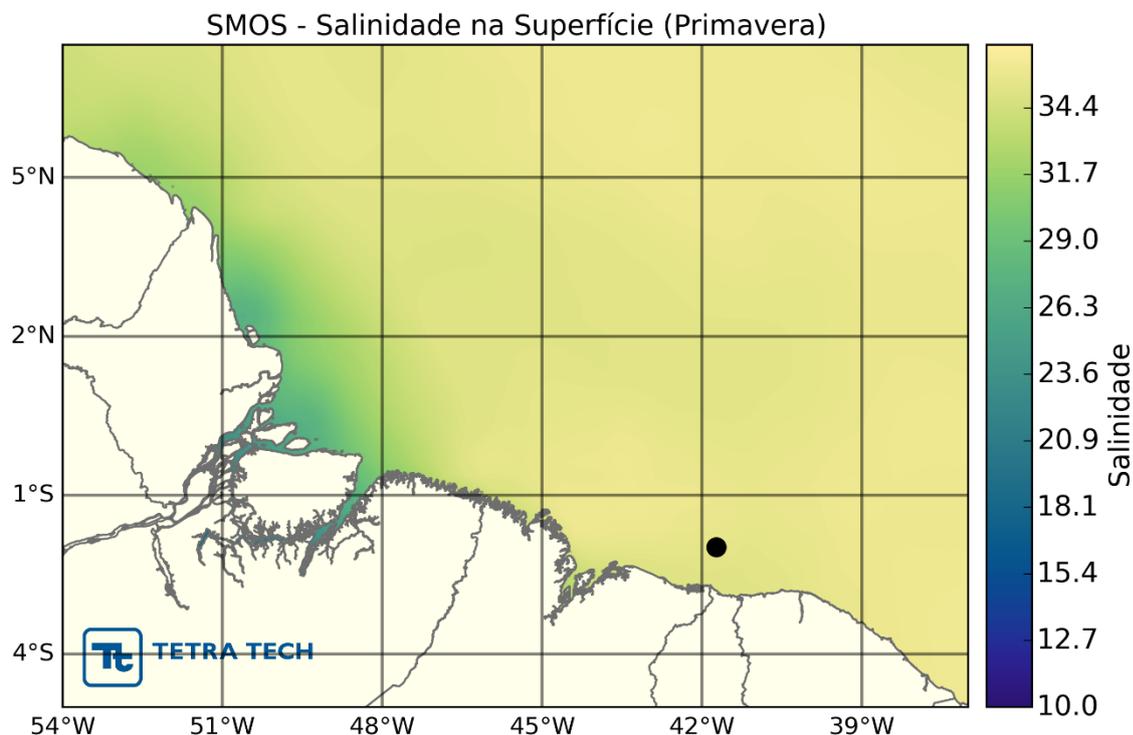


Figura 115 - Distribuição espacial média da salinidade da superfície do mar para a primavera de 2014.

Da Figura 116 até a Figura 119, são apresentadas seções verticais de temperatura e salinidade médias para cada estação do ano. As seções verticais foram produzidas com os dados compilados do WOA13 e se estendem a até 400 km da costa seguindo a longitude de 41,73°W, conforme ilustrado na Figura 65.

A análise das seções indica reduzida variabilidade térmica tanto nas camadas superficiais quanto nas profundas. A pequena variabilidade em superfície está associada à constância da radiação solar em latitudes equatoriais, que garante pouca variabilidade sazonal aos índices termohalinos oceânicos. Observa-se o núcleo da Corrente Norte do Brasil marcada pela isolinha de salinidade de 36,5 em profundidades de aproximadamente 100 m em todas as estações do ano, exceto para a estação de inverno.

A reduzida variabilidade nas seções de temperatura e salinidade refletem o padrão observado no campo vertical de densidade (Figura 120 a Figura 123). Observam-se os núcleos da AT, ACAS, AIA e APAN em torno de 100 m, 250 m, 1300 m e 1500 m, respectivamente, em todas as estações do ano.

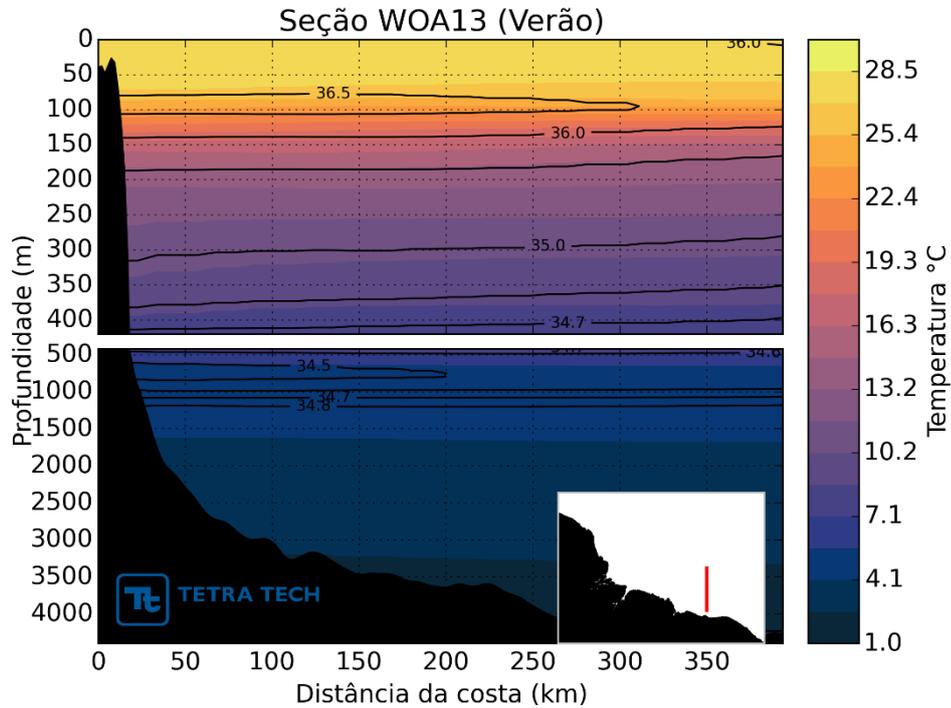


Figura 116 - Seção vertical de temperatura (°C) e Salinidade representando o período de verão.

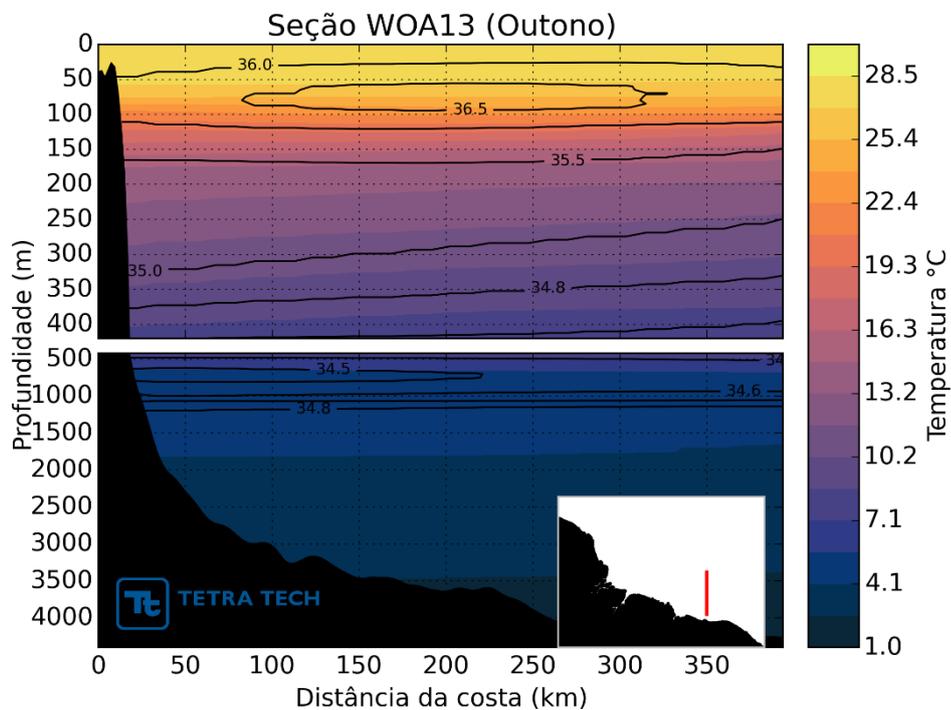


Figura 117 - Seção vertical de temperatura (°C) representando o período de outono.

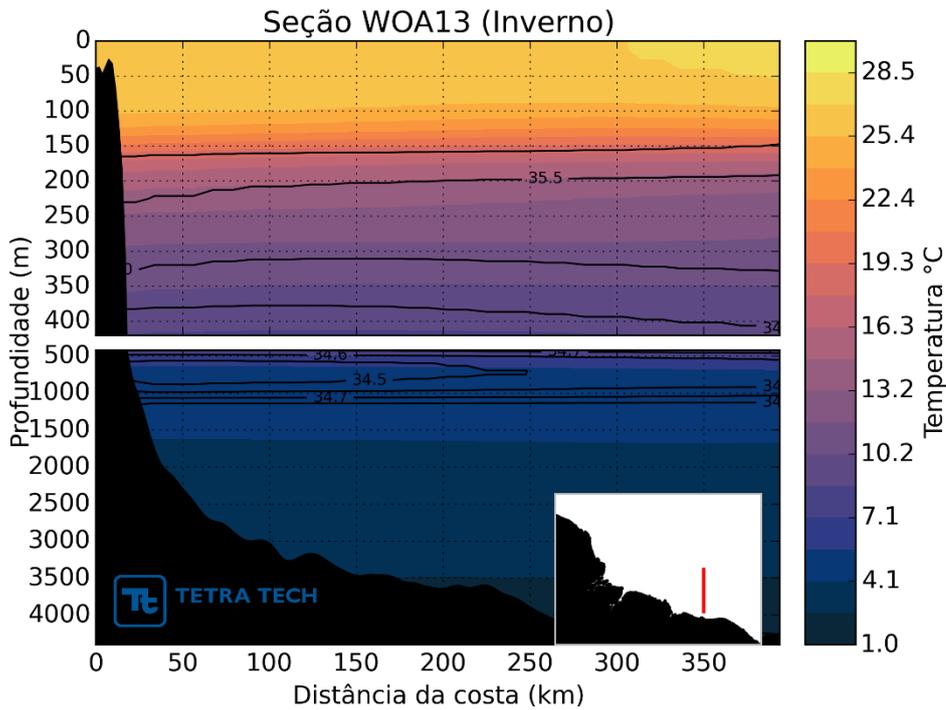


Figura 118 - Seção vertical de temperatura (°C) representando o período de inverno.

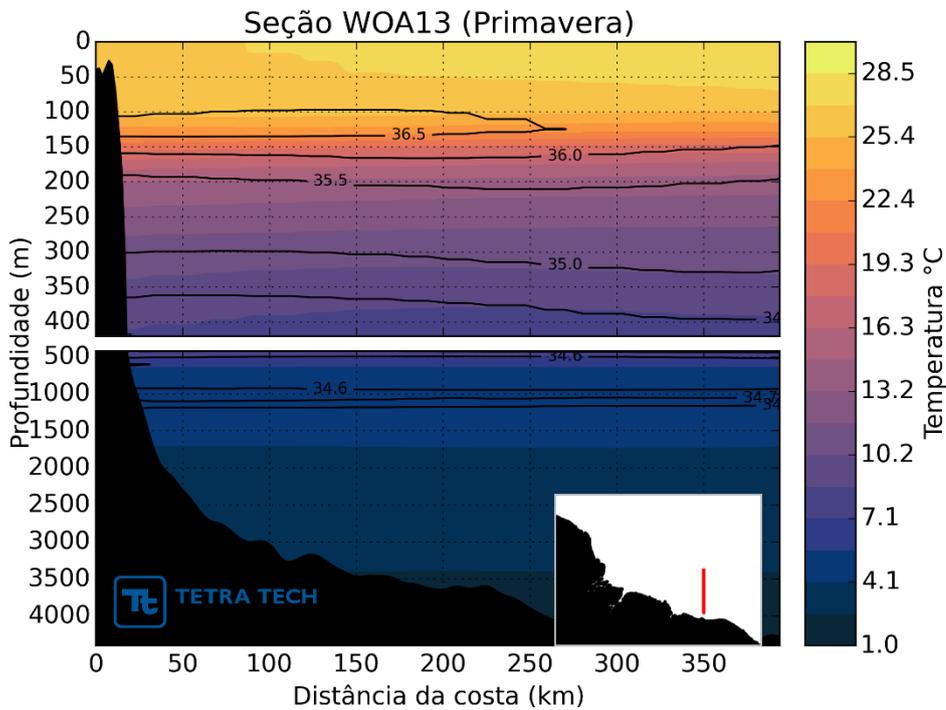


Figura 119 - Seção vertical de temperatura (°C) representando o período de primavera.

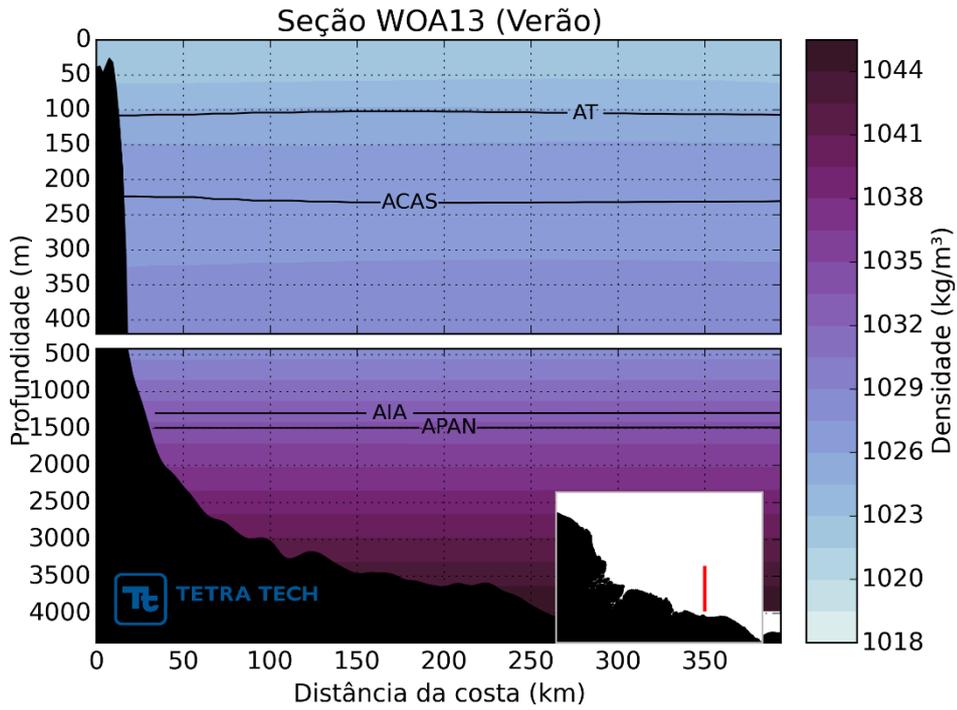


Figura 120 - Seção vertical de densidade (kg/m³) representando o período de verão.

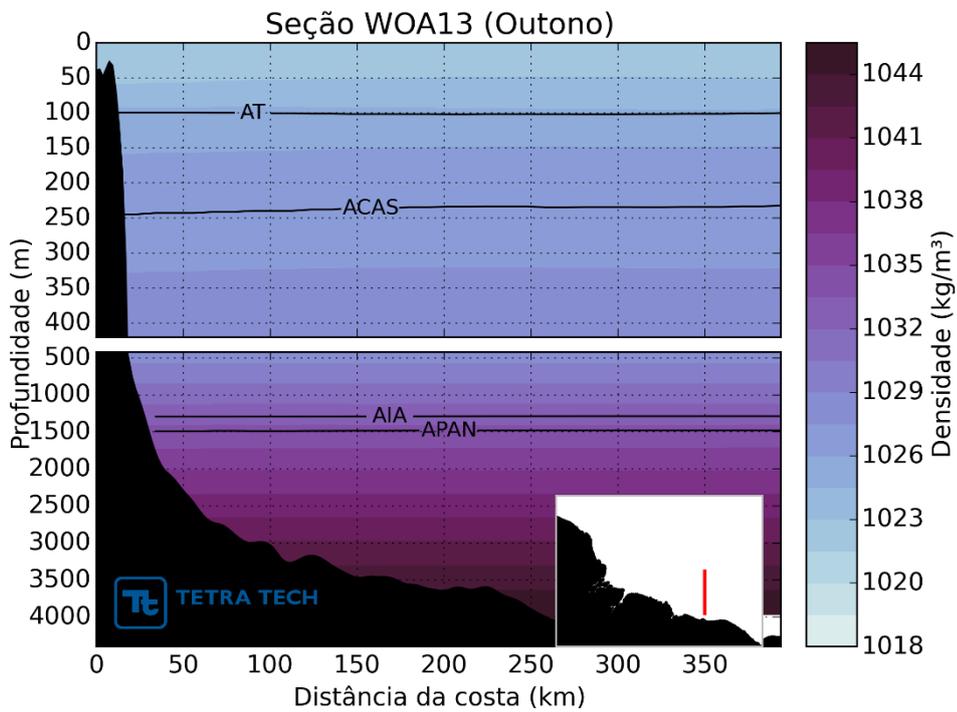


Figura 121 - Seção vertical de densidade (kg/m³) representando o período de outono.

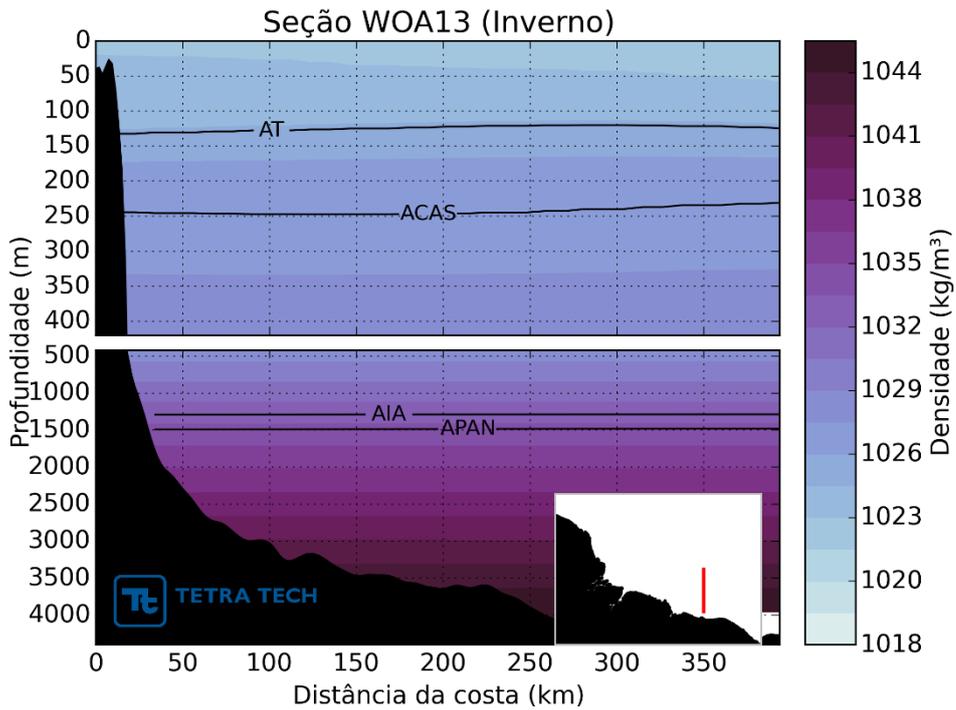


Figura 122 - Seção vertical de densidade (kg/m^3) representando o período de inverno.

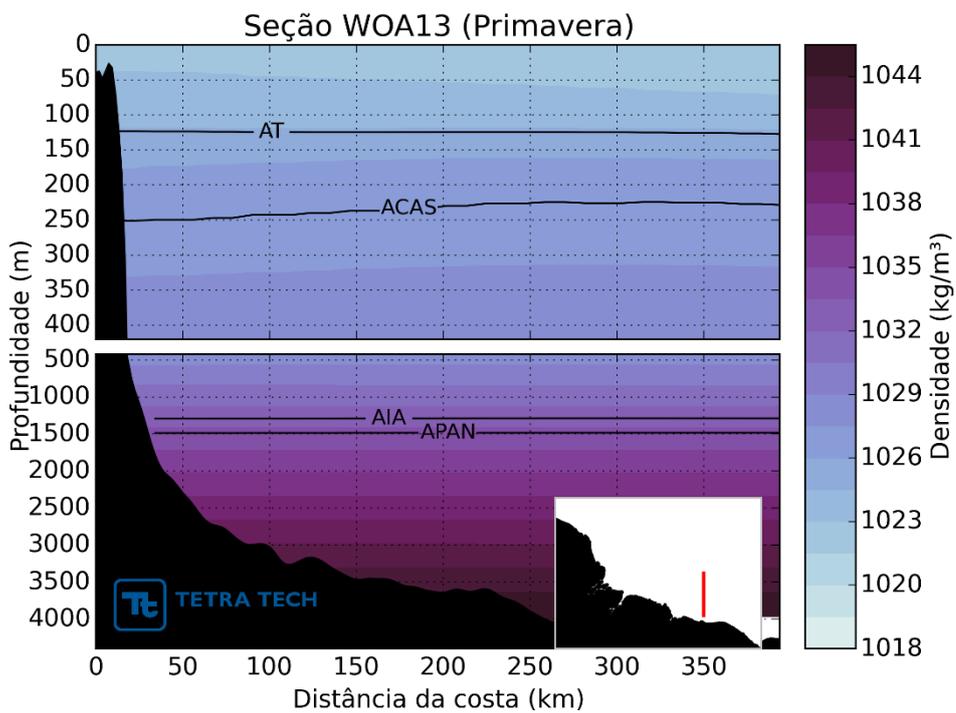


Figura 123 - Seção vertical de densidade (kg/m^3) representando o período de primavera.

Na Figura 124 são apresentados os perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade referentes ao período de verão, outono, inverno e primavera. No cálculo das

posições de início e final da termoclina, haloclina e pycnoclina, foi usada a profundidade onde a variação do parâmetro (temperatura, salinidade e densidade) torna-se menor do que 10% do valor de maior variação observado no perfil. Uma análise visual dos perfis também foi realizada para auxiliar essa avaliação.

Para as quatro estações, a temperatura da camada de mistura é de aproximadamente 28 °C. Essa camada se estende até aproximadamente 100 m de profundidade. Na primavera, entretanto, o início da termoclina ocorre mais profunda. Em todas as estações, a haloclina inicia-se por volta de 100 m, onde também é encontrado o máximo de salinidade vertical. Salinidades inferiores são observadas em profundidades menores que 100 m, relacionadas à elevada pluviosidade da região. No verão e outono a salinidade superficial é próxima de 36 e no inverno e primavera é superior a este valor. Essa variabilidade está associada à ação do ciclo sazonal do vento, dos fluxos de calor entre oceano e atmosfera, e da variabilidade no balanço entre evaporação e precipitação. Assim como a termoclina, a haloclina estende-se até aproximadamente 1500 m em todas as estações. A análise dos perfis de densidade revela uma pycnoclina iniciada entre 50 e 100 m.

A Figura 125 apresenta os Diagramas T-S obtidos do conjunto de dados do WOA13 respectivamente durante os períodos de verão, outono, inverno e primavera. Nestes, assim como observado nas seções de densidade, é destacada a presença das principais massas d'água da região. Em todas as estações é observada a presença da AT, ACAS, AIA e APAN. A forma dos diagramas é semelhante em todas as estações do ano.

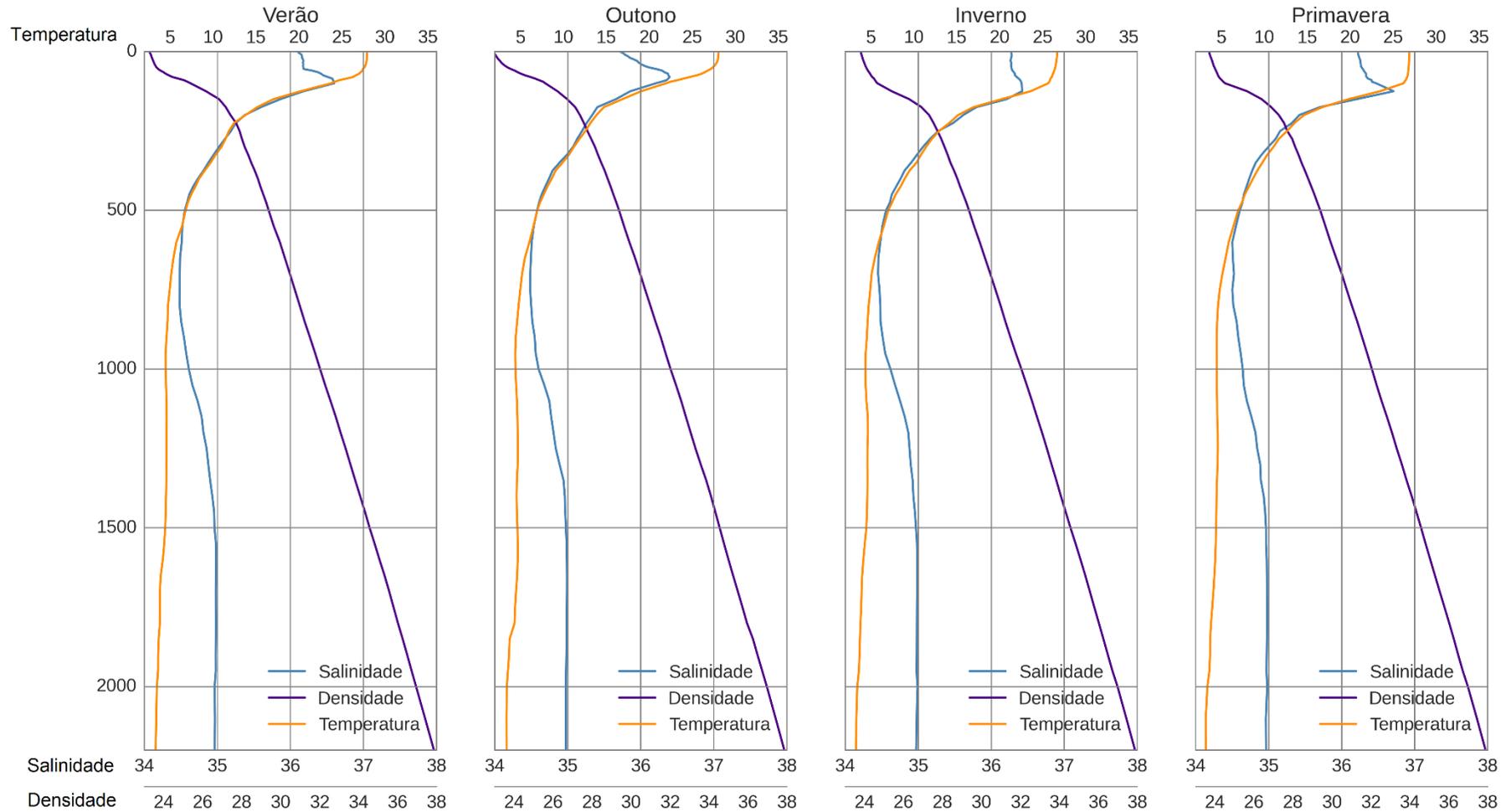


Figura 124 - Perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade representativos para a região do bloco BAR-M-346. Os valores de densidade foram reduzidos de 1000 kg/m³.

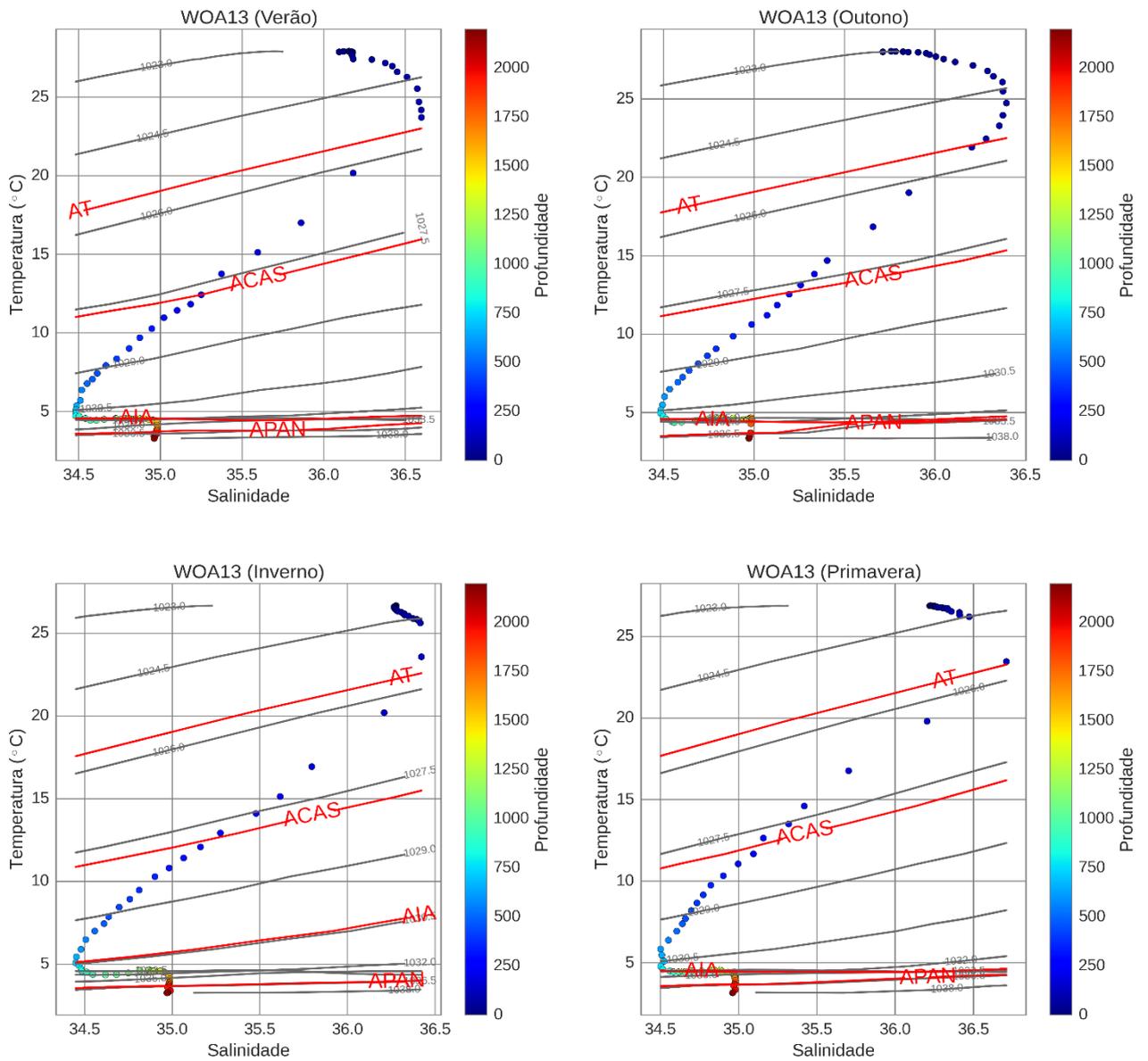


Figura 125 - Diagramas TS para a região do bloco BAR-M-346.

3.3. CORRENTES

A circulação oceânica de uma região é pautada por diversos fatores. A intensidade, variabilidade e direção predominante das correntes são resultado da combinação de processos que envolvem, por exemplo, a circulação atmosférica, estrutura termohalina, topografia de fundo, orientação de linha de costa e instabilidades da própria corrente (FRAGOSO, 2004; MATA, 1996).

O padrão de circulação na região Norte do Brasil apresenta elevada complexidade. Na região oceânica e do talude continental há predominância do sinal da Corrente Norte do Brasil e da Corrente de Contorno Oeste Profunda. Existe também influência significativa dos processos de mesoescala, que refletem na variabilidade nos padrões mais energéticos presentes na área. Em relação aos processos com periodicidade ainda menor, observa-se que a amplificação da maré sobre a plataforma continental amazônica é elevada, em co-oscilação e ressonância com as bacias menores.

A circulação de baixa frequência (larga escala) predominante na porção oeste do Oceano Atlântico Tropical é formada pelas correntes relacionadas a seguir. Um esquema ilustrativo destas correntes pode ser visualizado na Figura 126 (adaptada de DENGLER *et al.*, 2004).

- Corrente Sul Equatorial (CSE): fluxo largo (latitude média de 10°S), para oeste, com velocidades entre 0,1 e 0,3 m/s. Bifurca-se próximo à costa do Brasil em diferentes profundidades e contribui para a formação da Corrente do Brasil na direção sul, e da Corrente Norte do Brasil na direção norte;
- Corrente Norte do Brasil (CNB): formada pela sobreposição do fluxo da CSE com o fluxo da Subcorrente Norte do Brasil. Caracteriza-se por ser um fluxo intenso que leva ao Hemisfério Norte cerca de 75% da água transportada pela Corrente Sul Equatorial (STRAMMA *et. al.*, 1990; STRAMMA & ENGLAND, 1999);
- Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE): fluxo para leste, entre 3°N e 10°N;
- Subcorrente Equatorial (SCE): fluxo subsuperficial para leste com núcleo localizado em cerca de 100 m de profundidade e velocidades máximas excedendo 1,2 m/s.

- Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCOP): ocupa regiões profundas ao longo do contorno oeste. Responsável por transportar Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) para o Hemisfério Sul.

A Corrente Sul Equatorial (CSE) bifurca-se na costa brasileira em torno da latitude de 10,5°S e origina, seguindo para norte, a Corrente Norte do Brasil (CNB). A porção sul da bifurcação forma a Corrente do Brasil (CB), que segue na direção sul sobre o talude continental. Apenas uma pequena parte da CSE origina o ramo sul (CB). A maior parte da CSE origina a CNB, o que resulta em uma intensa corrente fluindo para norte com um transporte médio de 14 Sv²¹ (SILVEIRA *et al.*, 1994).

A CNB apresenta valores de velocidades da ordem de 1 m/s e flui ao longo da região do Talude Continental até aproximadamente 7°N, onde se separa da costa e forma uma retroflexão na direção leste. A partir de então esta corrente origina a Contra-Corrente Norte Equatorial. A posição da retroflexão apresenta variação sazonal associada à migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Quanto à caracterização vertical da circulação na região, Schott (2003), analisou uma composição de dados de direção e intensidade de correntes coletadas entre 1990 e 2002, em cruzeiros franceses, alemães e norte-americanos com *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) e *Lower Acoustic Doppler Current Profiler* na longitude de 35°W e entre as latitudes 5°S e 5°N. Este estudo apresentou a direção do transporte de volume destas correntes ao longo do perfil, apresentando a estrutura de circulação da coluna d'água para a região sul equatorial do Atlântico.

As correntes que apresentam maior transporte residual de volume são: a CNB e Corrente Equatorial Intermediária (CEI), que fluem para norte, e o ramo superior da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e a Contra Corrente Equatorial (CCE), que fluem para sul. Além destas correntes, a região dos blocos é diretamente influenciada pela CSE que flui para norte, pela Contra Corrente Sul Equatorial (CCSE) e pela Contra Corrente Sul Intermediária (CCSI) que flui para sul. Mais afastado da costa, encontram-se os ramos central e inferior da Água Profunda do Atlântico Norte, Água de Fundo Antártica (AFA) e a Contra Corrente Norte Intermediária (CCIN).

²¹ Sv (Sverdrup) é uma unidade de medida de transporte de massa d'água, que representa 10⁶ m³/s.

A interação entre a CNB, a CCE e CCSE são de maior importância para o regime de correntes de baixa frequência na região, tendo em vista a proximidade com a costa e plataforma continental, por comporem o sistema com maior transporte de volume e apresentarem maiores intensidades. Tanto a CCE quanto a CCSE fluem em direção oposta à CNB, resultando no cisalhamento entre as correntes e, portanto, sujeitando a CNB à variabilidade espacial e de intensidade das duas primeiras.

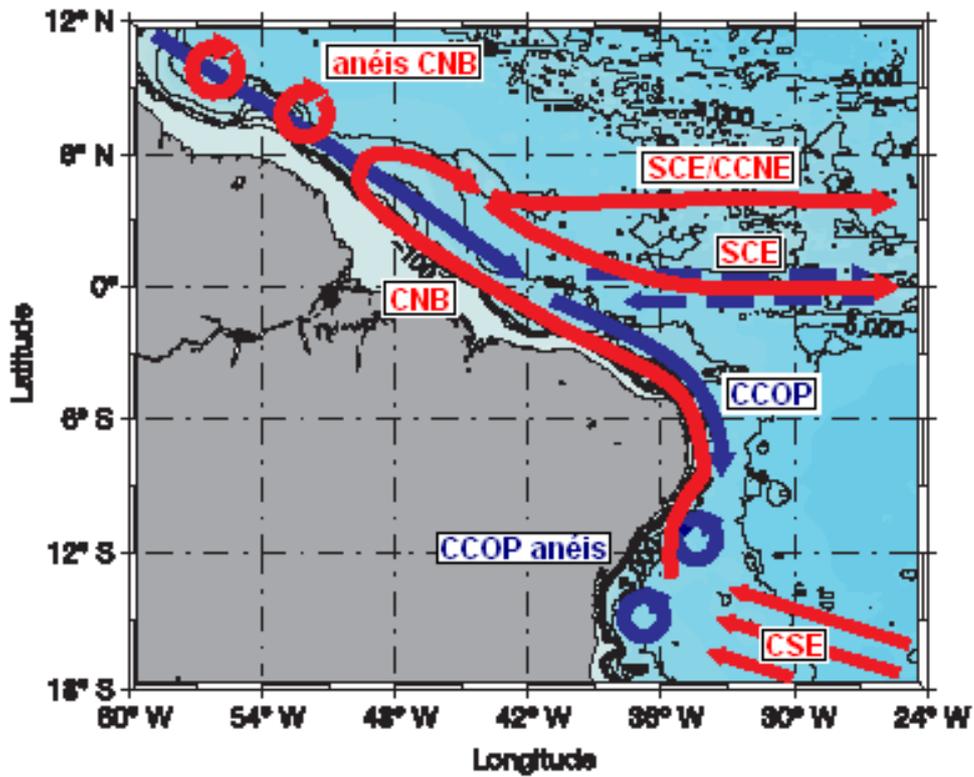


Figura 126 – Representação esquemática da circulação média e anéis anticiclônicos na porção oeste do oceano Atlântico Tropical; em vermelho, trajetórias das massas de água quentes, e em azul, trajetórias da APAN. As correntes indicadas são: Corrente Norte do Brasil (CNB), Sub-Corrente Equatorial (SCE), Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), Corrente Sul Equatorial (CSE), e Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCOP). Adaptado de Dengler et al. (2004).

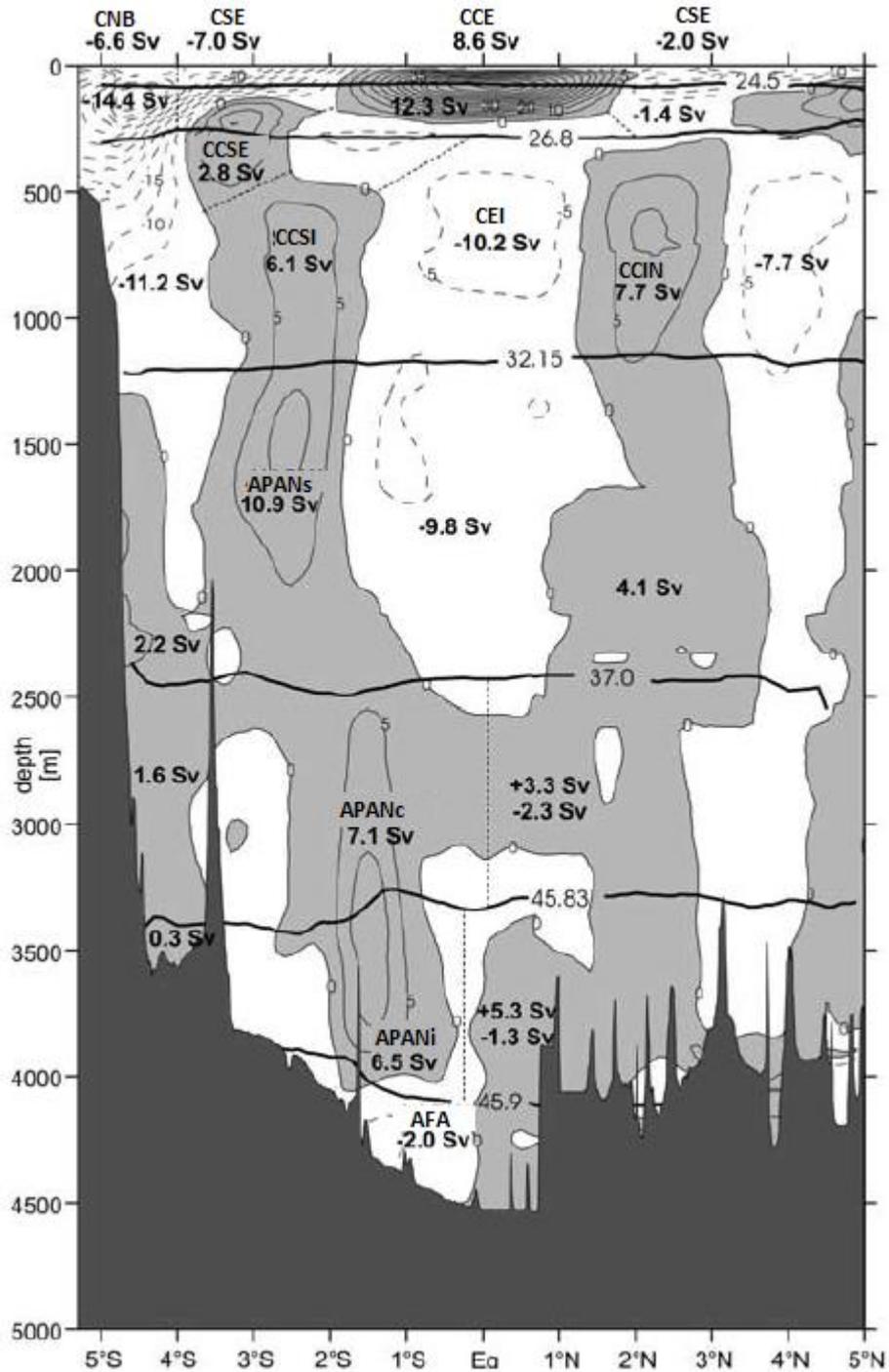


Figura 127 - Estrutura vertical do transporte de volume residual resultante da composição de levantamentos de dados hidrográficos entre 1990 a 2002 para a longitude de 35°W e latitudes de 5°S a 5°N, apresentando as correntes de baixa frequência que regem a circulação do Atlântico Equatorial (Adaptado de SCHOTT et. al., 2003).

Derivadores GDP/NOAA - Lumpkin & Garraffo

Para a representação das correntes superficiais da região foram utilizados dados de derivadores, descritos por Lumpkin & Garraffo (2005)²². Os dados pertencem ao Programa de Derivadores de Superfície, uma extensão do Sistema Integrado de Observação dos Oceanos da NOAA.

O Programa tem por objetivo principal manter rastreadas bóias de deriva de superfície, com o intuito de proporcionar um conjunto de dados observados *in-situ* numa abrangência global. O produto ainda tem o intuito de proporcionar um sistema de processamento de dados para uso científico, previsões de curto prazo e monitoramento do clima.

Através dos dados fornecidos pelo programa, foi possível reproduzir campos de correntes próximos à superfície, com resolução espacial de 1 grau, oriundos da decomposição dos dados de observação da circulação, registrada através de uma rede de bóias de deriva rastreadas por satélite (Figura 128).

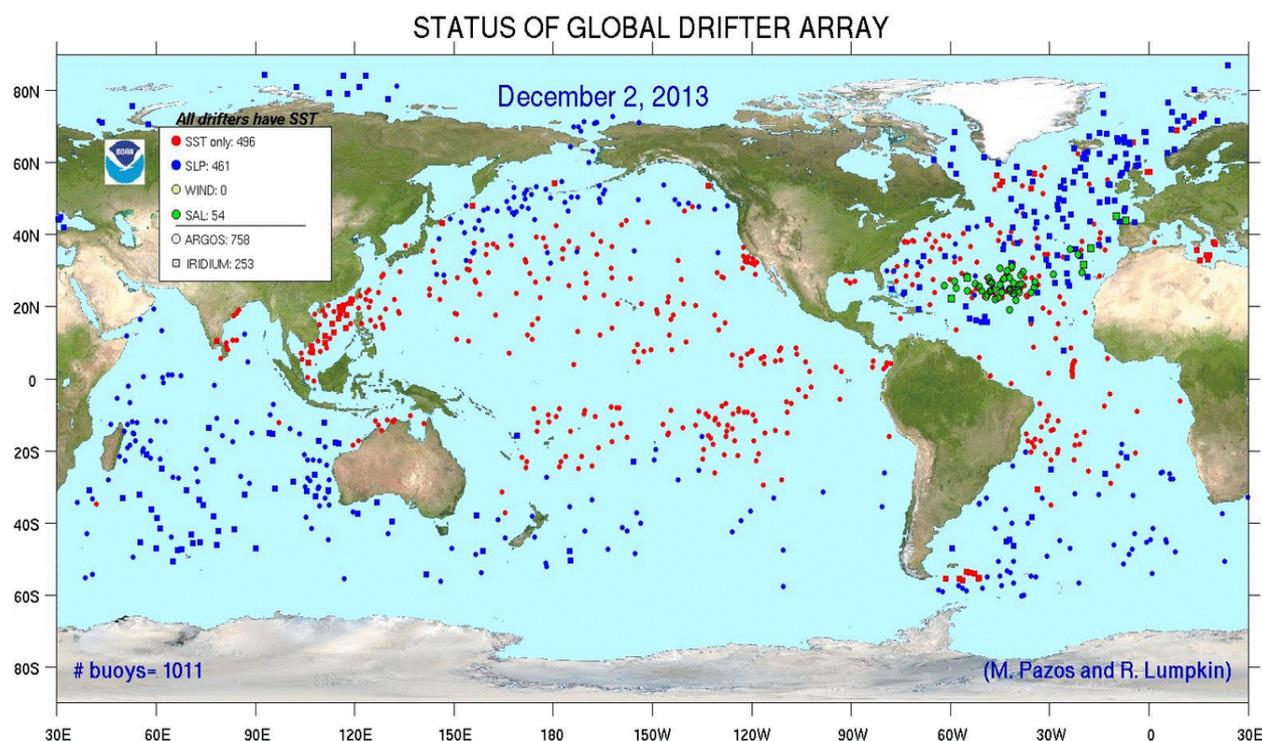


Figura 128 – Representação da população de derivadores mantidos pelo programa da NOAA, ao todo 1.267 derivadores em um único dia. Fonte: NOAA.

²² A drifter derived climatology of global near-surface currents – NOAA (http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac/drifter_climatology.html). Último acesso em 10 de dezembro de 2012.

As Figura 129 até Figura 132 representam a média climatológica da circulação oceânica de superfície para cada estação do ano para a região da costa Norte do Brasil. Tanto na primavera (outubro a dezembro), verão (janeiro a março), outono (abril a junho) e inverno (julho a setembro). Nesta região observa-se a predominância das correntes para oeste-noroeste, marcando a presença da Corrente Norte do Brasil (CNB). Essa corrente tem seu caminho predominante para noroeste seguindo a quebra da plataforma continental ao longo de todo o ano. Observa-se uma maior velocidade da CNB no outono e inverno, associada à direção e intensidade dos ventos, que por sua vez são influenciados pela variação sazonal da Zona de Convergência Intertropical.

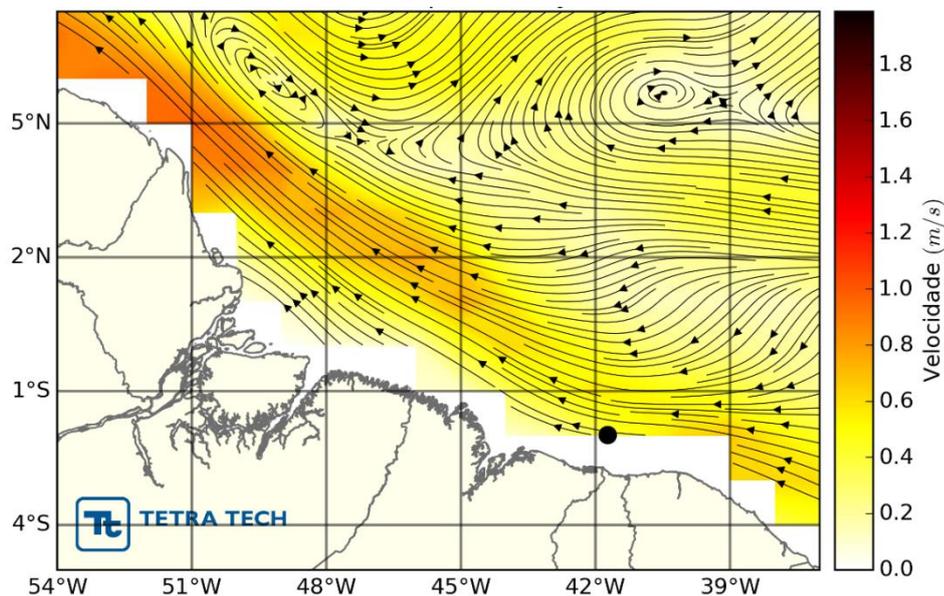


Figura 129 – Média da circulação próximo à superfície para o verão (janeiro a março), obtida por derivadores (LUMPKIN & GARRAFFO, 2005). Fonte: TETRA TECH.

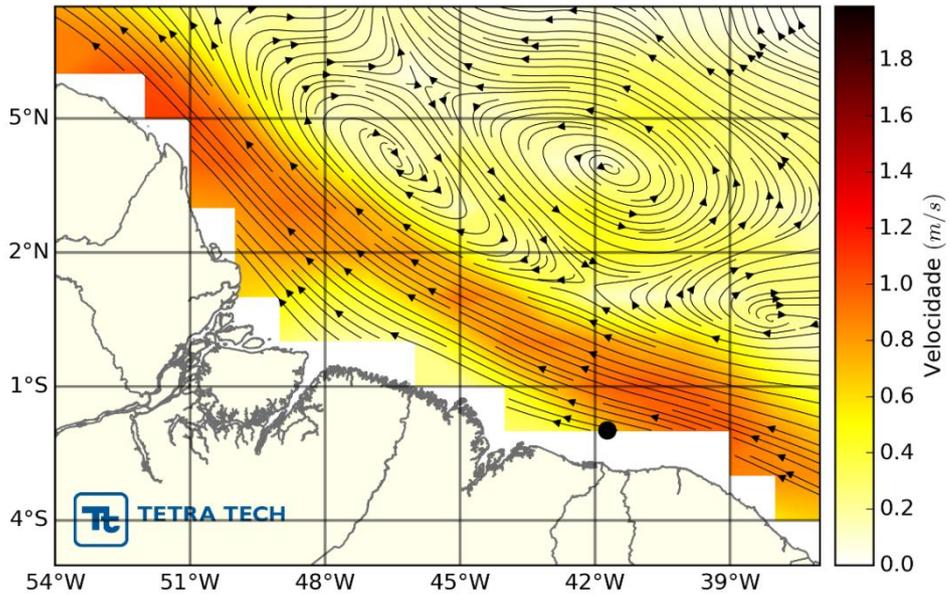


Figura 130 – Média da circulação próxima à superfície para o outono (abril a junho), obtida por derivadores (LUMPKIN & GARRAFFO, 2005). Fonte: TETRA TECH.

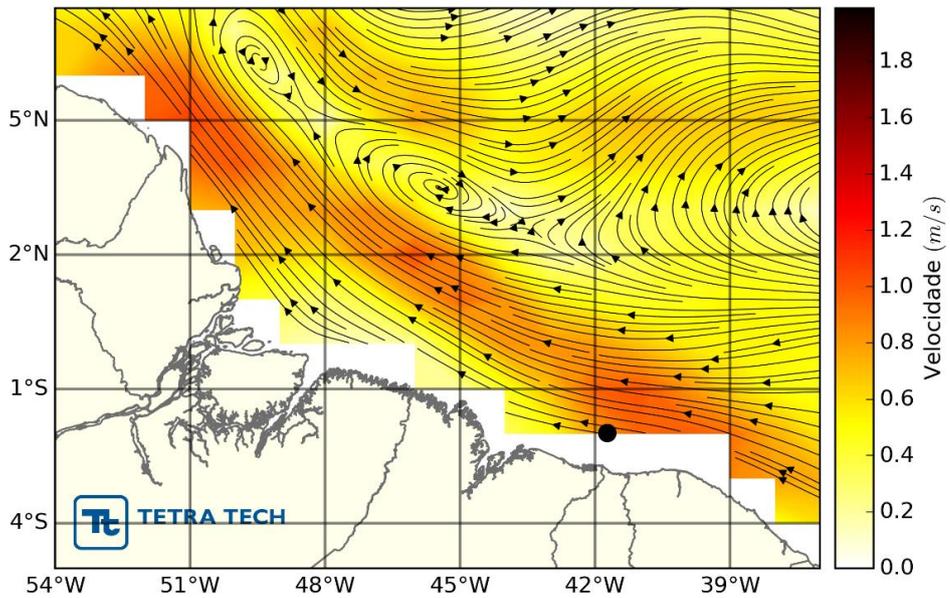


Figura 131 – Média da circulação próxima à superfície para o inverno (julho a setembro), obtida por derivadores (LUMPKIN & GARRAFFO, 2005). Fonte: Tetra Tech.

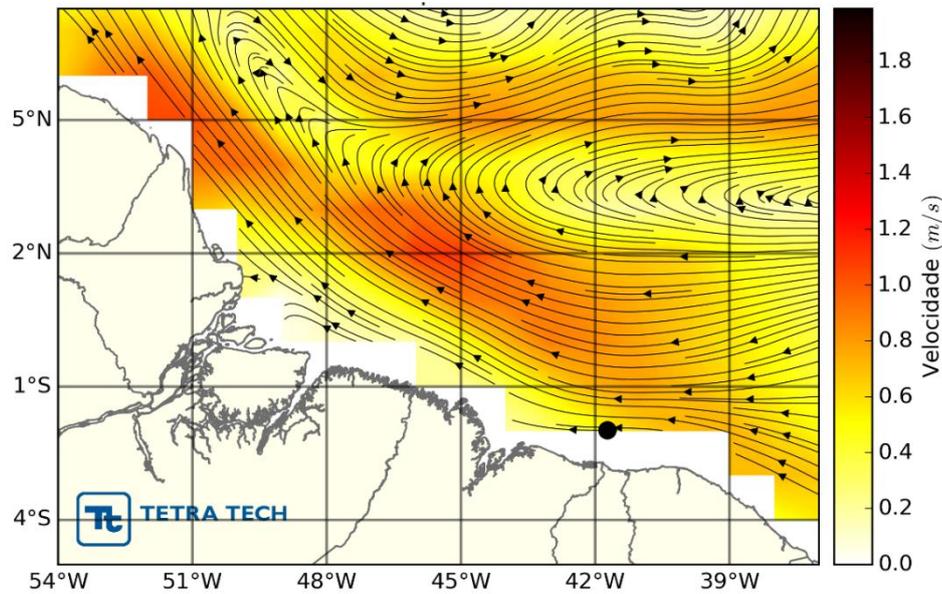


Figura 132 – Média da circulação próxima à superfície para a primavera (outubro a dezembro), obtida por derivadores (LUMPKIN & GARRAFFO, 2005). Fonte: Tetra Tech.

Modelo HYCOM Consortium

Uma caracterização das correntes superficiais foi realizada através de médias sazonais para os anos de 2008 à 2012, a partir dos dados obtidos da base hidrodinâmica do HYCOM Consortium. Esta base hidrodinâmica é proveniente de uma simulação global gerada pelo HYCOM Consortium associado à plataforma de assimilação de dados NCODA, com resolução horizontal de 1/12°, vertical em 32 níveis e temporal de 1 dia.

A Figura 133 até a Figura 136 apresentam os campos das correntes médias em superfície para os períodos de verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro).

Os resultados são bastante similares aos obtidos para os campos de corrente calculados a partir dos derivadores, com a Corrente Norte do Brasil e seu fluxo para NW bastante evidente. Contudo, em todas as estações, os fluxos são mais intensos do que os observados para os derivadores. Existe também um número maior de feições de meso-escala, tais como vórtices e meandros, que ocorrem devido a uma maior resolução do modelo. O inverno é a estação do ano em que a Corrente Norte do Brasil está mais intensa devido à orientação dos ventos nesta estação, provenientes do quadrante SE e favoráveis à corrente.

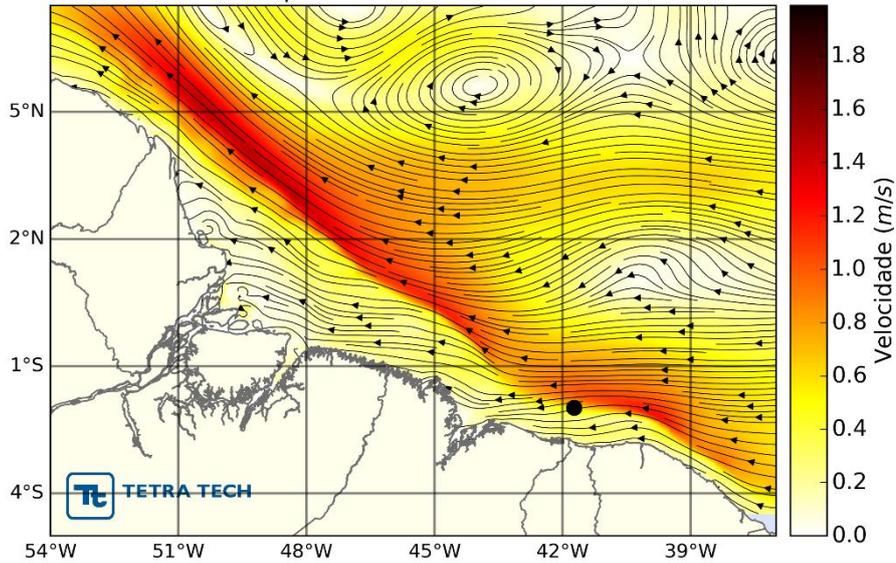


Figura 133 – Média da circulação próxima à superfície para o verão (janeiro a março) a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

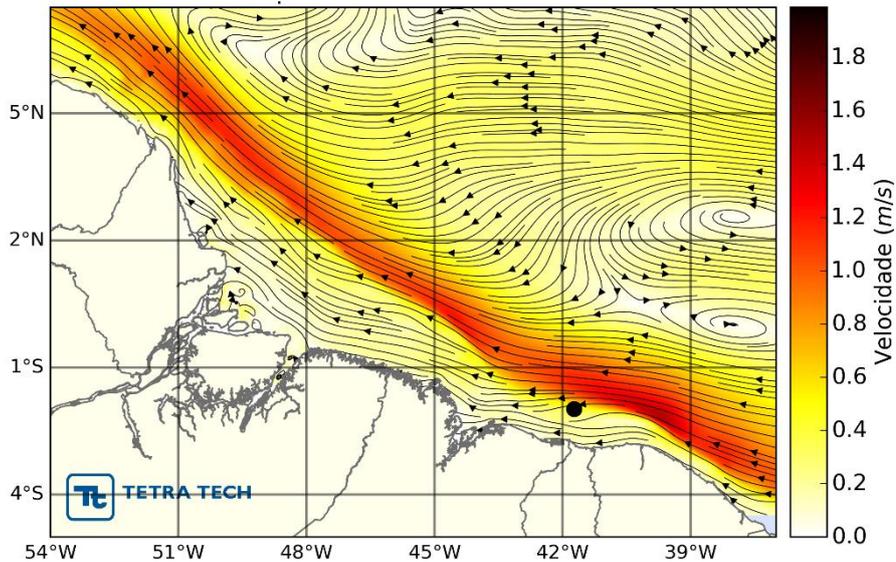


Figura 134 – Média da circulação próxima à superfície para o outono (abril a junho) a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

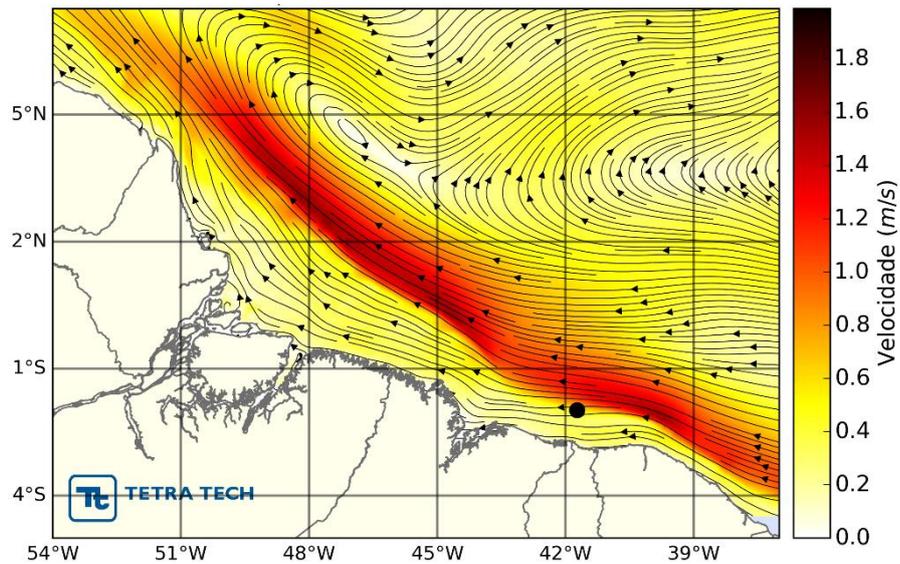


Figura 135 – Média da circulação próxima à superfície para o inverno (julho a setembro) a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

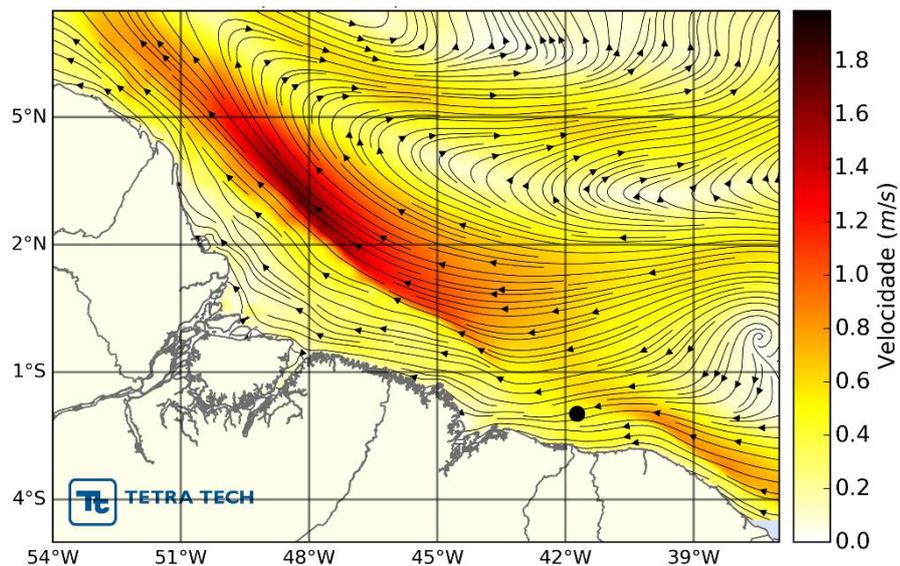


Figura 136 – Média da circulação próxima à superfície para a primavera (outubro a dezembro), a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

A Figura 137 apresenta a seção vertical de corrente para cada estação do ano posicionada perpendicular à direção principal das correntes que cruzam o ponto de produção. Os valores indicam a média das correntes para o verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro) entre os pontos $-2,72^{\circ}\text{S} / 41,73^{\circ}\text{W}$ e $1,27^{\circ}\text{N} / 41,73^{\circ}\text{W}$. Os valores negativos correspondem às correntes que

seguem no sentido oeste, enquanto os positivos referem-se às correntes que seguem no sentido leste.

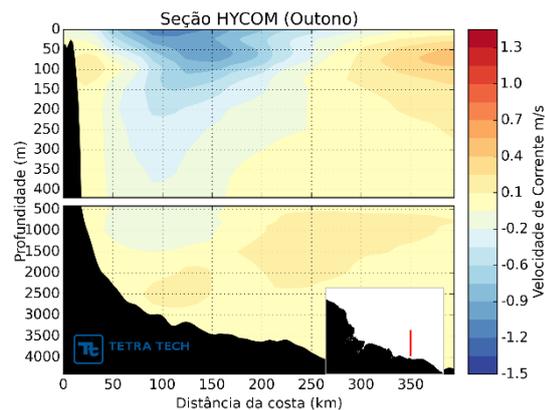
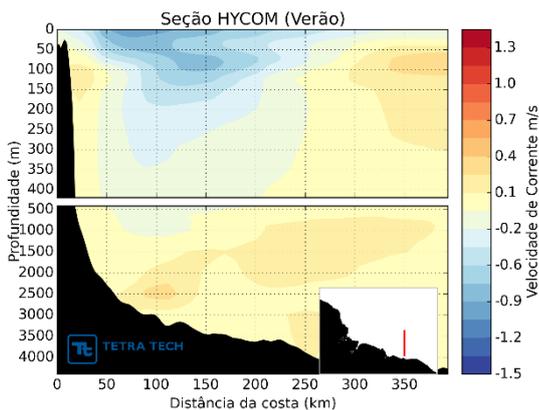
Nestas seções observa-se um fluxo predominante para oeste com núcleo marcado por velocidades negativas até aproximadamente 300 e 400 m de profundidade no verão e outono e até 300 m no inverno. Esse fluxo refere-se à assinatura da Corrente Norte do Brasil, que atinge valor máximo de média de cerca de 1,5 m/s. No período de primavera, não observa-se um núcleo bem definido da CNB na seção de velocidade média. Isso ocorre devido à elevada variabilidade da posição da corrente.

Abaixo da CNB, em profundidades em torno de 2500 m, e próximo ao talude, observa-se o núcleo da Corrente de Contorno Intermediária (CCI). Esta é uma corrente que rumo para leste – contrária à CB – com intensidades médias por volta de 0,1 e 0,2 m/s.

Seção de velocidade de corrente – HYCOM Consortium

Verão

Outono



Inverno

Primavera

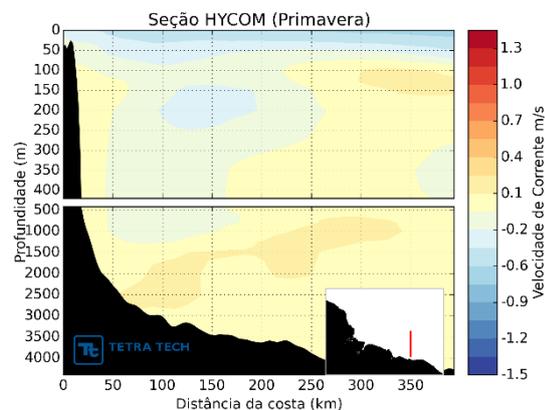
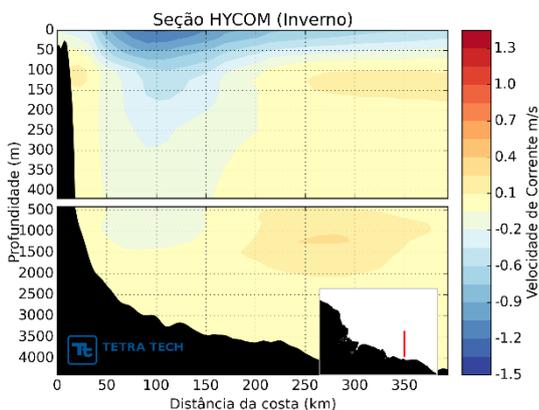


Figura 137 – Seção zonal de velocidade média em 41,73°W para o verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro), a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

A análise das correntes procedeu de forma a correlacionar as intensidades e direções predominantes em cada estação do ano na região do bloco BAR-M-346. O ponto analisado tem coordenadas 2°S / 41,6°W e sua localização pode ser visualizada na Figura 65. Através das séries temporais extraídas da base hidrodinâmica do HYCOM *Consortium* para todo o período simulado (2008 a 2012), foram produzidos *stickplots*, *boxplots*, perfis verticais para as componentes meridional e zonal de velocidade, histogramas direcionais e diagramas de ocorrência conjunta de intensidade e direção para cada estação do ano.

A Figura 138 ilustra o comportamento das correntes tanto em intensidade quanto em direção ao longo do ano de 2012 nas profundidades de 0 m, 500 m e 1000 m. Observa-se uma predominância das correntes na direção oeste e sudoeste na camada superficial do ponto analisado. Além disso, tanto na profundidade de 500 m quanto 1000 m foi encontrada uma elevada variabilidade nas intensidades e direções ao longo de todo o período analisado. As intensidades diminuem desde a camada de superfície até a camada de fundo.

Uma análise sintetizada da magnitude das velocidades na coluna d'água pode ser observada na Figura 139, que mostra um diagrama *boxplot* do perfil vertical das correntes no ponto analisado. Nesta representação, as linhas vermelhas correspondem à mediana da intensidade da corrente, os limites das caixas correspondem ao primeiro e terceiro quartis, as linhas pontilhadas à média mais dois desvios-padrão, e os pontos os valores acima deste limiar (*outliers*). Os perfis verticais das componentes meridional e zonal da velocidade média para cada estação do ano também são apresentados para mesmo ponto de análise (Figura 140).

As velocidades mais intensas no ponto analisado são observadas na camada superficial, onde a mediana atinge aproximadamente 0,5 m/s em 0 m e 0,4 m/s em 10 m de profundidade. Entre 100 e 200 m, as velocidades registradas reduzem suas magnitudes para em torno de 0,2 m/s. A partir de então, as intensidades diminuem progressivamente com o aumento a profundidade (Figura 139).

Desde a superfície até aproximadamente 150 m, há uma predominância da componente zonal da velocidade (u), que indica a preponderância de fluxo para os quadrantes de oeste. A componente meridional da velocidade (v) é negativa bem próximo à superfície, que em conjunto com a componente zonal resulta em correntes para sudoeste. Próximo à 150 m, há uma inversão no sentido da corrente (u maior que zero), que passa a seguir para os quadrantes de leste, principalmente no verão e outono. A partir de 250 m, as magnitudes das

componentes de velocidades diminuem e não indicam uma direção predominante (Figura 140). O padrão zonal do fluxo médio observado no ponto analisado próximo à superfície em todas as estações do ano, principalmente para oeste, ocorre devido à assinatura da Corrente Norte do Brasil. Esta corrente predomina na região de quebra de plataforma e talude continental da Área de Estudo, como observado nas Figura 133 até Figura 136.

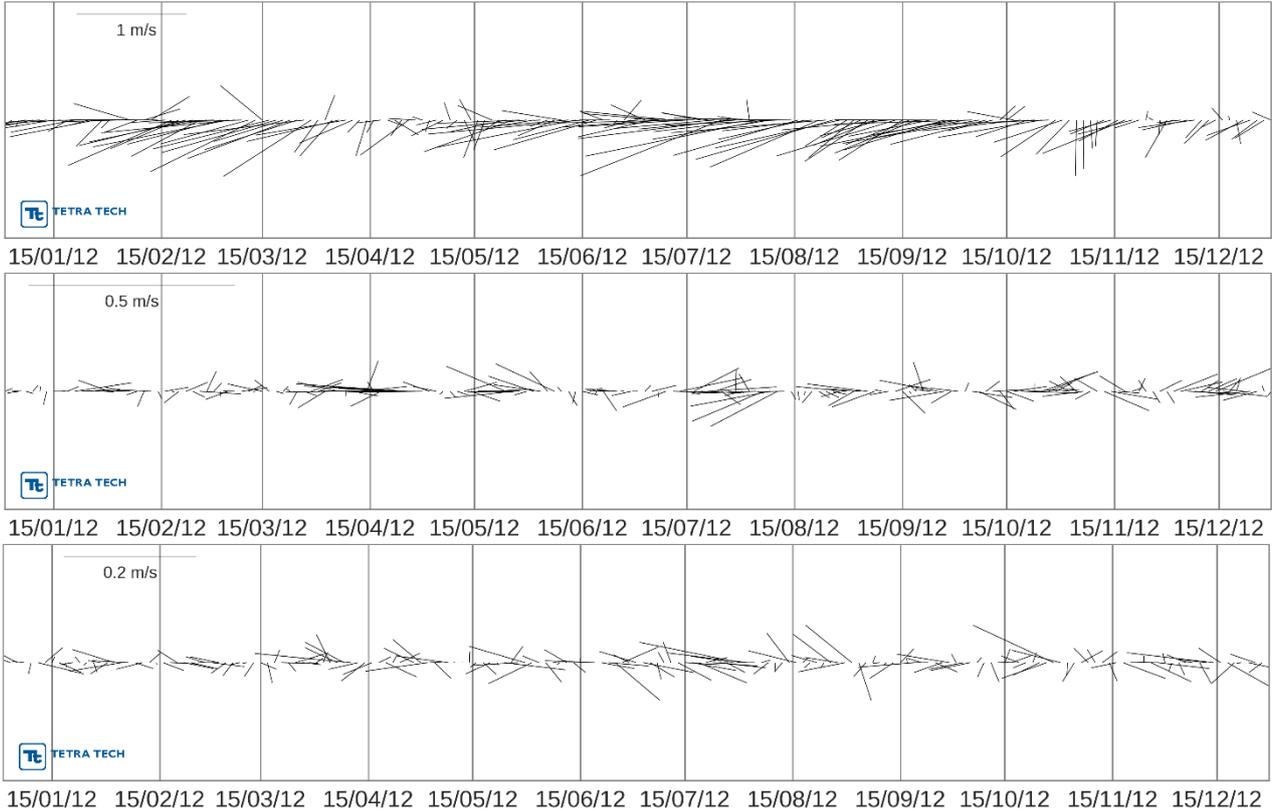


Figura 138 – Stickplot do perfil vertical de correntes do modelo HYCOM Consortium nas profundidades de 0 m, 500 m e 1000 m, no ponto de análise central. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

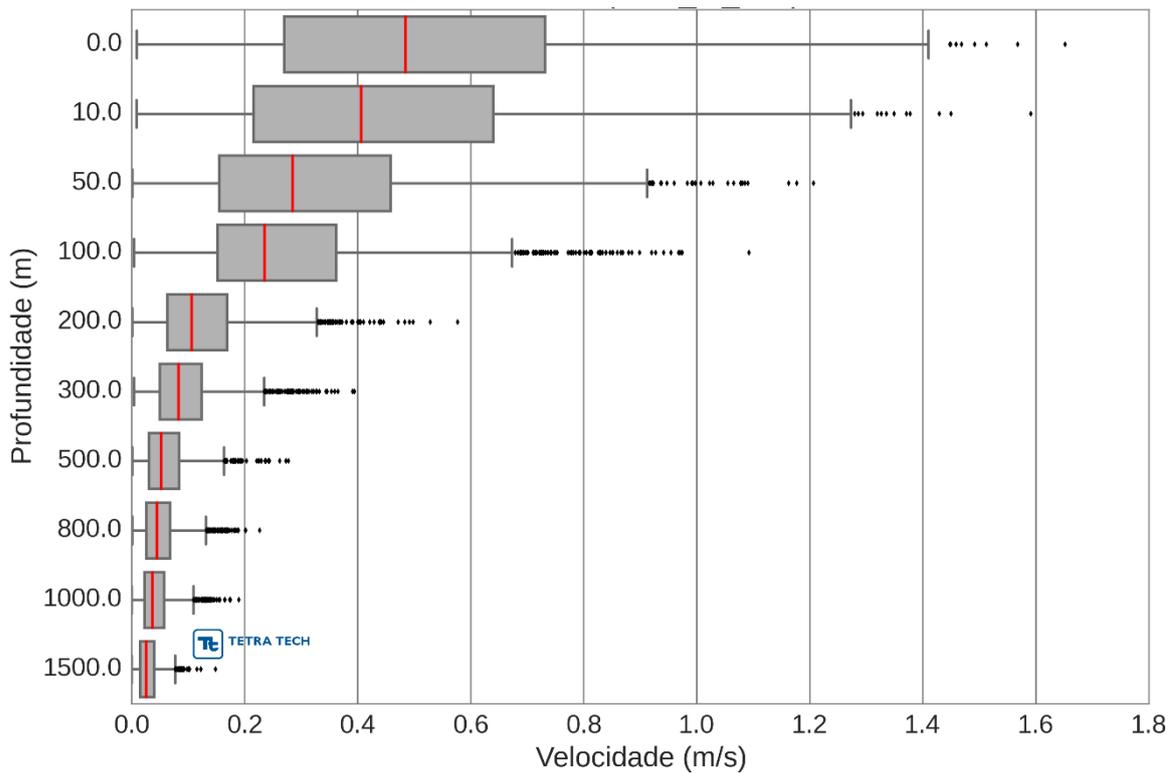


Figura 139 – Boxplot do perfil vertical de velocidade das correntes geradas pelo modelo HYCOM Consortium entre as profundidades de 0 e 1500 m, no Ponto Central. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

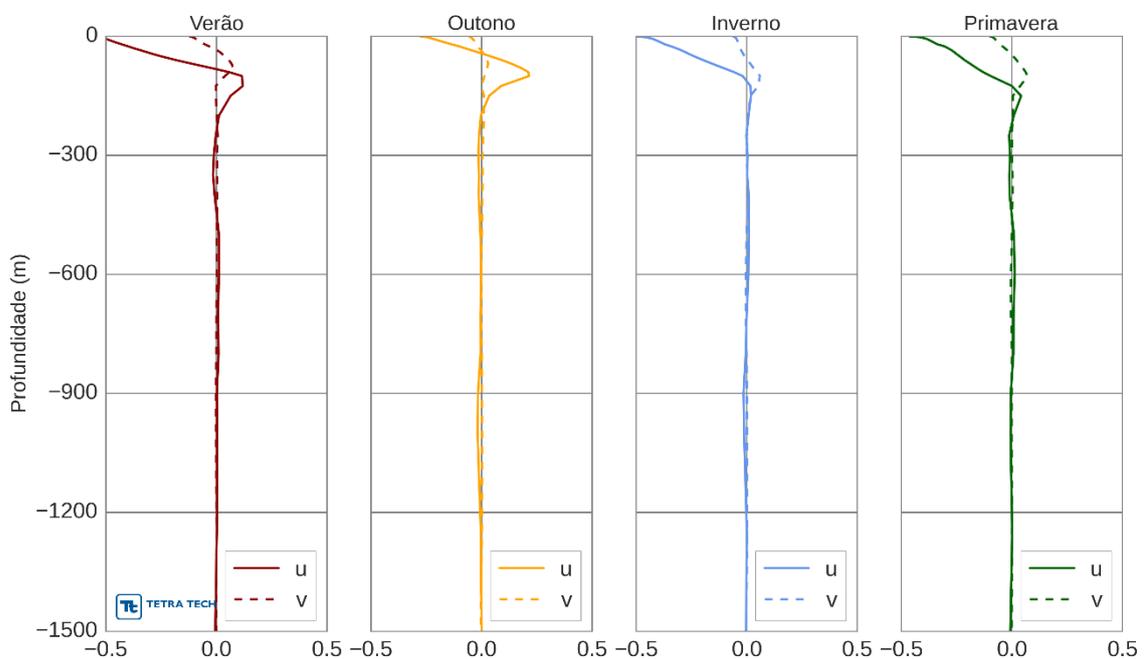


Figura 140 – Perfis verticais das componentes da velocidade meridional (v, linha tracejada) e zonal (u, linha contínua) médias para cada estação, a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium no ponto de análise central. Período de 2004 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Histogramas direcionais (Figura 141 a Figura 152) e diagramas de ocorrência conjunta de intensidade e direção (Tabela 27 a Tabela 38) foram produzidos para cada estação do ano nos níveis de superfície, 500 m e 1000 m. As correntes superficiais no ponto analisado apresentam uma predominância de fluxo para o quadrante W em todas as estações (Figura 141 a Figura 144). No verão (Tabela 27), aproximadamente 76% dos dados apresentaram direção para W. Nesta estação, 46,2% das correntes apresentaram velocidades entre 0,4 e 0,8 m/s. A velocidade máxima observada foi de 1,32 m/s, também na direção W.

No outono (Tabela 28), as correntes para W totalizam 43,52% das ocorrências. Neste período, a máxima velocidade observada foi da ordem de 1,4 m/s, também na direção W, e as intensidades principais foram distribuídas em até 0,4 m/s (62,2%).

No inverno (Tabela 29) foram observadas, em quase 70% de ocorrência, correntes de W. A máxima velocidade é atingida também desta direção, chegando a 1,65 m/s. Não há uma predominância entre as intensidades das correntes observadas nesta estação, estando estas distribuídas desde 0 até 1 m/s com frequências de 15% a 20%.

A máxima velocidade observada na primavera foi de 1,34 m/s, referente ainda à direção W (Tabela 30). Aproximadamente 71% das ocorrências ocorreram nesta direção. Em relação às intensidades, 54,6% das ocorrências estão entre 0,2 e 0,6 m/s.

Ao nível de 500 m, não há uma direção predominante das correntes. As mesmas se mantêm principalmente nos quadrantes de oeste e leste em todas as estações do ano (Figura 145 a Figura 148). Durante todo o ano, as velocidades médias permanecem em até 0,10 m/s e as máximas variam de 0,18 m/s no verão a até 0,26 m/s no outono.

Próximo à camada de fundo (1000 m, Figura 149 a Figura 152, Tabela 35 a Tabela 38), as correntes ocorrem principalmente entre as direções W e E. As estações de outono, inverno e primavera apresentaram frequências de W de 40,97%, 34,45%, 28,10%, respectivamente, sendo estes os maiores valores observados. No verão, todavia, a direção E apresentou a maior frequência de ocorrência dentre as direções (25,22%), seguida de W (20,35%). As intensidades encontradas em todas as estações foram quase que em totalidade inferiores à 0,1 m/s. A velocidade máxima atingida nessa profundidade foi de 0,19 m/s, da direção W, ocorrida no outono.

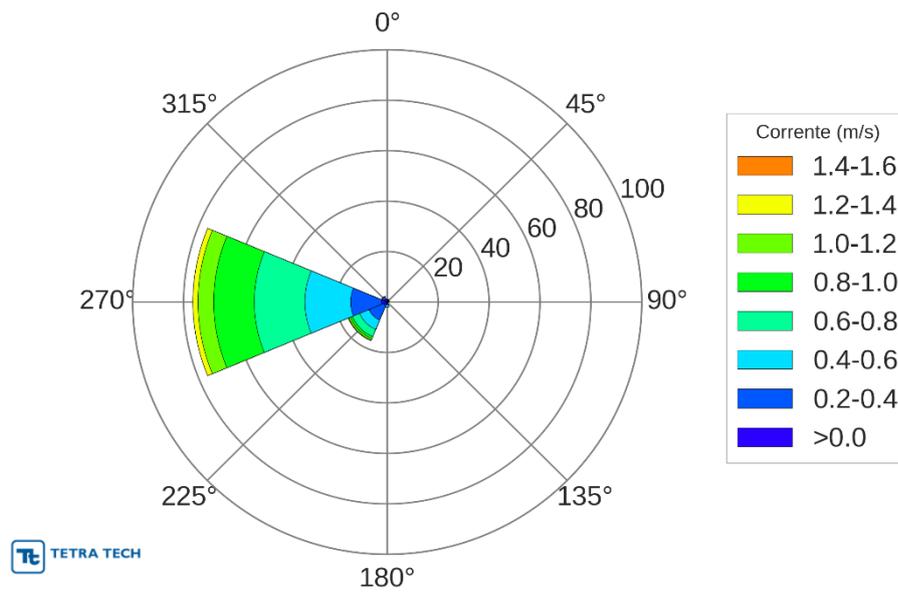


Figura 141 – Histograma direcional da corrente superficial para o verão, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

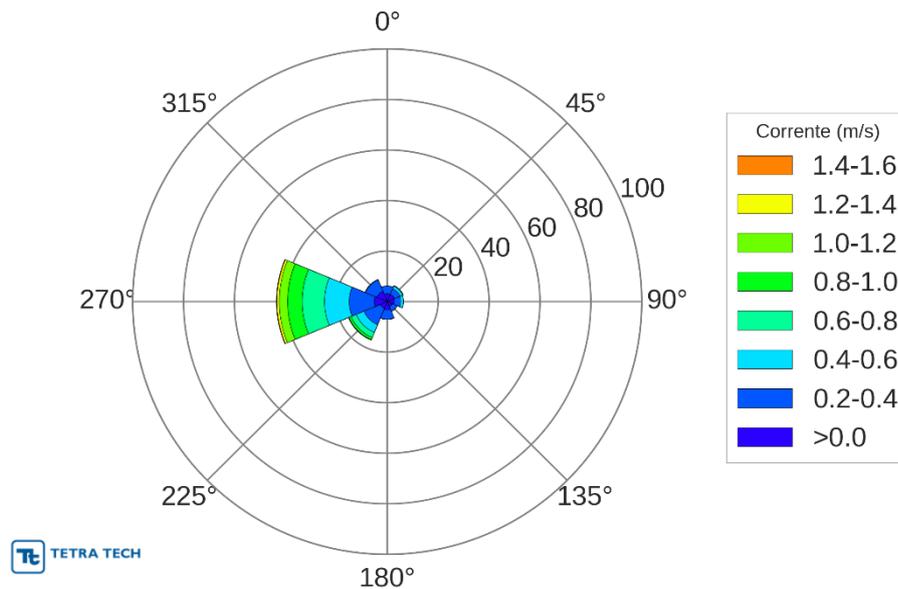


Figura 142 – Histograma direcional da corrente superficial para o outono, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.

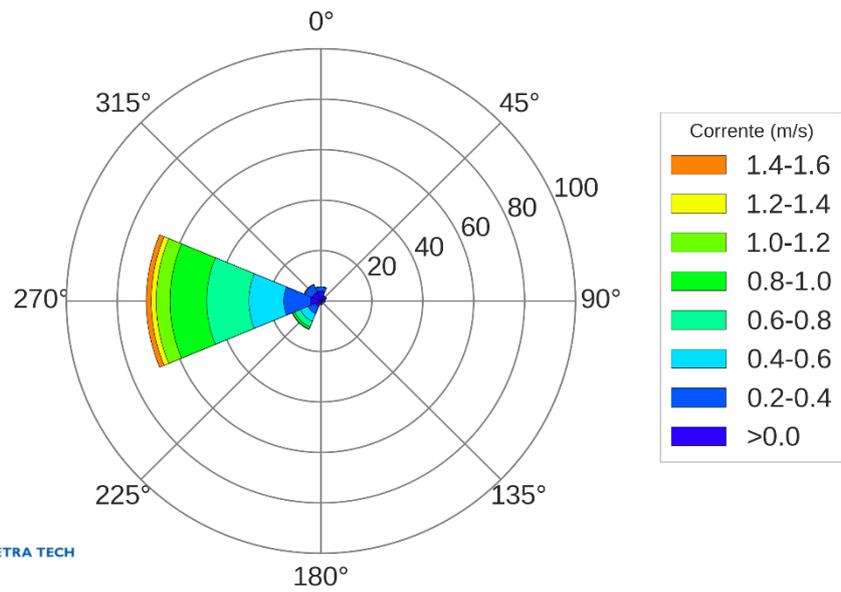


Figura 143 – Histograma direcional da corrente superficial para o inverno, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.

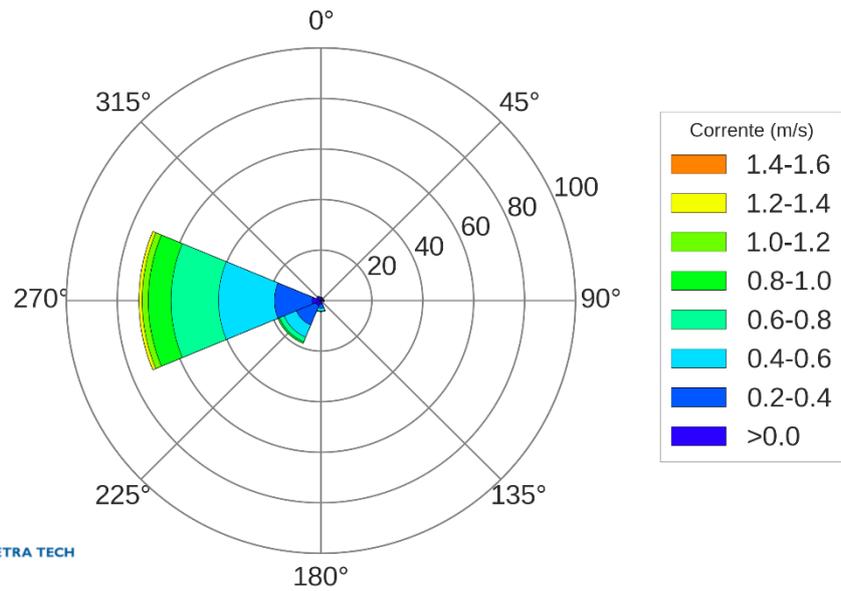


Figura 144 – Histograma direcional sazonal da corrente superficial para a primavera, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.

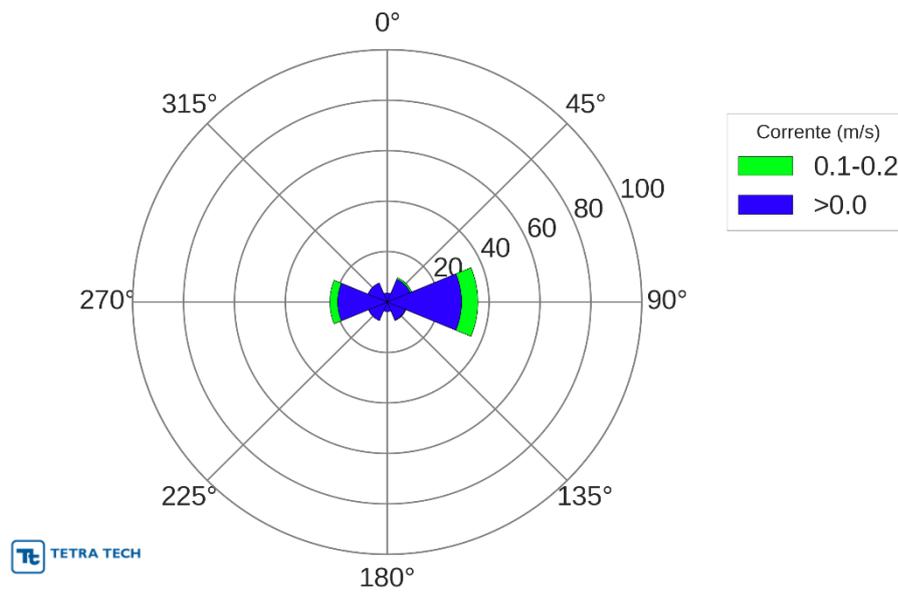


Figura 145 – Histograma direcional da corrente em 500 m de profundidade para o verão, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.

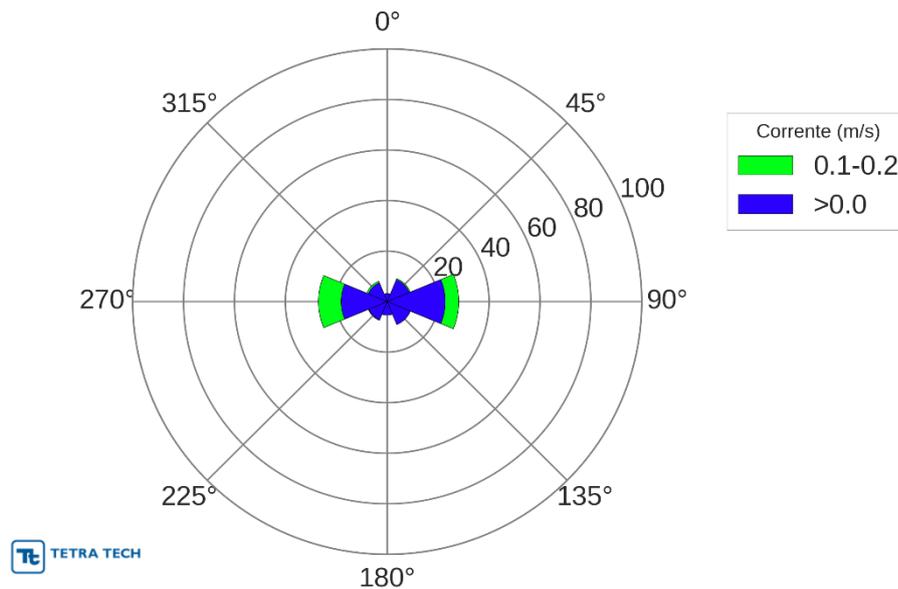


Figura 146 – Histograma direcional da corrente em 500 m de profundidade para o outono, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.

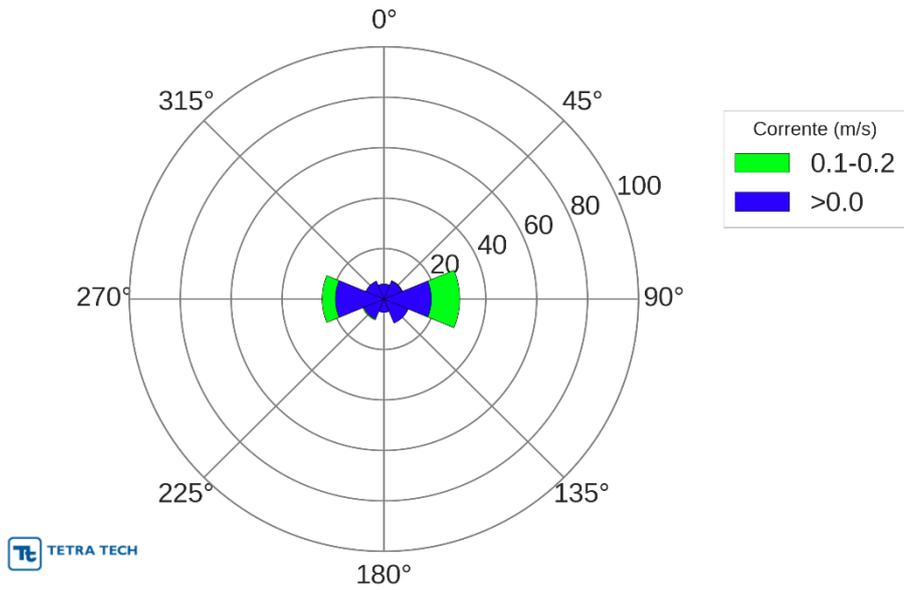


Figura 147 – Histograma direcional da corrente em 500 m de profundidade para o inverno, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

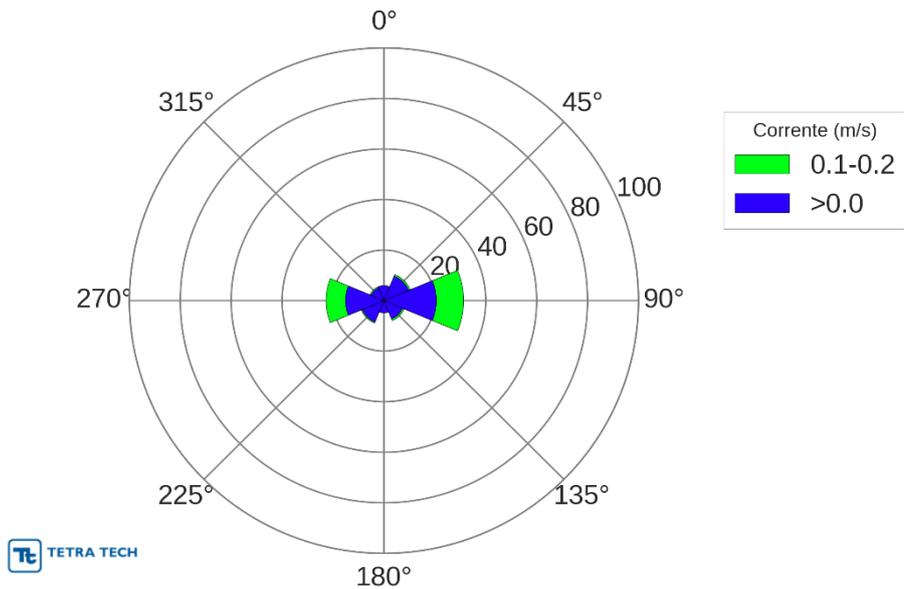


Figura 148 – Histogramas direcionais da corrente em 500 m de profundidade para a primavera, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

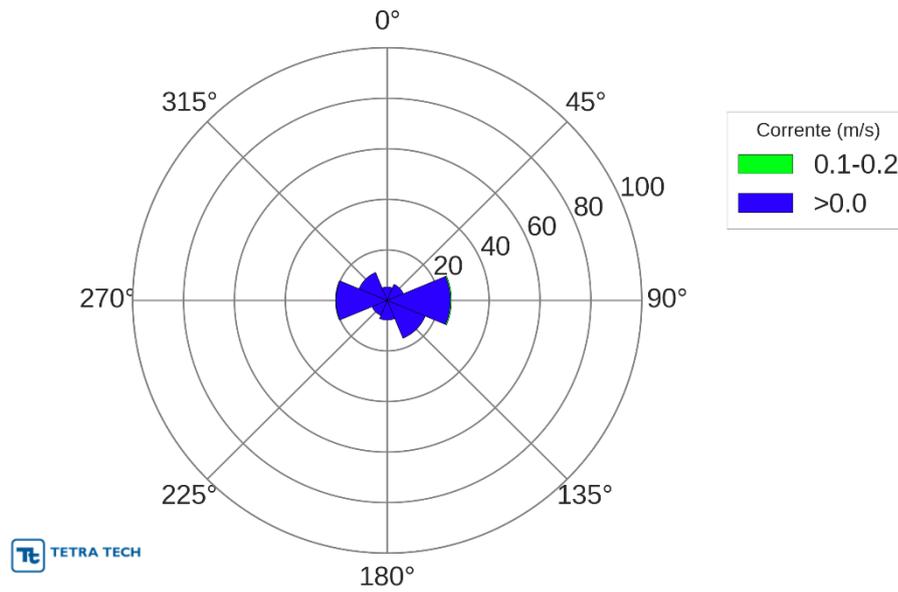


Figura 149 – Histograma direcional da corrente em 1000 m de profundidade para o verão, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

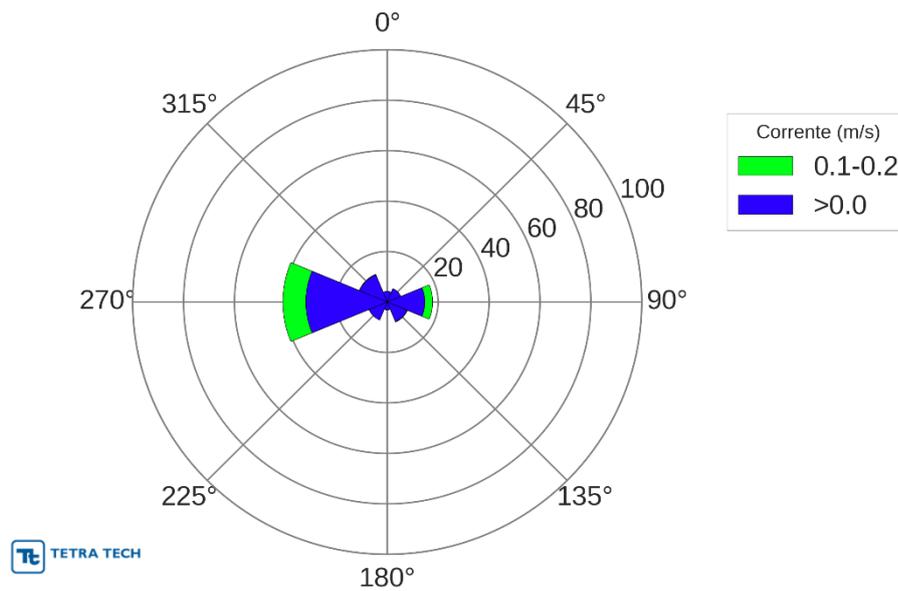


Figura 150 – Histograma direcional da corrente em 1000 m de profundidade para o outono, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

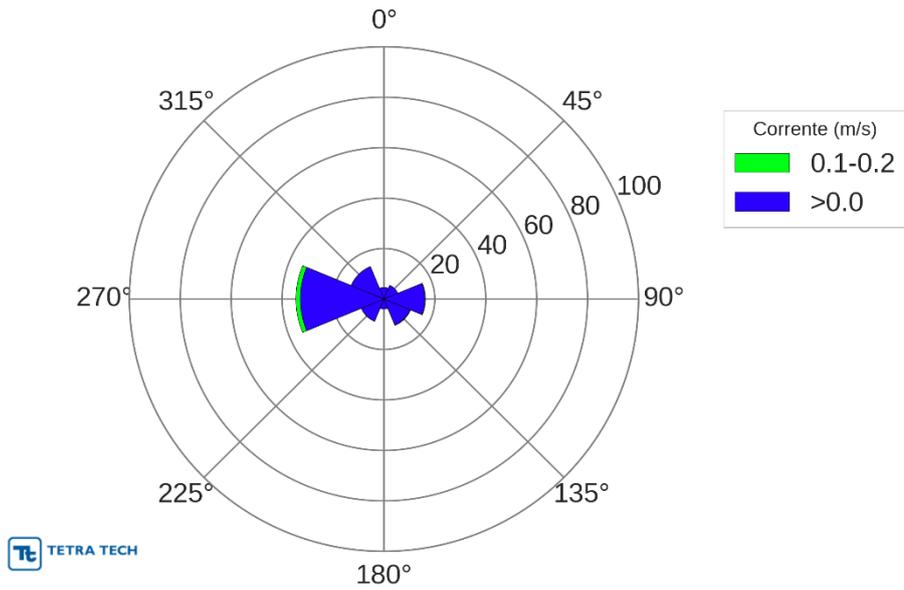


Figura 151 – Histograma direcional da corrente em 1000 m de profundidade para o inverno, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

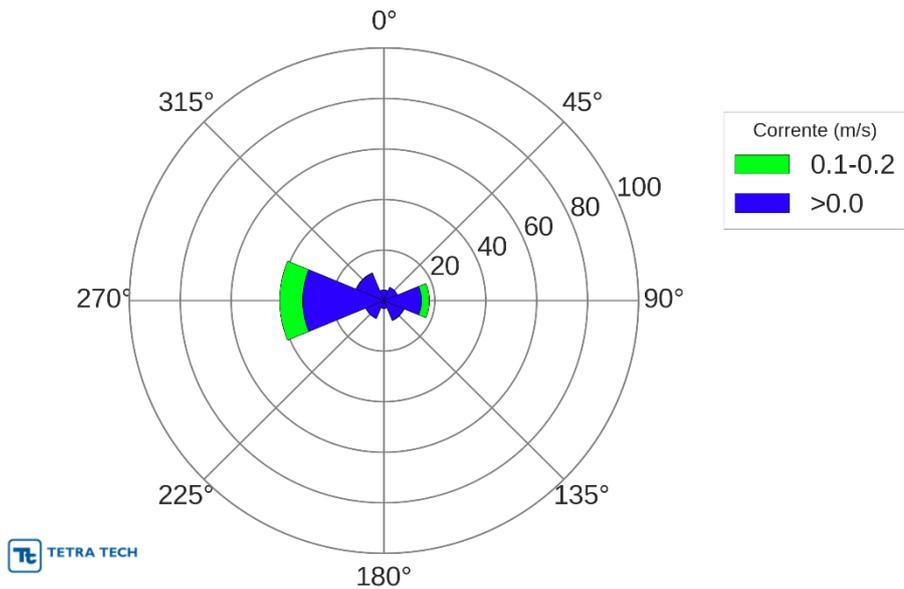


Figura 152 – Histograma direcional da corrente em 1000 m de profundidade para a primavera, a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Tabela 27 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	0.88	0.22	0.00	0.00	0.88	1.55	2.21	1.33	7.1
0,2-0,4	0.22	0.44	0.44	0.22	0.22	6.19	12.17	0.88	20.8
0,4-0,6	0.00	0.22	0.00	0.00	0.88	3.98	17.92	0.22	23.2
0,6-0,8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	19.91	0.00	23.0
0,8-1,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	15.93	0.00	16.8
1,0-1,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	6.19	0.00	6.9
1,2-1,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	1.99	0.00	2.2
(%)	1.11	0.88	0.44	0.22	1.99	16.59	76.33	2.43	
Média	0.19	0.26	0.37	0.31	0.33	0.48	0.66	0.21	
Máximo	0.37	0.41	0.39	0.31	0.54	1.20	1.32	0.49	

Tabela 28 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	3.08	3.08	2.64	2.20	3.30	2.86	5.05	4.40	26.6
0,2-0,4	3.08	2.42	2.64	1.98	3.74	7.03	9.89	4.84	35.6
0,4-0,6	0.00	1.10	1.10	0.00	0.00	3.30	9.67	0.22	15.4
0,6-0,8	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	2.20	8.79	0.00	11.2
0,8-1,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	5.71	0.00	6.6
1,0-1,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	3.30	0.00	3.5
1,2-1,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.9
1,4-1,6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.2
(%)	6.15	6.81	6.37	4.18	7.03	16.48	43.52	9.45	
Média	0.20	0.25	0.24	0.18	0.21	0.41	0.57	0.20	
Máximo	0.38	0.63	0.49	0.40	0.38	1.17	1.41	0.41	

Tabela 29 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	3.91	1.74	1.09	0.65	0.87	2.39	4.13	3.70	18.5
0,2-0,4	1.52	0.43	0.43	0.22	0.43	3.04	10.43	3.26	19.8
0,4-0,6	0.22	0.22	0.00	0.00	0.22	3.26	13.70	0.22	17.8
0,6-0,8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.39	16.52	0.00	18.9
0,8-1,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	14.35	0.00	15.2
1,0-1,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	5.43	0.00	5.7
1,2-1,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	0.00	2.0
1,4-1,6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	0.00	2.0
1,6-1,8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.2
(%)	5.65	2.39	1.52	0.87	1.52	12.17	68.70	7.17	
Média	0.17	0.19	0.16	0.13	0.25	0.44	0.68	0.22	
Máximo	0.43	0.44	0.34	0.25	0.43	1.08	1.65	0.52	

Tabela 30 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	1.30	0.65	0.65	0.00	1.52	2.17	3.48	1.52	11.3
0,2-0,4	0.00	0.43	0.65	0.22	1.52	8.26	14.78	0.43	26.3
0,4-0,6	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09	5.22	21.96	0.00	28.3
0,6-0,8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	1.96	18.70	0.00	20.9
0,8-1,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	8.91	0.00	9.6
1,0-1,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.39	0.00	2.4
1,2-1,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	1.3
(%)	1.30	1.09	1.30	0.22	4.35	18.26	71.52	1.96	
Média	0.10	0.20	0.19	0.34	0.28	0.40	0.58	0.14	
Máximo	0.16	0.36	0.34	0.34	0.61	0.92	1.34	0.32	

Tabela 31 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 500 m de profundidade para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,1	3.54	9.73	29.20	7.74	3.76	7.96	19.47	8.19	89.6
0,1-0,2	0.00	0.66	6.42	0.22	0.00	0.00	3.10	0.00	10.4
(%)	3.54	10.40	35.62	7.96	3.76	7.96	22.57	8.19	
Média	0.02	0.04	0.07	0.04	0.03	0.04	0.07	0.03	
Máximo	0.04	0.11	0.16	0.10	0.05	0.10	0.18	0.07	

Tabela 32 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 500 m de profundidade para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,1	3.08	9.23	22.42	9.67	5.27	7.69	17.80	7.91	83.1
0,1-0,2	0.00	0.44	5.27	0.00	0.00	0.22	8.79	0.66	15.4
0,2-0,3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54	0.00	1.5
(%)	3.08	9.67	27.69	9.67	5.27	7.91	28.13	8.57	
Média	0.04	0.04	0.07	0.05	0.03	0.05	0.09	0.05	
Máximo	0.08	0.14	0.19	0.10	0.07	0.11	0.28	0.16	

Tabela 33 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 500 m de profundidade para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,1	5.87	7.61	18.48	10.22	5.22	8.48	18.91	7.61	82.4
0,1-0,2	0.00	0.22	11.09	0.00	0.00	0.43	5.22	0.00	17.0
0,2-0,3	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.7
(%)	5.87	7.83	30.00	10.22	5.22	8.91	24.13	7.83	
Média	0.03	0.05	0.09	0.04	0.02	0.05	0.07	0.04	
Máximo	0.08	0.12	0.24	0.09	0.05	0.19	0.20	0.22	

Tabela 34 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,1	5.87	10.43	20.43	7.83	4.78	9.13	15.00	5.43	78.9
0,1-0,2	0.00	0.65	10.65	0.65	0.00	0.43	7.61	0.43	20.4
0,2-0,3	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.7
(%)	5.87	11.09	31.52	8.48	4.78	9.57	22.83	5.87	
Média	0.03	0.05	0.09	0.05	0.03	0.05	0.08	0.04	
Máximo	0.05	0.15	0.24	0.12	0.07	0.15	0.22	0.16	

Tabela 35 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,1	5.31	6.86	24.78	16.15	7.74	6.42	20.13	11.95	99.3
0,1-0,2	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.7
(%)	5.31	6.86	25.22	16.15	7.74	6.42	20.35	11.95	
Média	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	
Máximo	0.05	0.05	0.14	0.08	0.05	0.05	0.11	0.10	

Tabela 36 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,1	4.19	5.73	14.76	8.37	3.08	7.71	31.94	11.67	87.4
0,1-0,2	0.00	0.00	3.08	0.22	0.00	0.00	9.03	0.22	12.6
(%)	4.19	5.73	17.84	8.59	3.08	7.71	40.97	11.89	
Média	0.03	0.03	0.07	0.04	0.02	0.03	0.07	0.04	
Máximo	0.05	0.08	0.15	0.10	0.06	0.08	0.19	0.11	

Tabela 37 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,1	4.57	5.87	16.09	11.09	3.91	9.57	32.83	13.91	97.8
0,1-0,2	0.00	0.00	0.22	0.22	0.00	0.00	1.74	0.00	2.2
(%)	4.57	5.87	16.30	11.30	3.91	9.57	34.57	13.91	
Média	0.02	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	
Máximo	0.04	0.06	0.12	0.10	0.06	0.06	0.16	0.09	

Tabela 38 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes em 1000 m de profundidade para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo HYCOM Consortium. Período de 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,1	4.58	5.66	18.74	12.64	6.75	9.59	27.23	13.29	98.5
0,1-0,2	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.87	0.44	1.5
(%)	4.58	5.66	18.95	12.64	6.75	9.59	28.10	13.73	
Média	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.04	
Máximo	0.03	0.07	0.11	0.09	0.05	0.08	0.16	0.13	

A circulação hidrodinâmica da Plataforma Continental

Para se obter um maior detalhamento acerca da circulação na região da Plataforma Continental, utilizou-se uma base hidrodinâmica de alta resolução produzida pela Tetra Tech para a Área de Estudo. Essa base foi construída através do sistema de modelos numéricos Delft3D em conjunto com o modelo HYCOM (*HYbrid Coordinate Ocean Model*) e utilizada para as modelagens de deriva de óleo. A descrição e validação desta base hidrodinâmica pode ser observada em Tetra Tech (2015).

Na Figura 153 e na Figura 154 são apresentados os campos de velocidade média das correntes superficiais para os dois períodos simulados na modelagem numérica, janeiro a junho e julho a dezembro do ano de 2014. Observa-se a capacidade do modelo em reproduzir a circulação predominante na área de oceano profundo, conforme discutido anteriormente. Nota-se a presença da Corrente Norte do Brasil (CNB), corrente oceânica predominante na região, que segue na direção NW sobre a quebra da plataforma continental. Sobre a plataforma continental, é possível observar um fluxo perpendicular à CNB e à linha de costa nos dois períodos simulados. Isso se deve às correntes de maré, dominantes nesta província da plataforma continental da região Norte do Brasil, tanto na simulação de janeiro à junho, quando na de julho à dezembro.

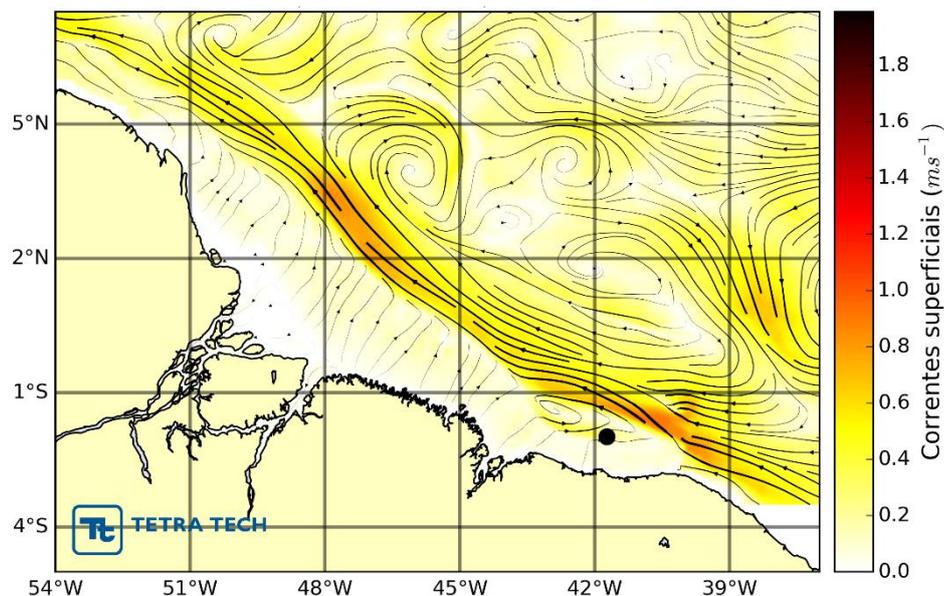


Figura 153 – Campo de corrente em superfície para o período de janeiro a junho, a partir de resultados da modelagem. Fonte: Tetra Tech.

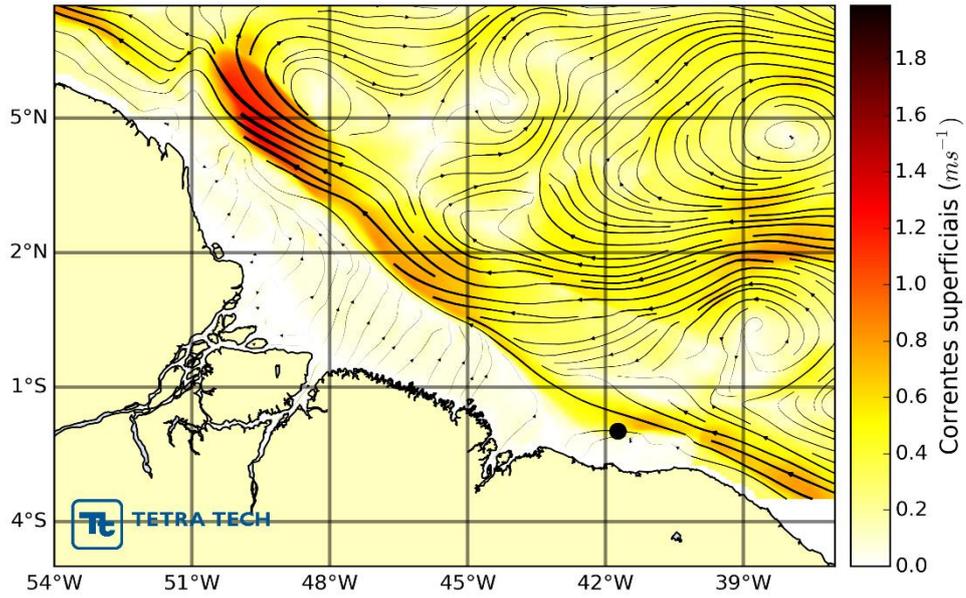


Figura 154 – Campo de corrente em superfície para o período de julho a dezembro, a partir de resultados da modelagem. Fonte: Tetra Tech.

Medições de corrente por ADCP do projeto WOCE

Entre 1990 e 1997, o *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE), uma ramificação do *World Climate Research Programme* (WCRP), contou com a colaboração de mais de 30 países para realizar um projeto de observações via satélite e coletas *in-situ* em todos os oceanos. Este programa, patrocinado por organizações intergovernamentais e não governamentais, tem por objetivo estudar o papel dos oceanos no sistema climático global. Cientistas de aproximadamente 30 países combinaram esforços para realizar um experimento de observação e coleta de dados oceânicos de âmbito internacional, entre 1989 e 1997. Os objetivos principais do programa envolveram: o desenvolvimento de modelos oceânicos, coleta de dados necessários para avaliar tais modelos; e a representação do conjunto de dados WOCE para avaliar o comportamento de longo prazo dos oceanos.

As informações de correntes apresentadas a seguir, foram obtidas junto ao Banco de Dados do WOCE e se referem aos fundeios realizados na região da costa norte do Brasil, mais especificamente na Bacia Pará-Maranhão. A localização e período de coleta dos fundeios K327, K328, K340 e K361 são apresentados na Tabela 26 e Figura 65.

A análise a seguir, decorrente do conjunto de dados do WOCE, foi realizada a partir da seleção de três profundidades para representar a circulação das camadas de superfície, intermediárias e de fundo.

K327

Na Figura 155 observa-se um gráfico do tipo *boxplot*, onde cada uma das caixas representa uma profundidade e a linha vermelha representa a mediana das intensidades das correntes medidas entre 07 de setembro de 1989 até 10 de outubro de 1990 no fundeiro K327 do levantamento ACM7 do WOCE. Observa-se uma predominância de intensidades superiores a 1 m/s nas camadas superficiais, com um decaimento das velocidades em níveis mais profundos.

A Figura 156 apresenta o histograma direcional da corrente para todo o período de análise com base nos dados do fundeiro K327 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a intensidade é indicada pela escala de cores. A Tabela 39 apresenta a ocorrência conjunta das intensidades (em m/s) e das direções (a cada 45°).

Verifica-se que 98,1% das correntes fluem para noroeste com intensidade média de 1,18 m/s. Em todo o período de análise, 50,1% das correntes apresentam intensidades entre 1,0 e 1,4 m/s.

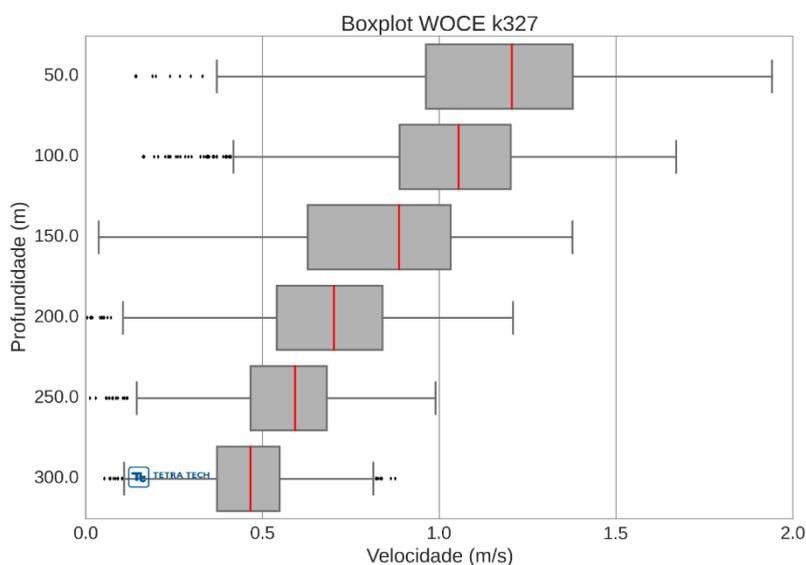


Figura 155 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio K327 do experimento ACM7 do WOCE. Fonte: Tetra Tech.

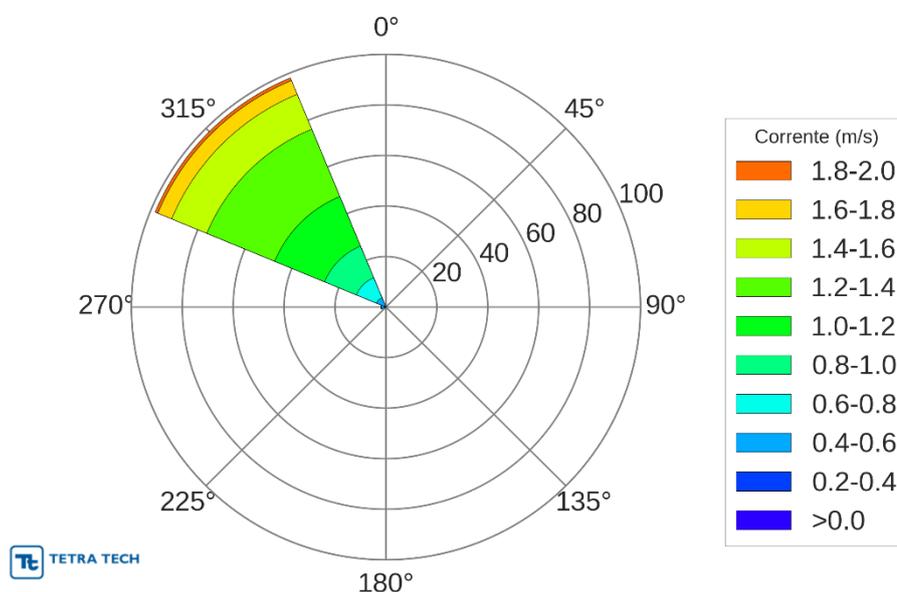


Figura 156 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K327 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 39 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K327 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.25	0.5
0,2-0,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.38	0.8
0,4-0,6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	3.39	4.5
0,6-0,8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	8.53	8.7
0,8-1,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.55	13.6
1,0-1,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.20	21.2
1,2-1,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.86	28.9
1,4-1,6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.93	14.9
1,6-1,8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.90	5.9
1,8-2,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	1.1
(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88	98.12	
Média	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	1.18	
Máximo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	1.94	

K328

A Figura 157 apresenta o *boxplots* das correntes medidas no período de 06 de setembro de 1989 a 11 de outubro de 1990 no fundeio K328 do levantamento ACM7 do WOCE. Observa-se uma predominância do fluxo próximo à 0,6 m/s nas camadas superficiais. As intensidades das correntes decaem progressivamente com o aumento da profundidade.

Da Figura 158 à Figura 160 são apresentados os histogramas direcionais de correntes para todo o período de análise, respectivamente para as profundidades de 72 m, 824 m e 2588 m. Da Tabela 40 à Tabela 42 são apresentados os diagramas de ocorrência conjunta de intensidades e direção, associados a cada profundidade acima citada do fundeio.

Em superfície, verifica-se que 98,3% das correntes ocorrem nos quadrantes NW e W, sendo o predomínio para NW com 84,4%. As intensidades mais frequentes ocorrem entre 0,4 e 0,8 m/s (69,9%), ficando a velocidade média neste quadrante em 0,7 m/s. Na camada intermediária (Figura 159 e Tabela 41) observa-se o predomínio de correntes para N, com 63,8% das ocorrências. Nesta camada, 70,4% das correntes apresentam intensidades de até 0,2 m/s. Já na camada profunda, há um maior espalhamento das direções, à proporção de 24,9% para E, 14,8% para SW, 12,7% para NE e o restante distribuído nas demais direções. Em 98,40% dos registros a intensidade permanece abaixo de 0,2 m/s, sob influência da presença da Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCOP).

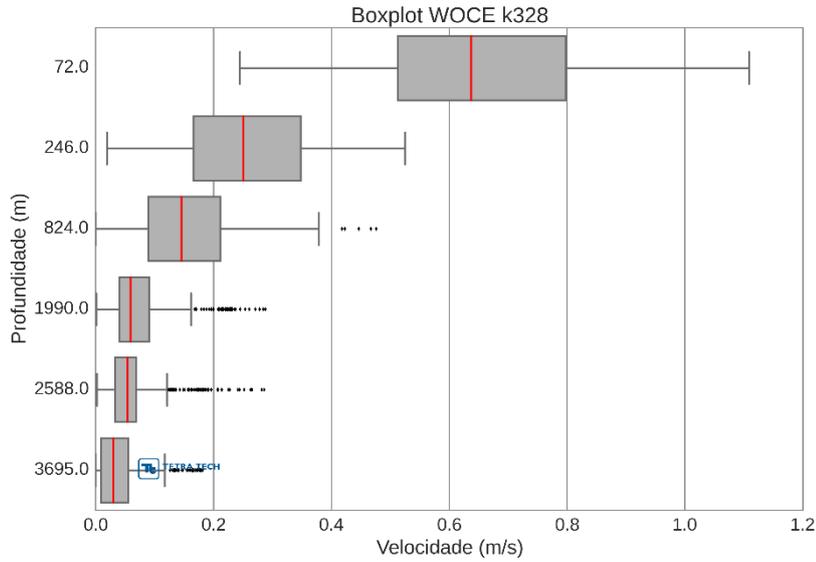


Figura 157 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio k328 do experimento ACM7 do WOCE. Fonte: Tetra Tech.

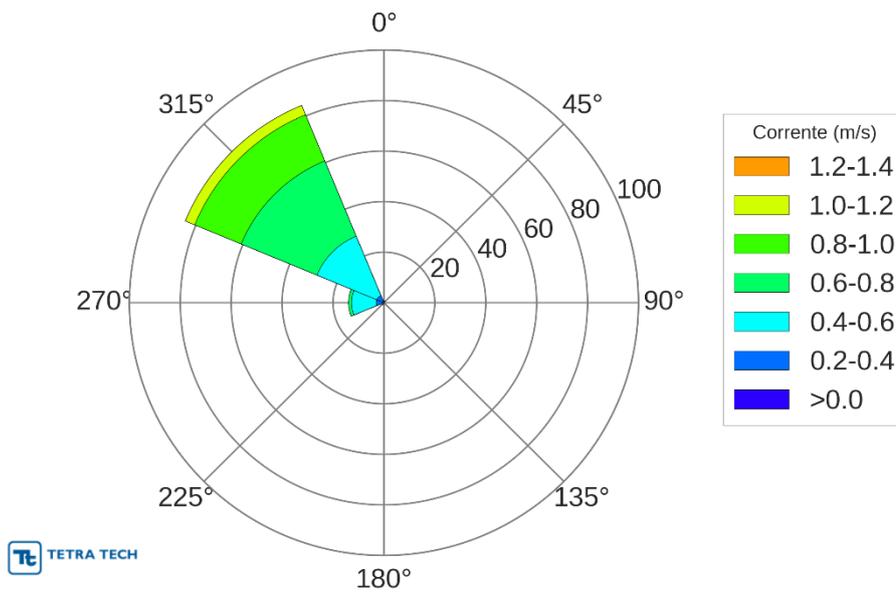


Figura 158 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 72 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 40 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 72 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
0,2-0,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.06	3.06	6.1
0,4-0,6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	9.65	25.41	36.0
0,6-0,8	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18	32.24	33.6
0,8-1,0	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.76	20.2
1,0-1,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	4.0
(%)	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	13.88	84.47	
Média	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.46	0.70	
Máximo	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.67	1.11	

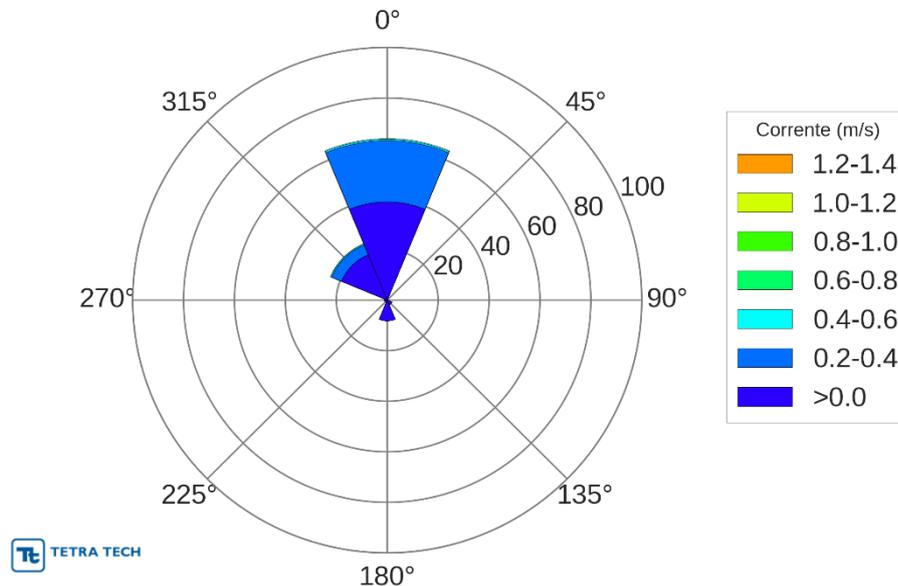


Figura 159 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 824 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 41 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos em 824 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	38.85	0.00	0.00	1.99	8.17	0.88	1.10	19.43	70.4
0,2-0,4	24.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.19	28.5
0,4-0,6	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	1.1
(%)	63.80	0.00	0.00	1.99	8.17	0.88	1.10	24.06	
Média	0.18	0.00	0.00	0.05	0.09	0.03	0.03	0.14	
Máximo	0.48	0.00	0.00	0.08	0.14	0.04	0.04	0.45	

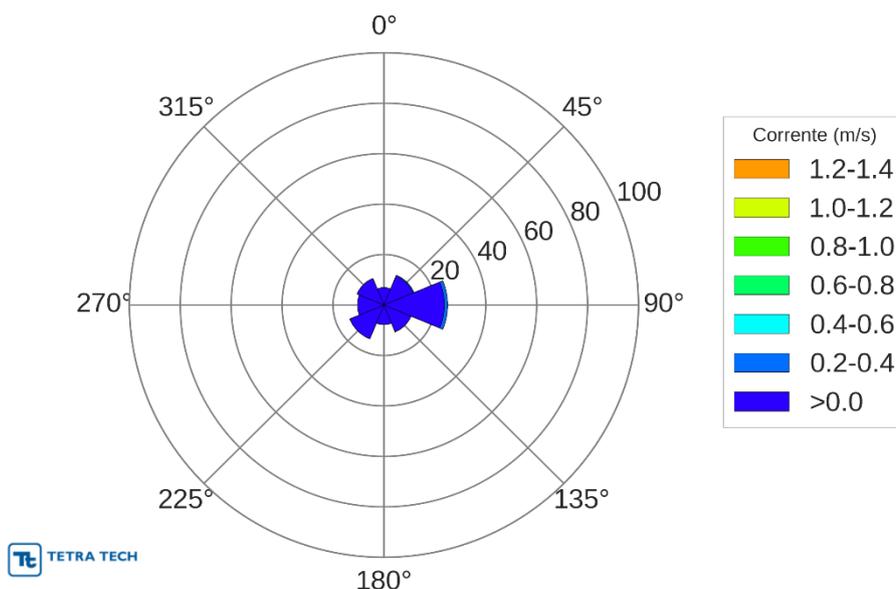


Figura 160 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundo K328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2588 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 42 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundo k328 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2588 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	6.87	12.36	23.72	11.49	7.74	14.48	10.36	11.36	98.4
0,2-0,4	0.00	0.37	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.6
0,4-0,6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
0,6-0,8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
0,8-1,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
1,0-1,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
1,2-1,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
(%)	6.87	12.73	24.97	11.49	7.74	14.48	10.36	11.36	
Média	0.05	0.07	0.08	0.05	0.03	0.04	0.06	0.06	
Máximo	0.10	0.21	0.29	0.18	0.06	0.08	0.13	0.13	

K340

A Figura 161 apresenta o *boxplot* do perfil vertical das correntes medidas de 14 de setembro de 1990 a 08 de outubro de 1991 no fundo K340 do experimento ACM7 do WOCE. Observa-se a predominância de intensidades de aproximadamente 1 m/s nas camadas superficiais bem como um núcleo profundo com velocidades relativamente elevadas próximo a 1500 m. Nas camadas intermediárias (aproximadamente 900 m), a diminuição na intensidade reflete o cisalhamento entre estes dois fluxos.

A Figura 162 até a Figura 164 apresentam os histogramas direcionais de corrente para o período de amostragem do fundeio, respectivamente para as camadas de superfície (50 m), intermediária (847 m) e de fundo (2042 m). Na Tabela 43 a Tabela 45 são apresentados os diagramas de ocorrência conjunta das intensidades e das direções para cada uma das camadas.

Na camada superficial (à profundidade de 50 m), 96,4% das correntes apresentam direção para NW e 64,9% dos registros apontam intensidades entre 0,6 e 1 m/s. Na camada intermediária observa-se o espalhamento das direções, sendo 34,16% dos registros no quadrante NW, 17,3% no quadrante SE e 14,6% no quadrante E. As intensidades médias em cada um destes quadrantes são, respectivamente, 0,19 m/s, 0,17 m/s e 14,68 cm/s. Este padrão reflete a região de transição entre a base da Corrente Norte do Brasil e topo da Corrente de Contorno Oeste Profunda. Na camada de fundo observa-se a predominância da CCOP, com 78,37% das direções concentradas em SE e 55,8% das intensidades variando de 0,2 e 0,4 m/s.

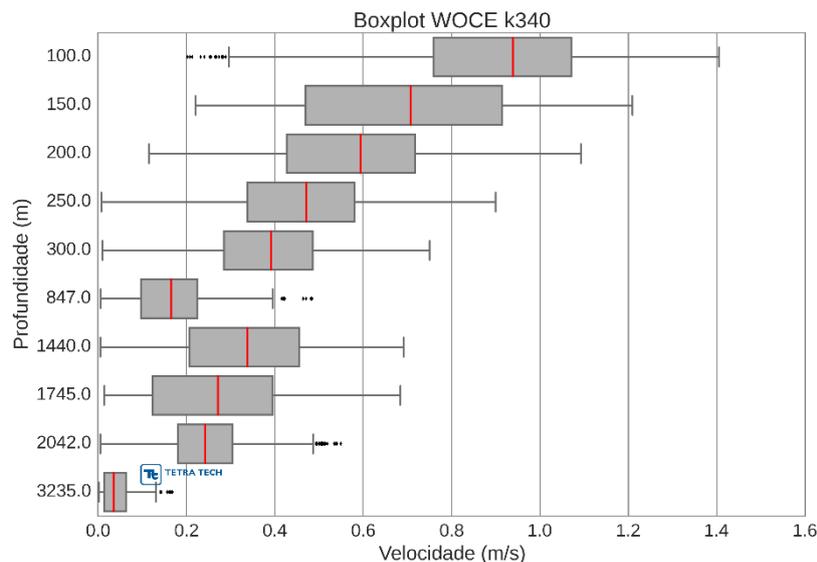


Figura 161 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE. Fonte: Tetra Tech.

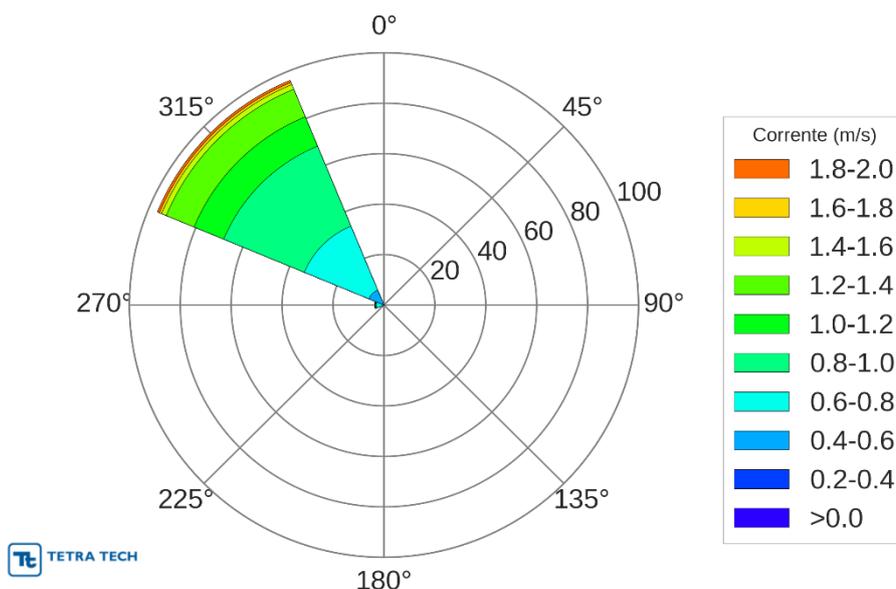


Figura 162 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundo K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 43 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundo K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
0,2-0,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
0,4-0,6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	6.37	6.5
0,6-0,8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.88	27.47	30.3
0,8-1,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	34.29	34.6
1,0-1,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	12.59	12.9
1,2-1,4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.84	11.8
1,4-1,6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.97	2.0
1,6-1,8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.9
1,8-2,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.9
(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.64	96.36	
Média	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.92	
Máximo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	1.87	

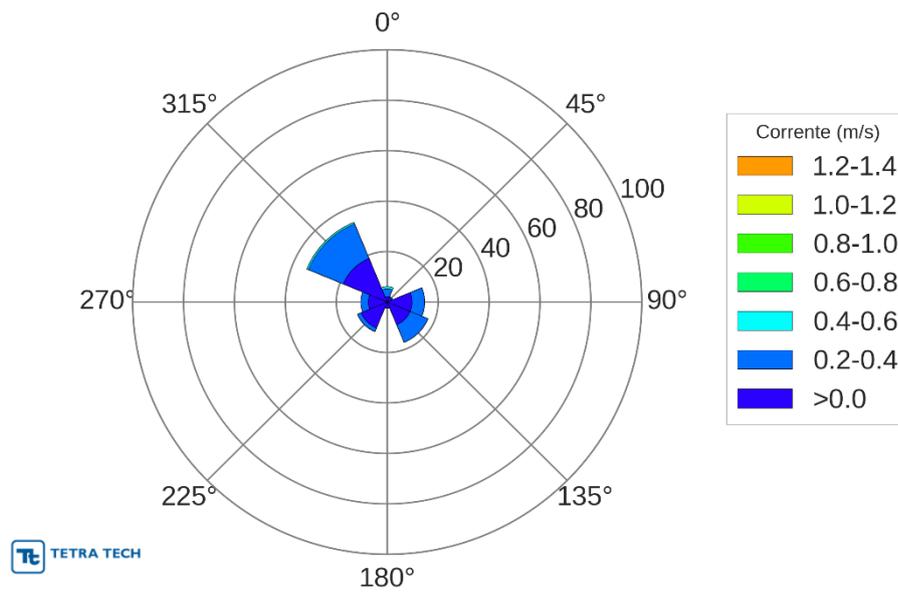


Figura 163 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 847 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 44 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 847 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	2.16	1.85	9.74	9.74	2.47	11.13	7.42	18.70	63.2
0,2-0,4	3.09	0.46	4.95	7.57	0.00	1.55	2.94	14.84	35.4
0,4-0,6	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	1.4
(%)	6.03	2.32	14.68	17.31	2.47	12.67	10.36	34.16	
Média	0.23	0.12	0.15	0.17	0.05	0.12	0.16	0.19	
Máximo	0.48	0.23	0.27	0.27	0.10	0.27	0.29	0.48	

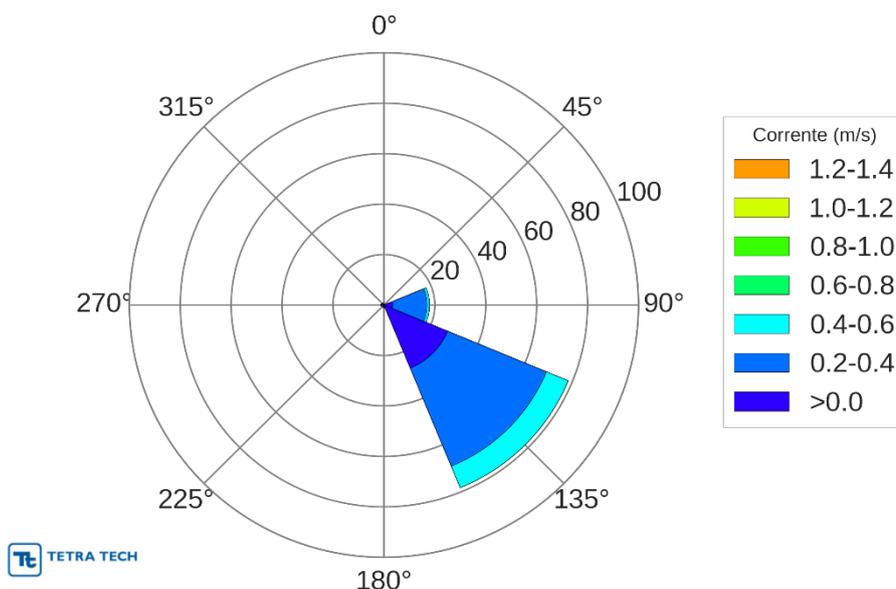


Figura 164 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundo K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2.042 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 45 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundo K340 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2.042 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	0.30	0.15	3.48	27.08	0.76	0.15	1.21	0.91	34.0
0,2-0,4	0.00	0.00	13.46	42.06	0.30	0.00	0.00	0.00	55.8
0,4-0,6	0.00	0.00	0.91	9.23	0.00	0.00	0.00	0.00	10.1
(%)	0.30	0.15	17.85	78.37	1.06	0.15	1.21	0.91	
Média	0.02	0.01	0.28	0.25	0.12	0.05	0.06	0.04	
Máximo	0.02	0.01	0.54	0.55	0.27	0.05	0.08	0.05	

K361

A Figura 165 apresenta o *boxplot* vertical das correntes medidas de 29 de outubro de 1992 a 04 de março de 1994 no fundo K361 do experimento ACM7 do WOCE. As camadas representam as profundidades de 50 m, 101 m, 151 m, 199 m, 430 m, 1.483 m, 1.785 m, 2.985 m, 3.785 m e 4.035 m. Observa-se que, assim como discutido no fundo K340, existem dois núcleos de velocidade localizados próximo à superfície e em aproximadamente 4000 m.

A Figura 166 até a Figura 168 apresentam histogramas direcionais de corrente para o período de coleta de dados, para cada uma das três camadas. Da Tabela 46 à Tabela 48,

são apresentados os diagramas associados, com a ocorrência conjunta de intensidades e direção.

Na superfície (Figura 166 e Tabela 46) observa-se que a direção de 95,62% das correntes ocorre para NW e W, e 66,3% das intensidades variam entre 0,2 e 0,6 m/s. Na camada intermediária (Figura 167 e Tabela 47), nota-se o espalhamento da direção das correntes, principalmente entre as direções SW (21,55%) e E (14,02%), sendo 76,5% das intensidades registradas em até 0,2 m/s. Na camada de fundo (Figura 168 e Tabela 48) as intensidades apresentam uma diminuição, onde 96,1% das correntes registradas têm intensidades de até 0,2 m/s sem direção predominante.

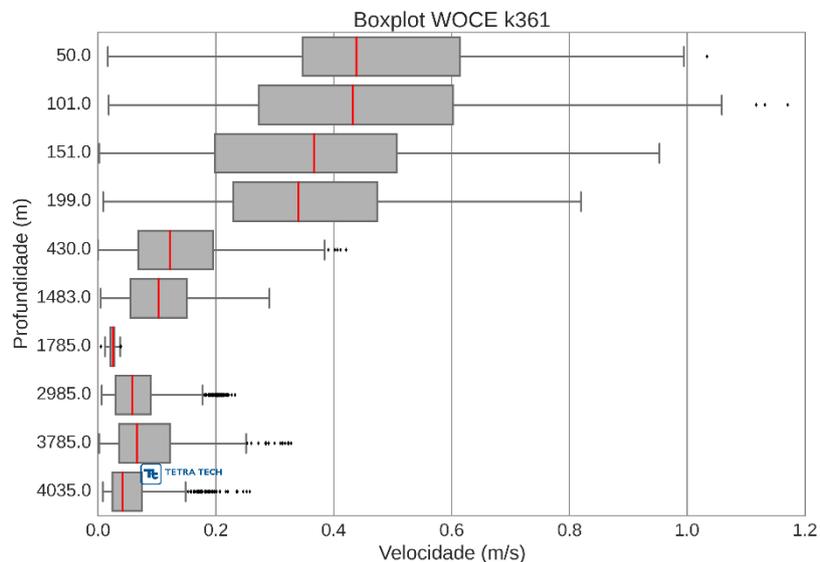


Figura 165 – Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE. Fonte: Tetra Tech.

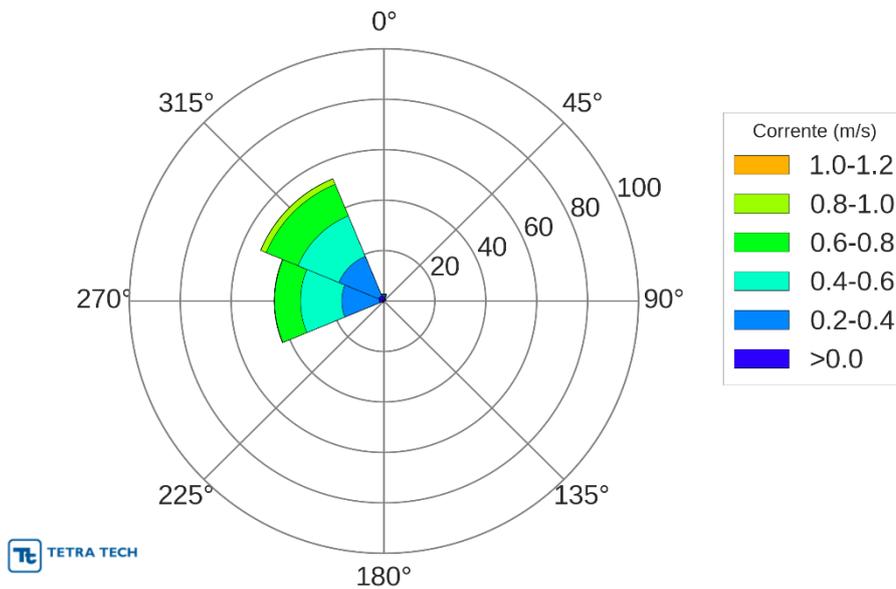


Figura 166 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 46 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 50 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	1.83	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83	2.24	6.7
0,2-0,4	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	14.75	16.89	32.2
0,4-0,6	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	16.17	17.40	34.1
0,6-0,8	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	10.17	13.53	24.2
0,8-1,0	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	2.34	2.6
1,0-1,2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.1
(%)	2.85	0.81	0.00	0.00	0.00	0.71	43.13	52.49	
Média	0.27	0.11	0.00	0.00	0.00	0.51	0.46	0.48	
Máximo	0.80	0.16	0.00	0.00	0.00	0.74	0.81	1.03	

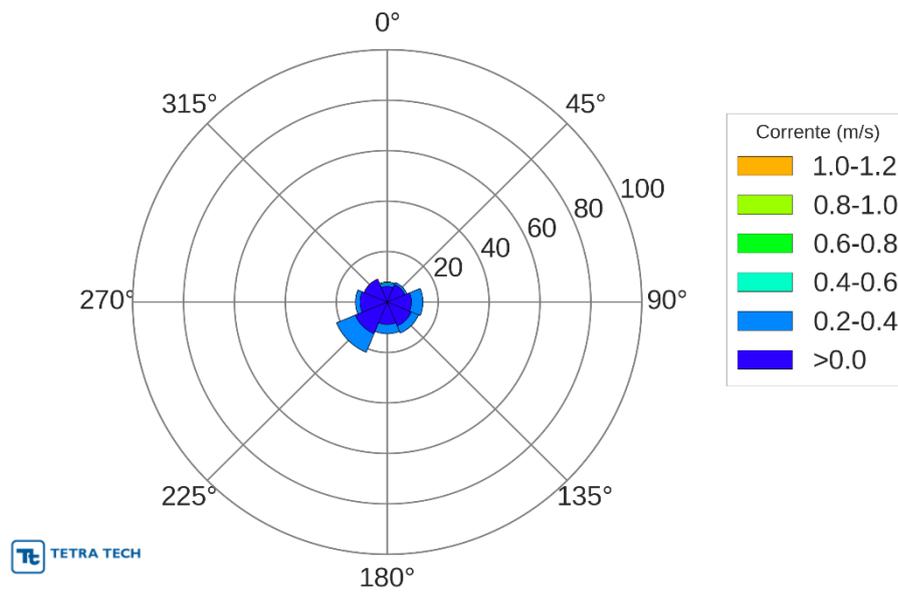


Figura 167 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundo K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 430 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 47 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundo K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 430 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	6.17	7.53	9.52	10.25	8.89	13.60	10.67	9.83	76.5
0,2-0,4	1.36	0.84	4.50	3.03	3.66	7.95	1.78	0.00	23.1
0,4-0,6	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.4
(%)	7.95	8.37	14.02	13.28	12.55	21.55	12.45	9.83	
Média	0.14	0.09	0.15	0.13	0.14	0.16	0.14	0.09	
Máximo	0.42	0.26	0.29	0.29	0.27	0.32	0.26	0.18	

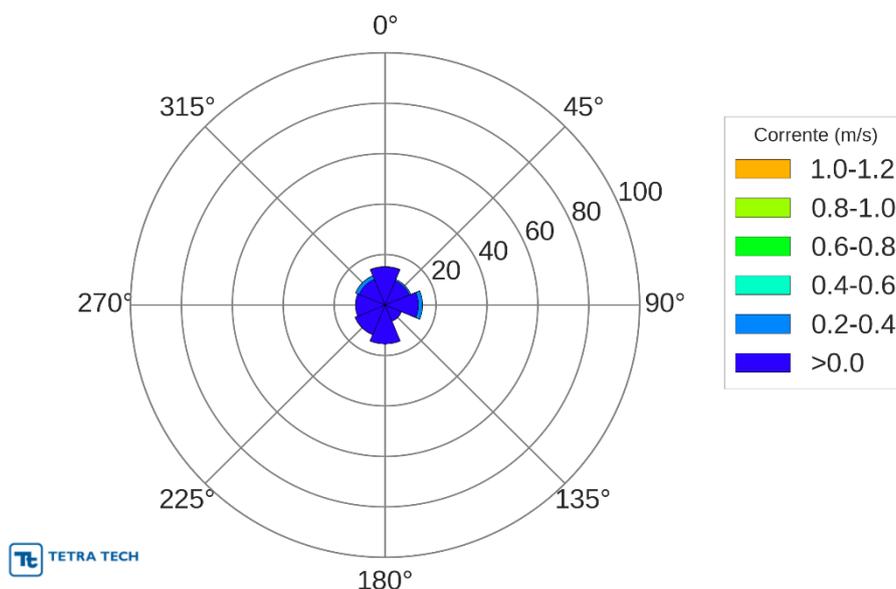


Figura 168 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2985 m de profundidade. Fonte: Tetra Tech.

Tabela 48 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio K361 do experimento ACM7 do WOCE, medidos a 2985 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	15.09	10.30	13.05	6.93	15.39	12.74	11.62	11.01	96.1
0,2-0,4	0.10	0.61	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	1.53	3.9
(%)	15.19	10.91	14.68	6.93	15.39	12.74	11.62	12.54	
Média	0.06	0.07	0.09	0.05	0.05	0.07	0.07	0.09	
Máximo	0.20	0.23	0.22	0.11	0.10	0.13	0.14	0.22	

Medições de corrente por ADCP e correntômetro nas adjacências do Bloco BM-BAR-3

Para um entendimento da dinâmica entre a descarga do Rio Amazonas sobre a Corrente Norte do Brasil na região do bloco BFZ-2, foi solicitado pela BP a coleta de dados de corrente em dois fundeios, denominados M1 e M2, no período de 12 de junho de 2000 a 21 de Março de 2001. Para a realização do levantamento, foram utilizados ADCPs e sensores de temperatura. O ADCP do fundeio M1 foi colocado a 976 m e o do M2 em 1977 m de profundidade.

Para uma melhor descrição da circulação no entorno do Bloco BM-BAR-3, a BP solicitou o levantamento de dados de corrente e temperatura para o período de 19 de abril de 2008 à 15 de agosto de 2008. Neste levantamento foram lançados dois fundeios denominados, PH1 e PH2, com ADCPs, correntômetros e sensores de temperatura acoplados. Cada fundeio foi montado com um ADCP de 24 bins posicionado em 430 m e apontado para a superfície. Os correntômetros do fundeio PH1 foram instalados nas profundidades de 632m, 892m, 1162m, 1431m, 1703m, 1973m, 2244m e 2514m. Já os correntômetros do fundeio PH2, nas profundidades de 663 m, 920 m, 1187 m, 1454 m, 1721 m, 1988 m, 2255 m e 2522 m.

Ponto M1

A Figura 169 apresenta o *boxplot* do perfil vertical das correntes medidas de julho de 2000 a março 2001 no fundeio M1. Observa-se a predominância de intensidades de aproximadamente entre 0,5 e 1,0 m/s nas camadas superficiais e em torno de 0,5 m/s nas camadas intermediárias.

A Figura 170 até a Figura 172 apresentam os histogramas direcionais de corrente para o período de amostragem do fundeio, respectivamente para as camadas de superfície (12 m), intermediária (977 m) e de fundo (1577 m). Na Tabela 49, Tabela 50 e Tabela 51 são apresentados os diagramas de ocorrência conjunta das intensidades e das direções para cada uma das camadas.

Na camada superficial (à profundidade de 12 m), 38,1% das correntes apresentam direção para NW e 23,6% dos registros apontam intensidades entre 0,4 e 0,4 m/s. Na camada intermediária observa-se o espalhamento das direções, sendo 21,6% dos registros no quadrante W, 21,3% no quadrante NW. As intensidades médias em cada um destes

quadrantes são, respectivamente, 0,63 m/s, 0,34 m/s. Na camada de fundo observa-se a predominância da CCOP, com 99% das direções concentradas em E e SE e 95% das intensidades variando de 0,2 e 0,6 m/s.

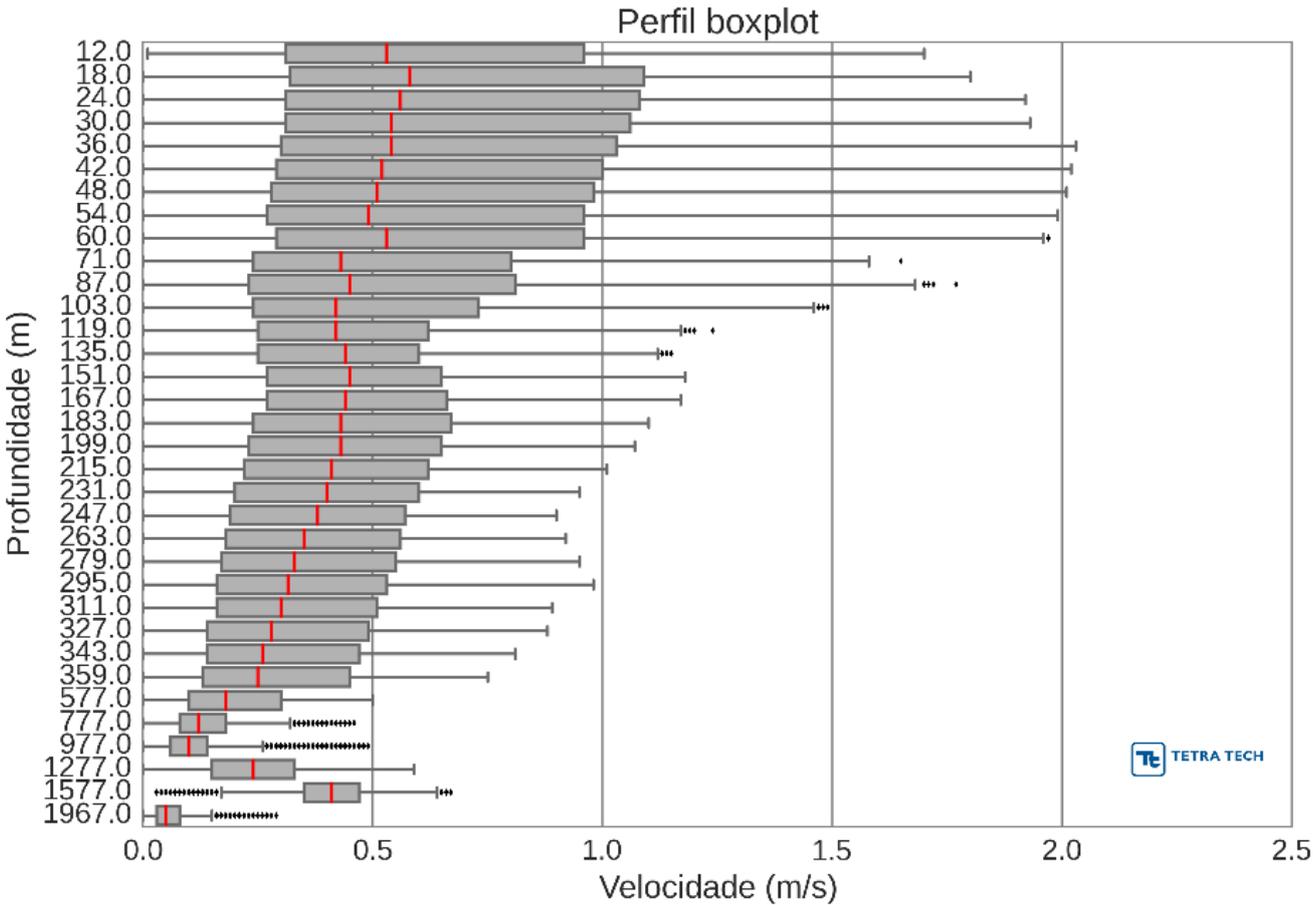


Figura 169 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio M1.

Rosa de Intensidade da Corrente (m/s) - convenção oceanográfica

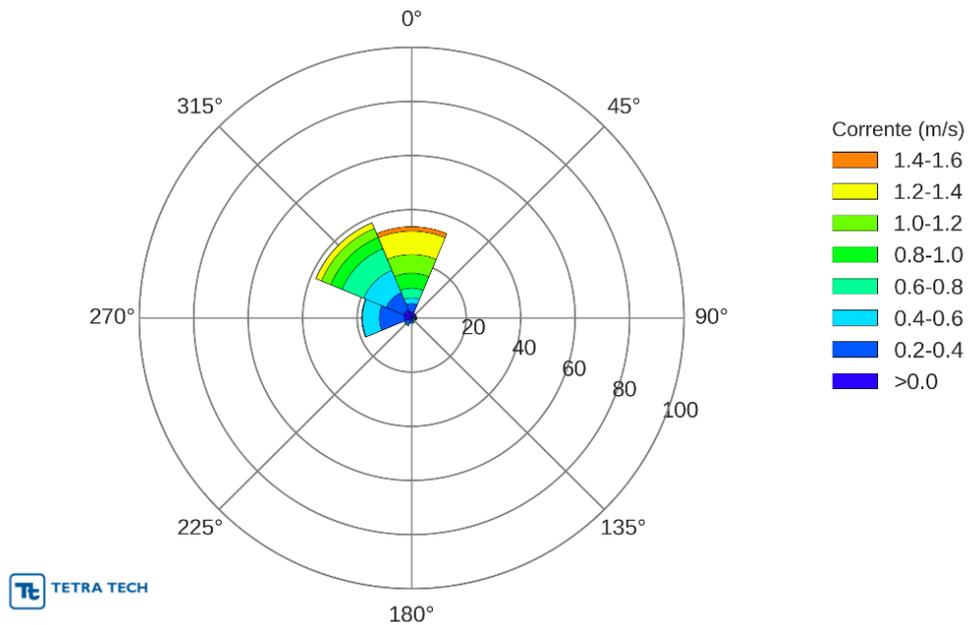


Figura 170 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M1, medidos a 12 m de profundidade.

Tabela 49 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M1, medidos a 12 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	2,31	1,01	0,53	0,31	0,55	1,18	2,74	3,14	11,8
0,2-0,4	3,03	0,54	0,90	0,48	1,09	1,48	9,14	6,94	23,6
0,4-0,6	2,14	0,03	0,32	0,50	0,29	0,43	6,23	8,97	18,9
0,6-0,8	3,56	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,18	8,63	12,4
0,8-1,0	5,51	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	10,2
1,0-1,2	6,89	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,64	10,6
1,2-1,4	8,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	10,8
1,4-1,6	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,7
(%)	33,75	1,78	1,78	1,30	1,94	3,10	18,28	38,08	
Média	0,92	0,26	0,27	0,31	0,27	0,25	0,34	0,63	
Máximo	1,70	1,03	0,65	0,64	0,56	0,61	0,78	1,48	

Rosa de Intensidade da Corrente (m/s) - convenção oceanográfica

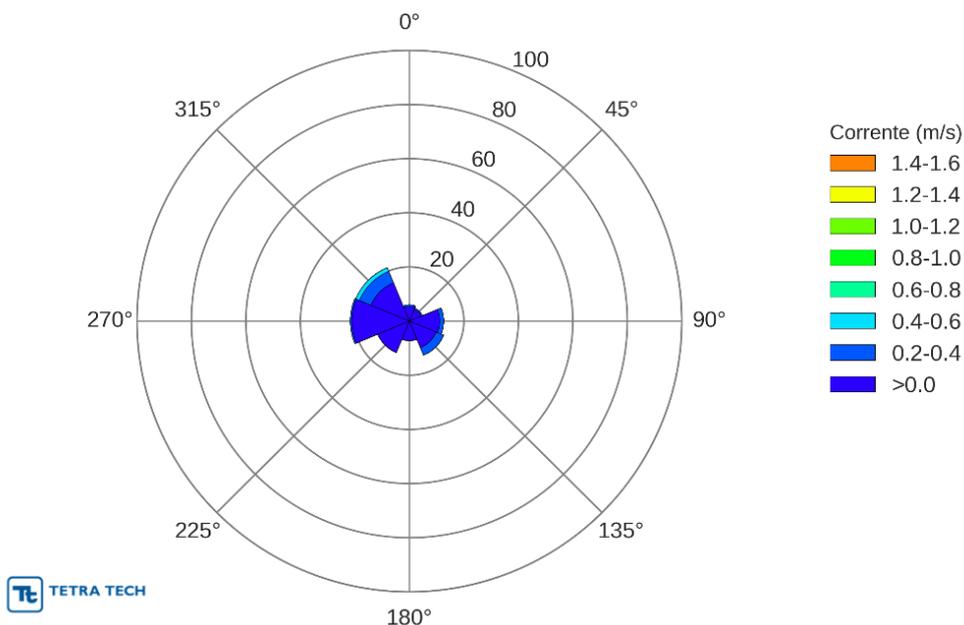


Figura 171 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M1, medidos a 977 m de profundidade.

Tabela 50 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M1, medidos a 977 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	5,38	4,65	11,13	10,63	7,14	12,56	21,15	15,30	87,9
0,2-0,4	0,62	0,46	1,42	2,97	0,08	0,01	0,49	4,58	10,6
0,4-0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	1,4
0,6-0,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,8-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,0-1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,2-1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,4-1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	5,99	5,11	12,56	13,60	7,22	12,57	21,64	21,32	
Média	0,10	0,10	0,13	0,13	0,08	0,09	0,09	0,15	
Máximo	0,30	0,27	0,30	0,33	0,23	0,21	0,34	0,49	

Rosa de Intensidade da Corrente (m/s) - convenção oceanográfica

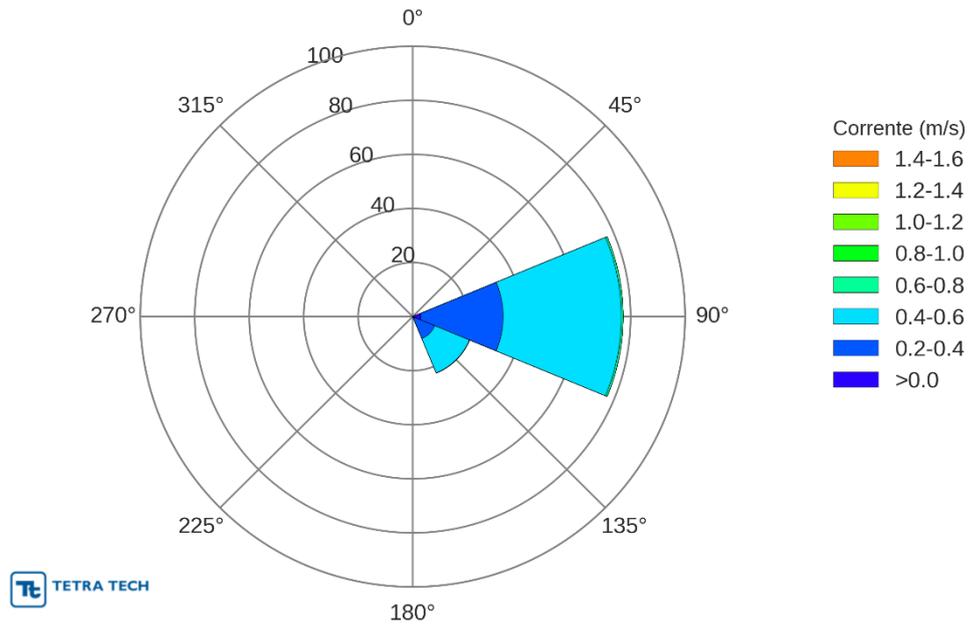


Figura 172 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M1, medidos a 1.577 m de profundidade.

Tabela 51 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M1, medidos a 1.577 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	0,00	0,13	3,01	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	4,0
0,2-0,4	0,00	0,01	30,17	7,95	0,00	0,00	0,00	0,00	38,1
0,4-0,6	0,00	0,00	43,39	13,77	0,00	0,00	0,00	0,00	57,2
0,6-0,8	0,00	0,00	0,66	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,7
0,8-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,0-1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,2-1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,4-1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	0,00	0,14	77,23	22,63	0,00	0,00	0,00	0,00	
Média	0,00	0,11	0,40	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	
Máximo	0,00	0,21	0,67	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	

Ponto M2

A Figura 173 **Figura 161** apresenta o *boxplot* do perfil vertical das correntes medidas de julho de 2000 a março de 2001 no fundeio M2. Observa-se a predominância de intensidades de aproximadamente 1 m/s nas camadas.

A Figura 174 e Figura 175 apresentam os histogramas direcionais de corrente para o período de amostragem do fundeio, respectivamente para as camadas de superfície (13 m), e de fundo (776 m). Na Tabela 52 e Tabela 53 são apresentados os diagramas de ocorrência conjunta das intensidades e das direções para cada uma das camadas.

Na camada superficial (à profundidade de 13 m), 67,8% das correntes apresentam direção para NW e 22,0% dos registros apontam intensidades entre 0,8 e 1 m/s. Na camada de fundo observa-se um espalhamento nas direções, sendo 22,77% de SE, 21,68 de E e 15,22 de NE. Em relação às intensidades, 92,7% variaram de 0,0 a 0,2 m/s.

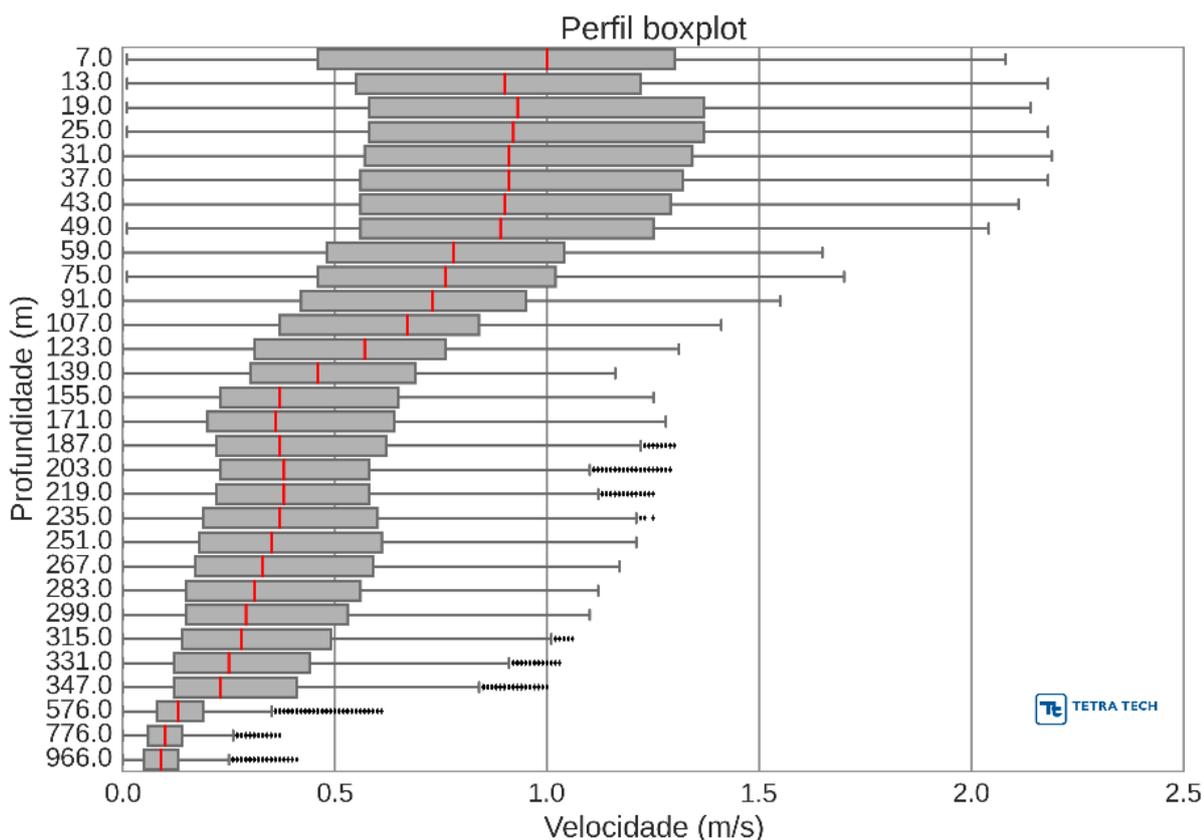


Figura 173 - Boxplot vertical das correntes obtidas no fundeio M2..

Rosa de Intensidade da Corrente (m/s) - convenção oceanográfica

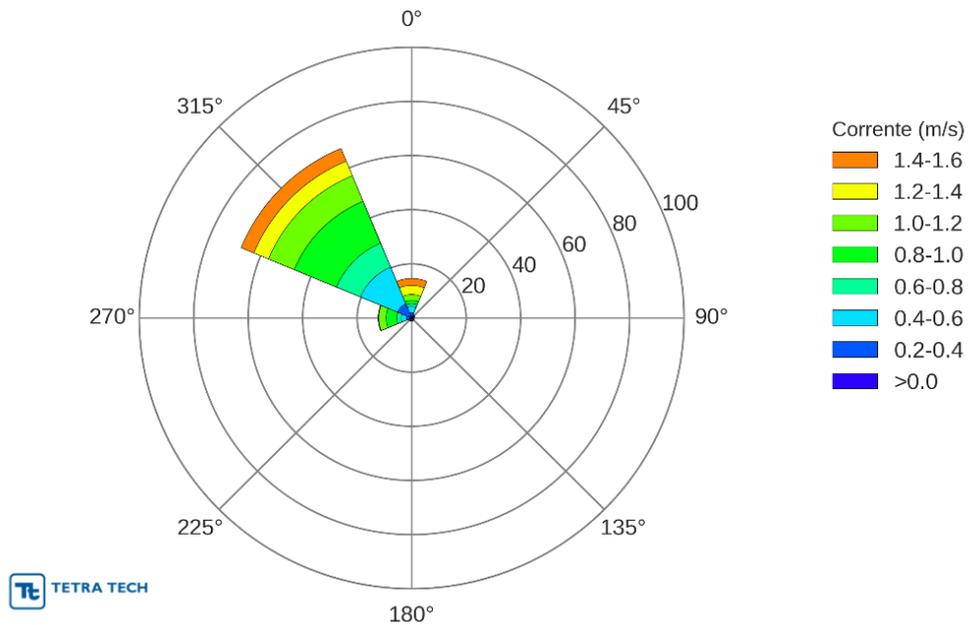


Figura 174 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M2, medidos a 13 m de profundidade.

Tabela 52 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M2, medidos a 13 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	0,60	0,45	0,59	0,67	0,40	0,51	0,48	0,44	4,1
0,2-0,4	1,33	0,15	0,09	0,24	0,58	0,60	1,49	5,18	9,6
0,4-0,6	2,34	0,25	0,00	0,02	0,23	0,07	1,93	14,69	19,5
0,6-0,8	0,96	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	9,57	12,4
0,8-1,0	1,21	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	3,92	16,78	22,0
1,0-1,2	2,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,73	10,24	15,2
1,2-1,4	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	5,83	9,3
1,4-1,6	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,07	7,7
(%)	14,64	1,29	0,67	0,93	1,21	1,18	12,29	67,79	
Média	1,23	0,42	0,13	0,17	0,25	0,22	0,75	0,91	
Máximo	2,18	0,92	0,42	0,42	0,61	0,58	1,38	1,98	

Rosa de Intensidade da Corrente (m/s) - convenção oceanográfica

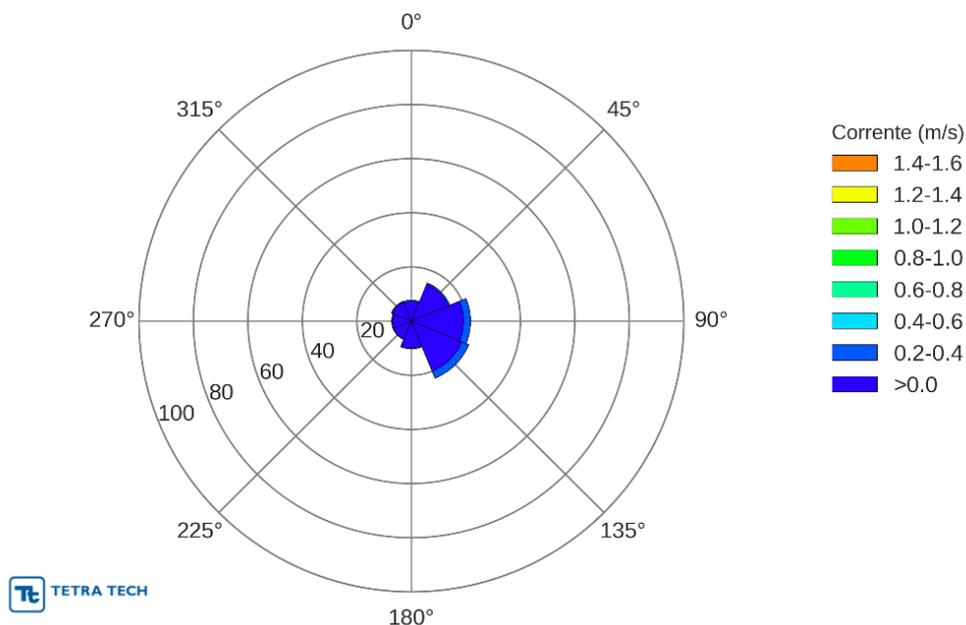


Figura 175 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio M2, medidos a 776 m de profundidade.

Tabela 53 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio M2, medidos a 776 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	7,21	14,70	19,11	20,00	9,87	7,19	6,97	7,63	92,7
0,2-0,4	0,52	0,52	2,56	2,75	0,36	0,09	0,24	0,26	7,3
0,4-0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,6-0,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,8-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,0-1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,2-1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,4-1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	7,74	15,22	21,68	22,76	10,23	7,28	7,21	7,88	
Média	0,10	0,11	0,12	0,12	0,09	0,09	0,09	0,09	
Máximo	0,26	0,26	0,37	0,34	0,26	0,24	0,29	0,31	

Ponto PH1 (ADCP)

A Figura 176 apresenta o *boxplot* do perfil vertical das correntes medidas por ADCP de abril a agosto de 2008 no fundeio PH1. Nas camadas superficiais, até 140 m observou-se a predominância de intensidades em torno de 0,6 m/s. Abaixo desta profundidade observa-se a diminuição na intensidade que reflete o cisalhamento entre os fluxos.

A Figura 177 até Figura 178 a apresentam os histogramas direcionais de corrente para o período de amostragem do fundeio, respectivamente para as camadas de superfície (53 m), e subsuperfície (389 m). Na Tabela 54 e Tabela 55 são apresentados os diagramas de ocorrência conjunta das intensidades e das direções para cada uma das camadas.

Na camada superficial (à profundidade de 53 m), 61,3% das correntes apresentam direção para NW e 48% dos registros apontam intensidades entre 0,6 e 1 m/s. Na camada de subsuperfície observa-se também a predominância de correntes na direção NE (71%), com 80% das intensidades variando de 0,0 e 0,4 m/s.

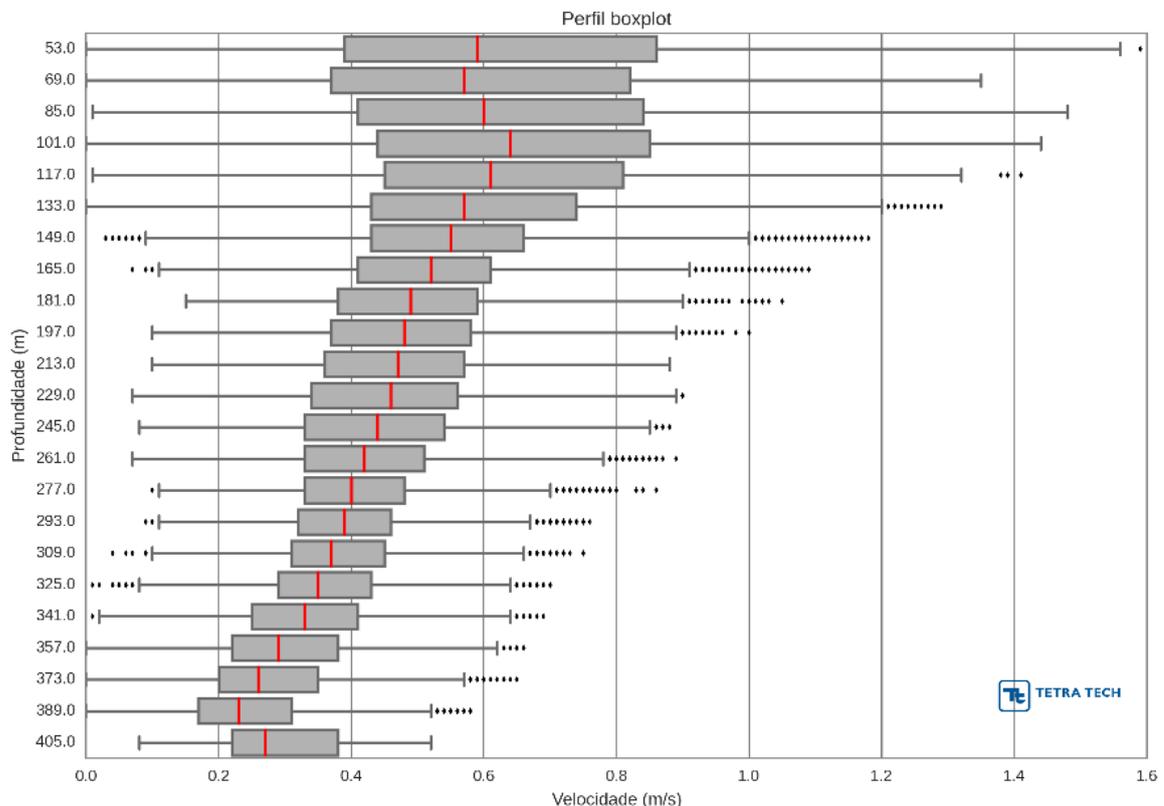


Figura 176 - Boxplot vertical das correntes obtidas no ADCP do fundeio PH1.

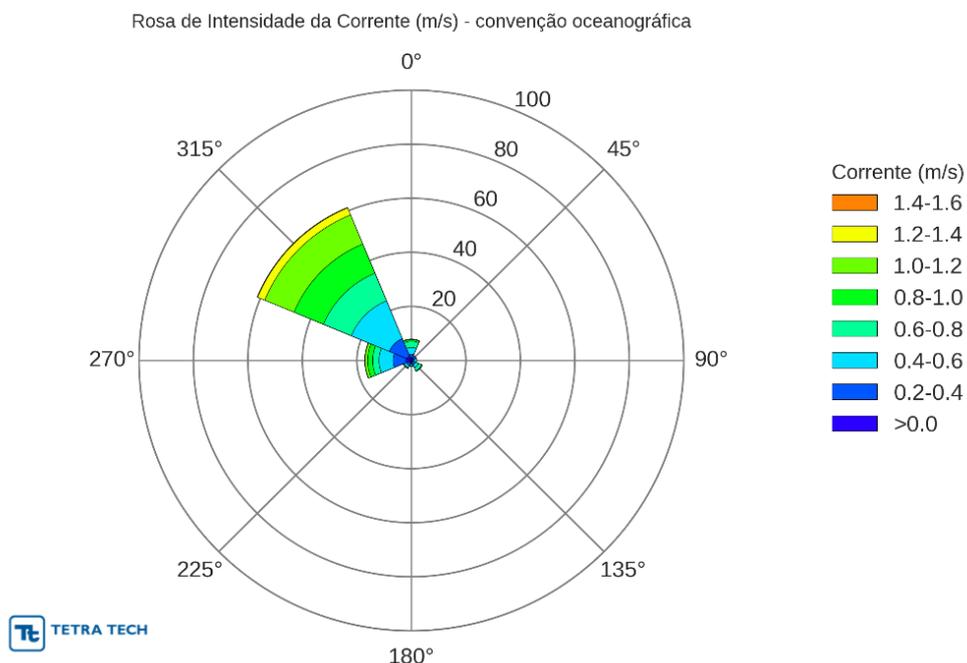


Figura 177 - Histograma direcional dos vetores de corrente do ADCP do fundeio PH1, medidos a 53 m de profundidade.

Tabela 54 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no do ADCP do fundeio PH1, medidos a 53 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	1,17	1,10	0,55	0,31	0,75	0,98	2,09	1,73	8,7
0,2-0,4	1,12	0,80	0,41	1,33	0,68	0,99	4,67	7,03	17,0
0,4-0,6	2,53	0,02	0,70	1,24	0,58	0,95	5,13	15,11	26,3
0,6-0,8	2,28	0,00	0,35	1,21	0,21	0,24	2,31	11,06	17,7
0,8-1,0	0,64	0,00	0,00	0,26	0,02	0,05	1,84	11,71	14,5
1,0-1,2	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	11,66	12,7
1,2-1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	2,77	2,9
1,4-1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,2
(%)	7,86	1,92	2,02	4,35	2,25	3,21	17,09	61,30	
Média	0,51	0,18	0,38	0,48	0,33	0,33	0,50	0,73	
Máximo	1,15	0,49	0,77	0,89	0,81	0,83	1,29	1,59	

Rosa de Intensidade da Corrente (m/s) - convenção oceanográfica

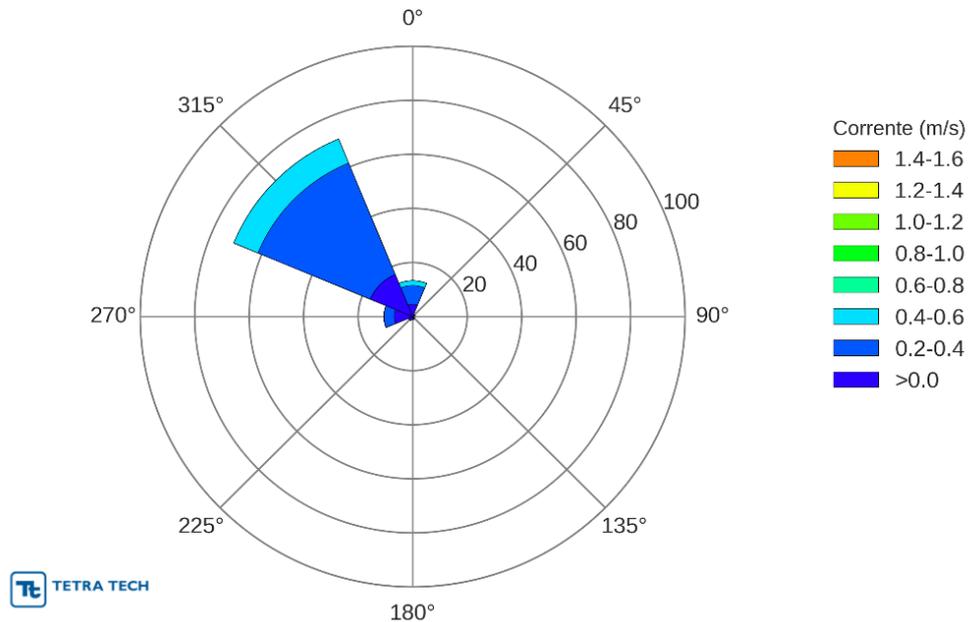


Figura 178 - Histograma direcional dos vetores de corrente do ADCP do fundeio PH1, medidos a 389 m de profundidade.

Tabela 55 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente do ADCP do fundeio PH1, medidos a 389 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	4,53	0,96	0,36	0,84	1,23	1,66	6,78	16,86	33,2
0,2-0,4	6,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,78	44,62	55,4
0,4-0,6	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	9,60	11,4
0,6-0,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,8-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,0-1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,2-1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,4-1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	13,28	0,96	0,36	0,84	1,23	1,66	10,58	71,09	
Média	0,25	0,06	0,05	0,07	0,10	0,08	0,17	0,27	
Máximo	0,58	0,14	0,12	0,15	0,18	0,17	0,41	0,58	

Ponto PH1 (CORRENTOMETRO)

A Figura 179 apresenta o *boxplot* do perfil vertical das correntes medidas no fundo, através de correntômetros, no período de abril a agosto de 2008. Observa-se a predominância de intensidades de abaixo de 0,3 m/s.

A Figura 180 e Figura 181 apresentam os histogramas direcionais de corrente para o período de amostragem do fundeio, respectivamente para as camadas 892 m e 2.244 m. Na Tabela 56 e Tabela 57 são apresentados os diagramas de ocorrência conjunta das intensidades e das direções para cada uma das camadas.

Na camada de 892 m, 39,98% das correntes apresentam direção para NW e 84,6% dos registros apontam intensidades entre 0,0 e 0,2 m/s. Na camada de 2.244 m observa-se 65,91% dos registros no quadrante SE, e 100% da intensidades abaixo de 0,4 m/s. Este padrão reflete a região de predominância da Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCOP).

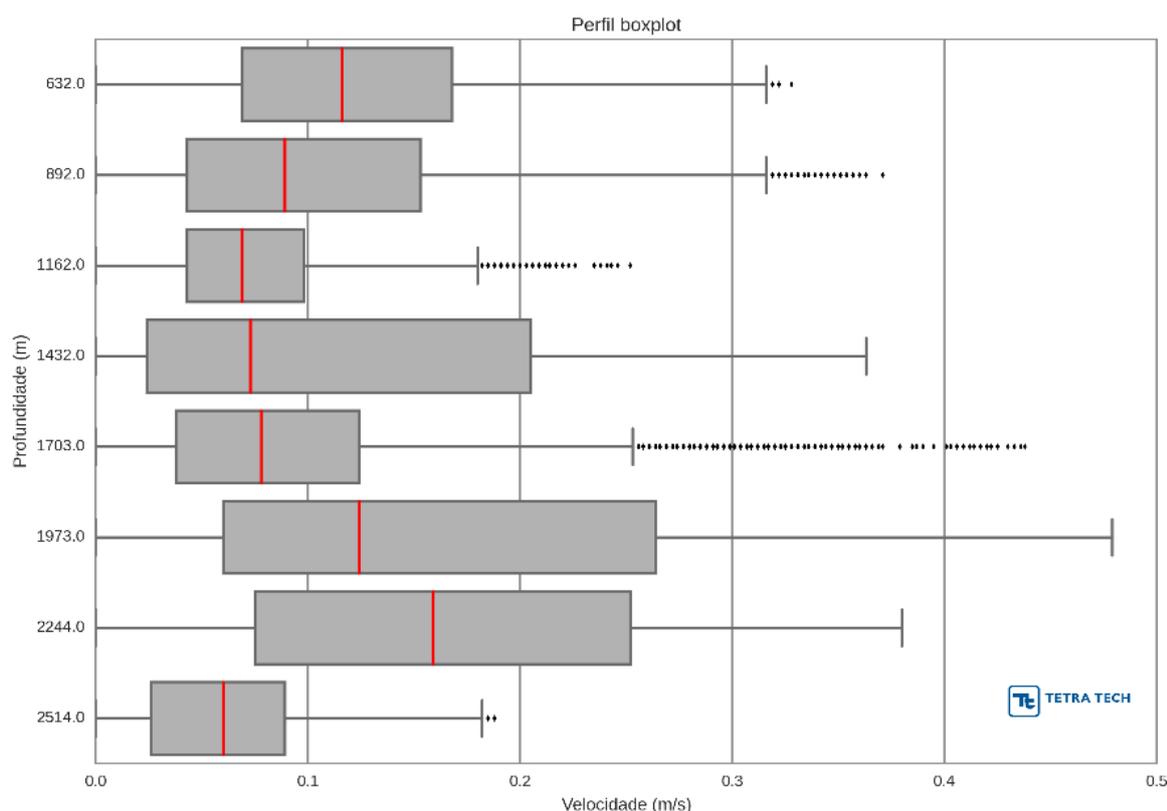


Figura 179 - Boxplot vertical das correntes obtidas através de correntômetros próximo ao fundo no fundeio PH1.

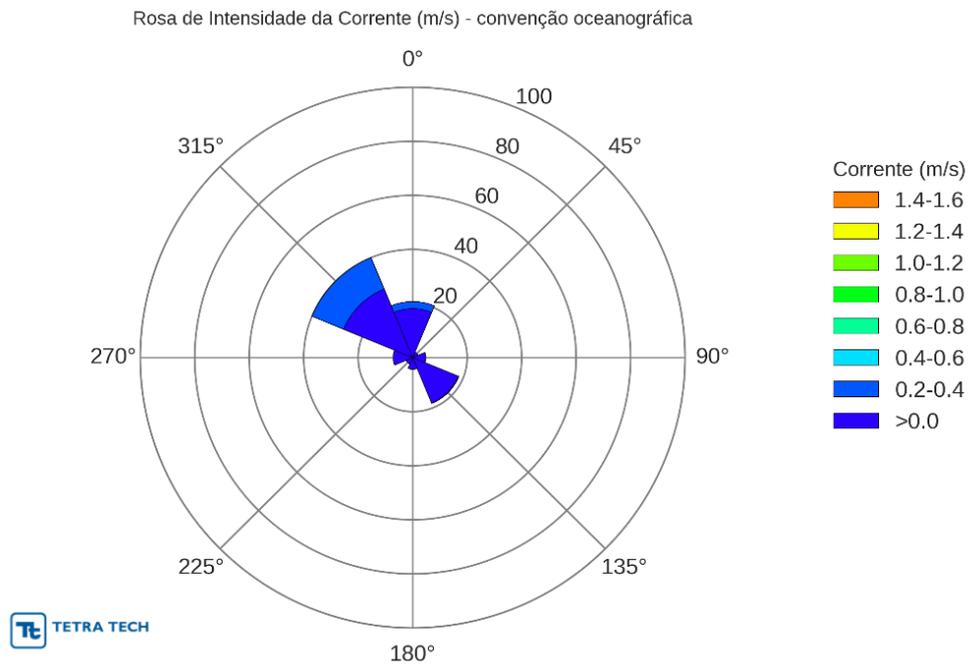


Figura 180 - Histograma direcional dos vetores de corrente através de correntômetro a 892 m de profundidade no fundeio PH1.

Tabela 56 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente através de correntômetro a 892 m de profundidade no fundeio PH1

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	18,11	2,14	4,83	18,09	4,30	2,57	7,16	27,46	84,6
0,2-0,4	2,58	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,01	12,52	15,4
0,4-0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,6-0,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,8-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,0-1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,2-1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,4-1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	20,69	2,14	4,83	18,32	4,30	2,57	7,17	39,98	
Média	0,12	0,06	0,08	0,10	0,08	0,07	0,06	0,15	
Máximo	0,31	0,15	0,18	0,21	0,19	0,17	0,27	0,37	

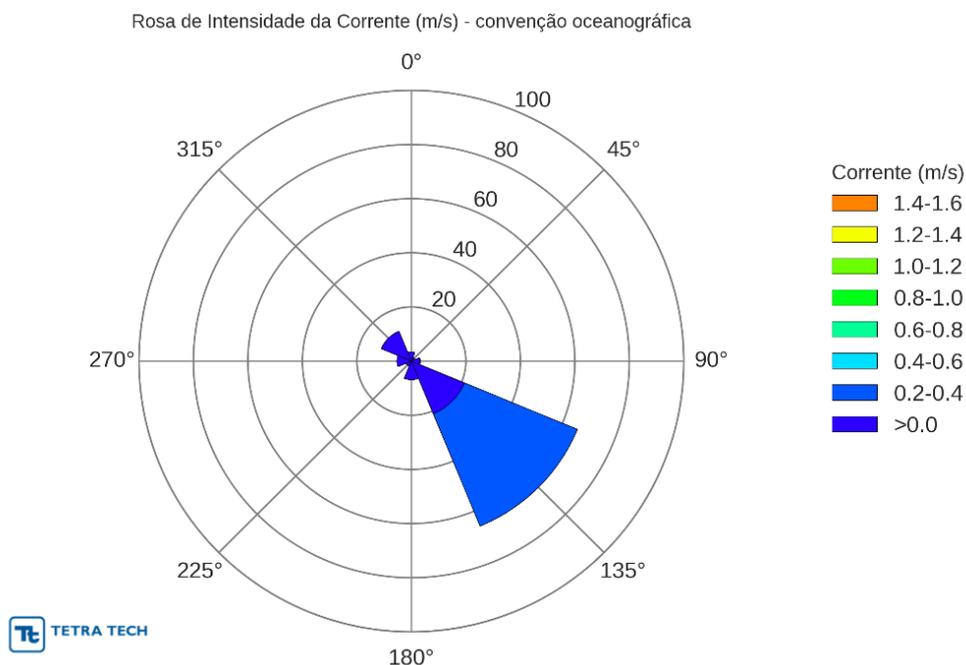


Figura 181 - Histograma direcional dos vetores de corrente através de correntômetro a 2244 m de profundidade no fundeio PH1.

Tabela 57 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente através de correntômetro a 2244 m de profundidade no fundeio PH1.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	3,36	1,39	3,11	21,07	6,83	2,06	5,26	11,94	55,0
0,2-0,4	0,00	0,00	0,14	44,84	0,01	0,00	0,00	0,00	45,0
0,4-0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,6-0,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,8-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,0-1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,2-1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,4-1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	3,36	1,39	3,25	65,91	6,84	2,06	5,26	11,94	
Média	0,10	0,06	0,09	0,22	0,06	0,04	0,06	0,08	
Máximo	0,19	0,11	0,27	0,38	0,25	0,11	0,13	0,18	

Ponto PH2 (ADCP)

A Figura 182 apresenta o *boxplot* do perfil vertical das correntes medidas nas camadas superficiais de abril a agosto de 2008 pelo ADCP do fundeio PH2. Observa-se a predominância de intensidades de aproximadamente 0,8 m/s nas camadas superficiais até 100 m de profundidade e uma diminuição na intensidade reflete o cisalhamento entre estes fluxos.

A Figura 183 e Figura 184 apresentam os histogramas direcionais de corrente para o período de amostragem do fundeio, respectivamente para as camadas de superfície (53 m) e subsuperfície (405 m). Na Tabela 58 e Tabela 59 são apresentados os diagramas de ocorrência conjunta das intensidades e das direções para cada uma das camadas.

Na camada superficial (à profundidade de 53 m), 97,06% das correntes apresentam direção para NW e cerca de 80 % dos registros apontam intensidades entre 0,6 e 1,2 m/s. Na camada de subsuperfície observa-se ainda uma predominância de correntes para NW (79,57%) com 99% das intensidades abaixo de 0,6 m/s.

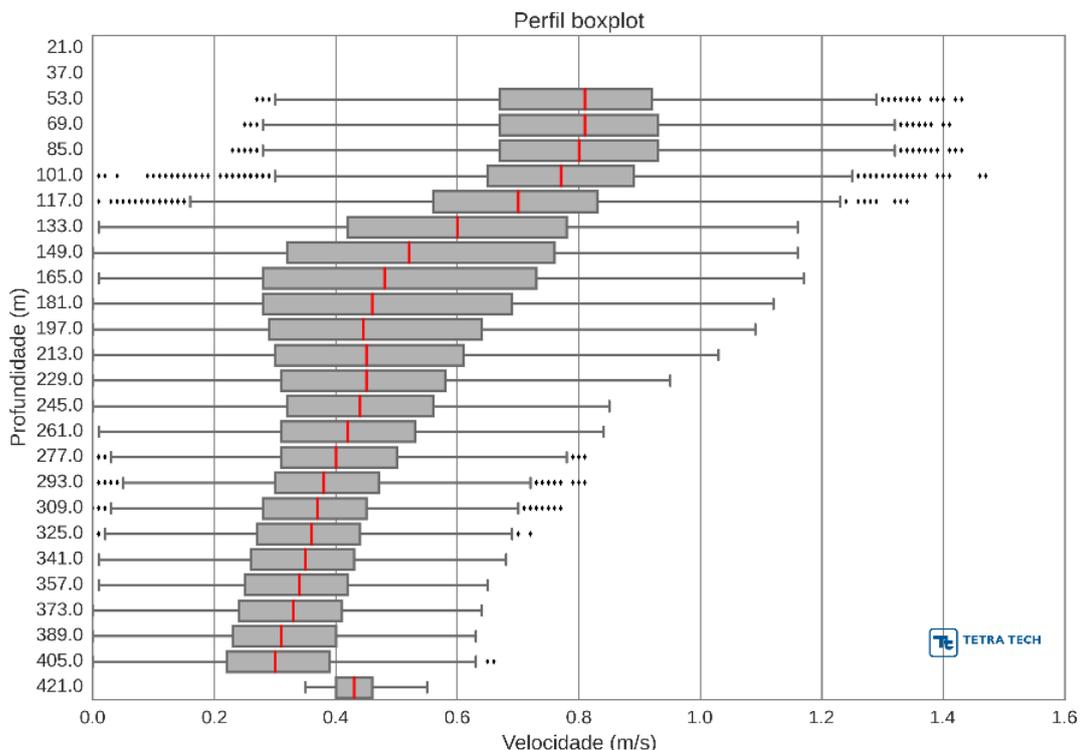


Figura 182 - Boxplot vertical das correntes obtidas por ADCP nas camadas superficiais do fundeio PH2.

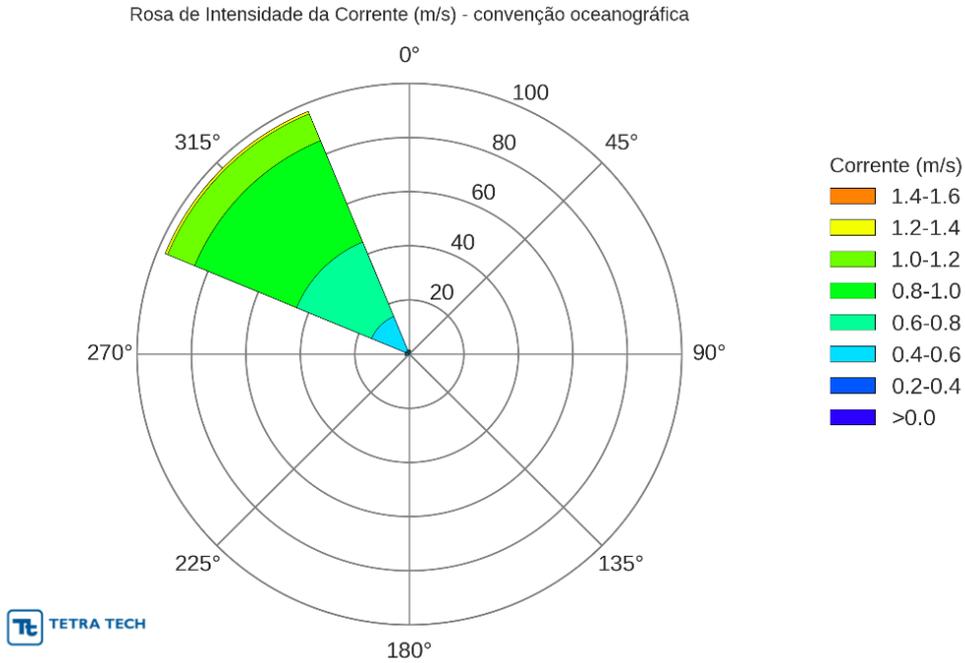


Figura 183 - Histograma direcional dos vetores de corrente obtido por ADCP a 53 m de profundidade no fundeio PH2.

Tabela 58 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente obtido por ADCP a 53 m de profundidade no fundeio PH2.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,2-0,4	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,49	1,6
0,4-0,6	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	13,52	14,5
0,6-0,8	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	29,81	30,6
0,8-1,0	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	40,50	41,3
1,0-1,2	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	10,75	11,0
1,2-1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	1,0
1,4-1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
(%)	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,54	97,06	
Média	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,80	
Máximo	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	1,43	

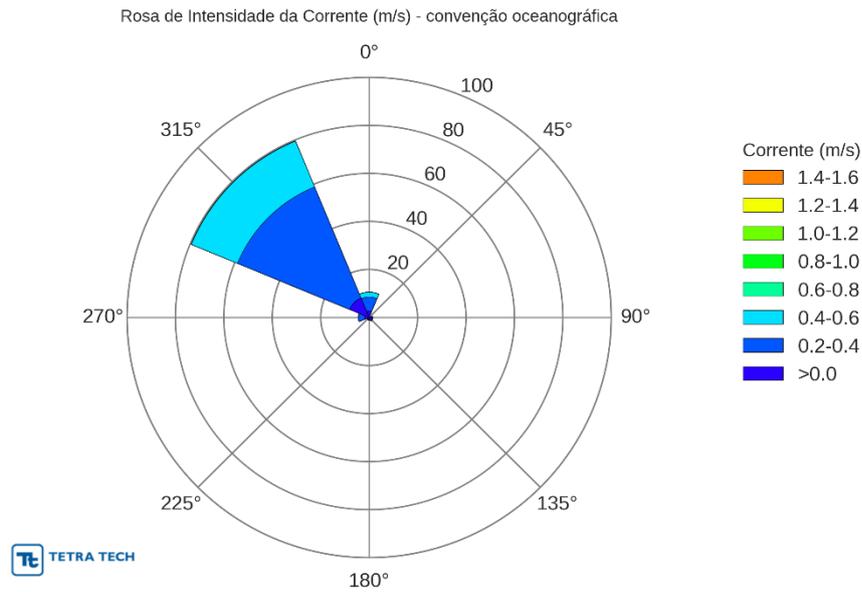


Figura 184 - Histograma direcional dos vetores de corrente obtido por ADCP a 405 m de profundidade no fundeio PH2 .

Tabela 59 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente obtido por ADCP a 405 m de profundidade no fundeio PH2 .

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,2	2,66	0,25	1,37	1,58	1,07	0,83	1,97	8,76	18,5
0,2-0,4	5,86	0,01	0,00	0,01	0,16	0,14	2,48	50,10	58,8
0,4-0,6	1,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	20,63	22,6
0,6-0,8	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,1
0,8-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,0-1,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,2-1,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,4-1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	10,52	0,26	1,37	1,59	1,23	0,97	4,48	79,57	
Média	0,28	0,10	0,10	0,10	0,13	0,13	0,20	0,32	
Máximo	0,63	0,21	0,17	0,21	0,26	0,25	0,51	0,66	

Ponto PH2 (CORRENTOMETRO)

A Figura 185 apresenta o *boxplot* do perfil vertical das correntes medidas através de correntômetros próximos ao fundo no período de setembro de 2008 a fevereiro de 2009 no fundeio PH2. Observa-se a predominância de intensidades abaixo de 0,4 m/s exceto para camada de 1.988 m onde as velocidades passam dos 0,6 m/s em função da CCOP.

A Figura 186 e Figura 187 apresentam os histogramas direcionais de corrente para o período de amostragem do fundeio, respectivamente para as camadas de 1.187 m e 1.988 m. Na Tabela 60 e Tabela 61 são apresentados os diagramas de ocorrência conjunta das intensidades e das direções para cada uma das camadas.

Na camada de 1.187 m, 62,41% das correntes apresentam direção para SE e 82,8% dos registros apontam intensidades até 0,25 m/s. Na profundidade de 1.988 m observa-se 98,87% dos registros no quadrante SE, e 71% das intensidades entre e 0,25 e 0,5 m/s. Este padrão reflete a presença do núcleo da Corrente de Contorno Oeste Profunda.

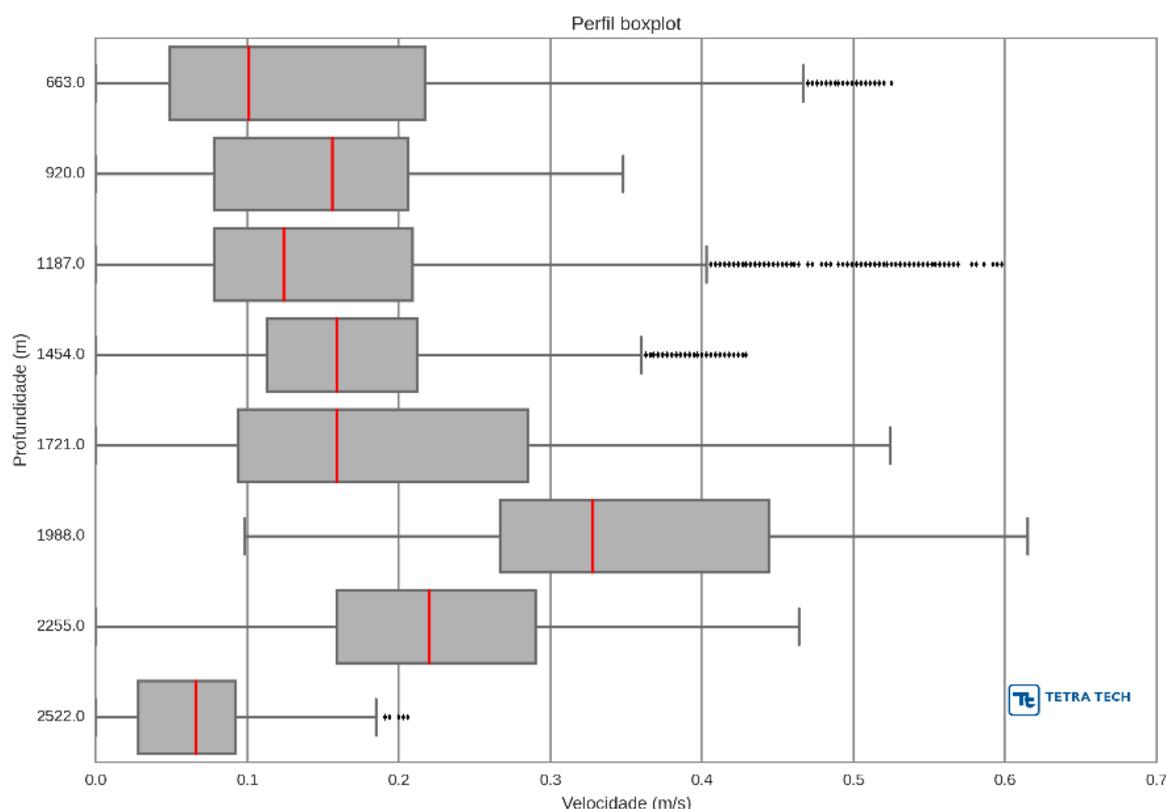


Figura 185 - Boxplot vertical das correntes obtidas através de correntômetros no fundeio PH2.

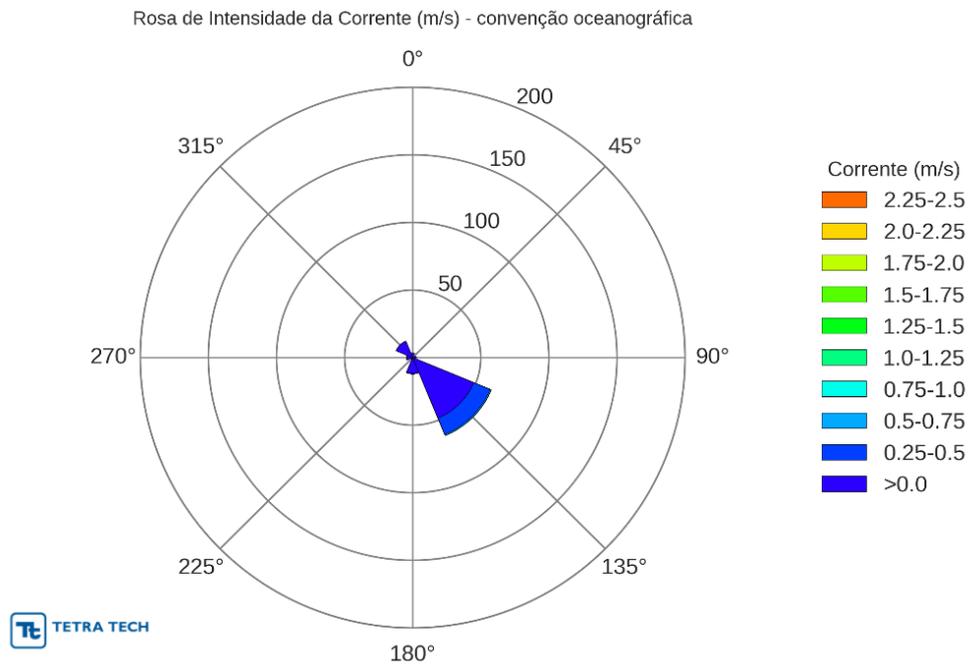


Figura 186 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio PH2 a 1.187 m de profundidade.

Tabela 60 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio PH2 a 1.187 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,25	3,34	0,61	2,61	48,48	11,83	1,37	4,53	13,09	85,8
0,25-0,5	0,00	0,00	0,00	13,12	0,22	0,00	0,00	0,00	13,3
0,5-0,75	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,8
0,75-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,0-1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,25-1,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,5-1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,75-2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
2,0-2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
2,25-2,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	3,34	0,61	2,61	62,41	12,05	1,37	4,53	13,09	
Média	0,06	0,05	0,08	0,19	0,12	0,07	0,08	0,09	
Máximo	0,15	0,12	0,21	0,60	0,29	0,12	0,15	0,20	

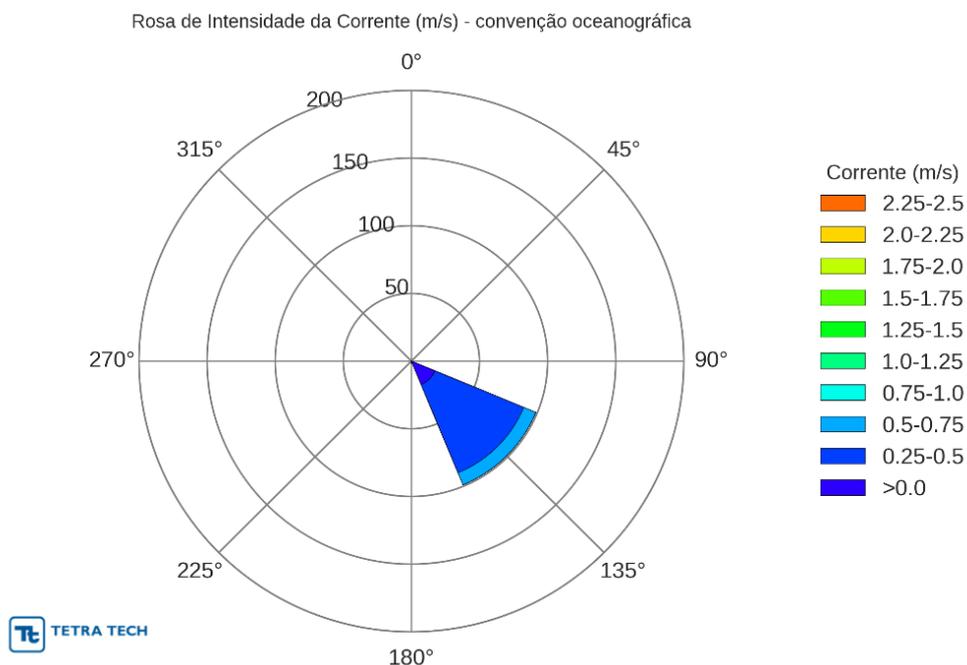


Figura 187 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio PH2 a 1.988 m de profundidade.

Tabela 61 - Tabela de ocorrência conjunta de corrente no fundeio PH2 a 1.988 m de profundidade.

Corrente (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,25	0,00	0,00	0,00	18,74	0,63	0,00	0,00	0,00	19,4
0,25-0,5	0,00	0,00	0,00	70,58	0,50	0,00	0,00	0,00	71,1
0,5-0,75	0,00	0,00	0,00	9,55	0,00	0,00	0,00	0,00	9,6
0,75-1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,0-1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,25-1,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,5-1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
1,75-2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
2,0-2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
2,25-2,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
(%)	0,00	0,00	0,00	98,87	1,13	0,00	0,00	0,00	
Média	0,00	0,00	0,00	0,35	0,24	0,00	0,00	0,00	
Máximo	0,00	0,00	0,00	0,62	0,31	0,00	0,00	0,00	

Observa-se que quanto mais próximas da superfície, mais intensas são as correntes e maiores são as variabilidades. As intensidades próximas à superfície correspondem ao Ramo Norte da Corrente do Brasil, como discutido e apresentado anteriormente.

A diminuição da variabilidade com a profundidade é associada à diminuição da influência do vento sobre a circulação que atua apenas na camada de Ekman de superfície (PEDLOSKY, 1982), aproximadamente nos 100 primeiros metros. Isso justifica a maior amplitude dos desvios-padrão e do número de *outlayers* em comparação às medições de correntes mais profundas.

De modo geral, os quatro fundeios apresentam o registro da Corrente Norte do Brasil na superfície, com intensidades próximas a 1 m/s e direção de NW. Já para as camadas de fundo, são observadas direções para SE com intensidades inferiores à 0,2 m/s, que correspondem à Corrente de Contorno Oeste Profunda. Na camada intermediária, foi observada uma região de transição entre os padrões de superfície e fundo. Esta diferença de intensidade entre CNB e CCOP reflete o tipo de circulação a qual elas fazem parte: enquanto a primeira é forçada pelo vento, a segunda faz parte da circulação termohalina. A justificativa para as diferenças de intensidades é associada ao fato do vento transferir muito mais energia para a água do que efetiva capacidade de movimento, devido à diferença de densidade, resultante do padrão da temperatura e salinidade.

Transporte de volume

O transporte de volume foi calculado para a seção utilizada na descrição vertical das velocidades. Esta seção posiciona-se meridionalmente desde a costa até além do Talude Continental e atravessa a região do Bloco BAR-M-346. A mesma foi posicionada perpendicular à direção principal das correntes geradas pelo modelo HYCOM *Consortium*. Valores positivos indicam transporte para norte e negativos para sul. A magnitude é dada em Sverdrup (SV).

A Figura 188 ilustra a seção do transporte de volume médio anual para os anos de 2008 à 2012, a partir dos resultados do modelo HYCOM *Consortium*. Destaca-se na região do talude e próximo à superfície a assinatura da Corrente Norte do Brasil, indicada pela cor azul, e a Corrente de Contorno Oeste Profunda, marcada por um núcleo de cor amarela em torno de 2500 m de profundidade.

O transporte anual médio integrado na coluna d'água observado desde a superfície até 400 m de profundidade tem valor de aproximadamente 12 Sv. Este é referente à Corrente Norte do Brasil, que segue para oeste. O transporte obtido para a Corrente de Contorno Oeste Profunda foi de aproximadamente 2 Sv (para leste). Os valores são coerentes com os apresentados por Schott *et al.* (2003), que apresenta valores de 14,4 Sv para a CNB e 2,2 Sv para a CCOP.

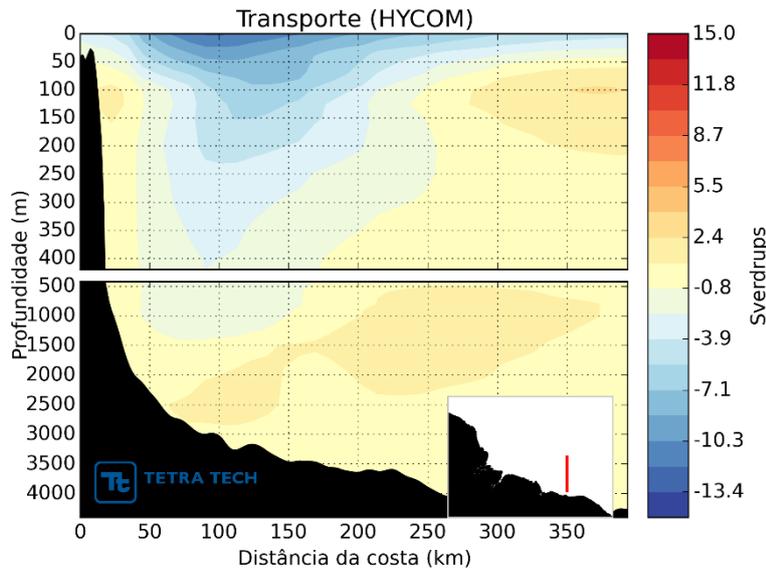


Figura 188 - Seção do transporte de volume anual médio, calculado a partir dos resultados do modelo HYCOM Consortium na seção localizada na região do Bloco BAR-M-346. Período 2008 a 2012. Fonte: TETRA TECH.

3.4. REGIME DE MARÉS

A circulação observada de alta frequência (pequena escala) é influenciada pelo

Sob mandato da Devon Energy Corporation, Fugro Global Environmental & Ocean Sciences Inc. (Fugro GEOS) , em colaboração com a Fugro Marsat / Geosolutions Brasil & OceansatPEG JV, empreendeu-se um programa de medições oceanográficas . O objetivo destas medidas é fornecer dados oceanograficos na vizinhança da área de desenvolvimento da BM - BAR - 3 - Bn . As medições serão ajudar a caracterizar o comportamento e



variabilidade do Brasil atual e massas de água subjacentes, incluindo os seus meandros e vórtices

acoplamento dos processos da região de oceano profundo e plataforma (PEREIRA, 2000). Sobre a plataforma amazônica predomina a banda semidiurna da maré, com influência de componentes quartodiurnas em regiões mais costeiras. As correntes de maré da componente M2 são aproximadamente unidimensionais e cruzam as isóbatas sobre a plataforma. Isso ocorre em função da dinâmica equatorial e da existência de modos ressonantes na plataforma, que geram variações na amplitude de maré à medida que a mesma se aproxima desta plataforma amazônica. Próximo à foz do Rio Amazonas, a amplitude da maré é amortecida pelo efeito direto do aporte de água do rio (GODIN, 1991). Parte da dissipação da energia da componente M2 ocorre nas plataformas média e interna.

Para avaliação do regime de marés, foram utilizados seis pontos de análise ao longo da área de estudo, selecionados como pontos de localização das estações da FEMAR (FEMAR, 2000) do Porto Luiz Correia (2,85°S e 41,64°W); Plataforma JP-15 (1,87°S e 43,95°W); Porto de Tutóia (2,76°S e 42,25°W); Carutapera (1,35°S e 46°W); Cabo Maguari (0,22°S e 48,46°W); Santa Maria do Cocal (2,59°N e 50,85°W). Os conjuntos de dados disponibilizados pela FEMAR oferecem informações sobre as constantes harmônicas e médias de sizígia e quadratura, conforme apresentado na Tabela 62 a Tabela 67 respectivamente para Luiz Correia; JP-15; Porto de Tutóia, Carutapera, Cabo Maguari e Santa Maria do Cocal.

Tabela 62 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizíguas e quadraturas do Porto Luiz Correia. Fonte: FEMAR.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		LUIZ CORREIA (PORTO) – PI			
Localização :		No enrocamento do porto			
Organ. Responsável :		INPH / AHINOR / DHN			
Latitude :		02° 51,1' S	Longitude :		41° 38,7' W
Período Analisado :		04/02/84 a 03/02/85	Nº de Componentes :		51
Análise Harmônica :		Método Almirante Santos Franco			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		V H 06 min	Nível Médio (Zo):		171 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		311 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		242 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		31 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		100 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	5,9	177	MU ₂	5,1	106
Ssa	-	-	N ₂	22,2	124
Mm	-	-	NU ₂	4,1	119
Mf	-	-	M ₂	105,6	139
MTM	-	-	L ₂	2,9	140
Msf	-	-	T ₂	2,2	148
Q ₁	1,3	176	S ₂	34,4	159
O ₁	7,8	192	K ₂	9,8	156
M ₁	0,7	191	MO ₃	-	-
P ₁	2,5	232	M ₃	1,5	170
K ₁	9,1	217	MK ₃	0,5	203
J ₁	0,6	186	MN ₄	-	-
OO ₁	-	-	M ₄	1,1	126
MNS ₂	1,0	077	SN ₄	0,3	128
2N ₂	3,1	116	MS ₄	2,1	149
Referências de Nível: NR (AHINOR/INPH) fixada na passarela localizada no enrocamento próximo à estação maregráfica.					
Obs: Outros Períodos: 30/05/75 a 30/06/75 ; 10/02/62 a 13/03/62 . O INPH dispõe de outras observações Consta das Tábuas das Marés.					

Código BNDO: 30225

Tabela 63 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizígias e quadraturas da Plataforma JP-15. Fonte: FEMAR.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		JP-15 (Plataforma) – MA			
Localização :		Baía de São Marcos, no início do canal de acesso ao Terminal da Ponta da Madeira (CVRD)			
Organ. Responsável :		DHN			
Latitude :		01° 52,2' S	Longitude :		43° 57,1' W
Período Analisado :		27/05/80 a 27/06/80		Nº de Componentes : 23	
Análise Harmônica :		Método Almirante Santos Franco			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		V H 55 min	Nível Médio (Zo):		226 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		408 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		326 cm acima do NR
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		45 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		127 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	9,5	241
Ssa	-	-	N ₂	33,6	141
Mm	-	-	NU ₂	6,4	144
Mf	-	-	M ₂	140,5	162
MTM	-	-	L ₂	18,4	210
Msf	-	-	T ₂	2,4	203
Q ₁	-	-	S ₂	41,2	205
O ₁	9,4	176	K ₂	11,2	209
M ₁	-	-	MO ₃	-	-
P ₁	2,5	219	M ₃	-	-
K ₁	7,6	223	MK ₃	-	-
J ₁	-	-	MN ₄	-	-
OO ₁	-	-	M ₄	-	-
MNS ₂	-	-	SN ₄	-	-
2N ₂	4,4	120	MS ₄	-	-
Referências de Nível: Não foram implantadas					
Obs: Não há referências a outros períodos. Maré observada de plataforma oceânica, posteriormente retirada					

Código BNDO: 30122

Tabela 64 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizígias e quadraturas do porto de Tutóia. Fonte: FEMAR.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação : TUTÓIA (PORTO) – MA					
Localização : NoCcais do Porto.					
Organ. Responsável : DHN					
Latitude : 02° 45,9' S	Longitude : 42° 14,8' W				
Período Analisado : 26/06/59 a 27/07/59	Nº de Componentes : 33				
Análise Harmônica : Método Tidal Liverpool Institute					
Classificação : Maré Semidiurna.					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)	V H 33 min Nível Médio (Zo): 166 cm acima do NR.				
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :	315 cm Média das Preamares de Quadratura (MHWN) : 241 cm acima do NR.				
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :	16 cm Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) : 91 cm acima do NR.				
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	5,4	184
Ssa	-	-	N ₂	23,2	136
Mm	7,0	032	NU ₂	4,5	136
Mf	-	-	M ₂	112,4	151
MTM	-	-	L ₂	4,4	163
Msf	5,1	073	T ₂	2,2	180
Q ₁	1,6	158	S ₂	37,3	180
O ₁	7,6	207	K ₂	10,2	180
M ₁	1,1	275	MO ₃	1,0	156
P ₁	2,8	212	M ₃	1,9	216
K ₁	8,4	212	MK ₃	0,9	245
J ₁	0,1	199	MN ₄	0,1	321
OO ₁	2,4	230	M ₄	0,4	291
MNS ₂	-	-	SN ₄	0,9	343
2N ₂	3,1	121	MS ₄	2,2	197
Referências de Nível: RN-1 situado na soleira do Paiol do Balizamento.					
Obs: Outros Períodos: 06/05/75 a 06/06/75. O INPH dispõe de outros períodos Consta das Tábuas das Marés					

Código BNDO: 30140

Tabela 65 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizígias e quadraturas de Carutapera. Fonte: FEMAR.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação : CARUTAPERA – MA					
Localização : Foz do Rio Gurupí, no trapiche da Av. Manoel Pantojas					
Organ. Responsável : DHN					
Latitude : 01° 12,1' S		Longitude : 46° 01,0' W			
Período Analisado : 10/05/66 a 10/06/66			Nº de Componentes : 36		
Análise Harmônica : Método Tidal Liverpool Institute					
Classificação : Maré Semidiurna					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		VI H 34 min	Nível Médio (Zo):		231 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		422 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		334 cm acima do NR
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		41 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		129 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	11,3	304
Ssa	-	-	N ₂	28,9	190
Mm	4,0	107	NU ₂	5,6	190
Mf	-	-	M ₂	146,6	186
MTM	-	-	L ₂	8,7	185
Msf	3,2	247	T ₂	2,6	224
Q ₁	1,2	211	S ₂	43,8	224
O ₁	6,6	212	K ₂	11,9	224
M ₁	1,2	243	MO ₃	0,7	298
P ₁	2,3	242	M ₃	2,9	308
K ₁	6,9	242	MK ₃	1,3	269
J ₁	1,3	046	MN ₄	2,5	279
OO ₁	0,5	013	M ₄	7,5	277
MNS ₂	-	-	SN ₄	1,0	338
2N ₂	3,8	194	MS ₄	4,0	303
Referências de Nível: RN-1 colocada na parte Oeste da casa do Sr. Raimundo Leles dos Remédios.					
Obs: Não há referências a outros períodos.					

Código BNDO: 30138

Tabela 66 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizíguas e quadraturas do Cabo Maguari. Fonte: FEMAR.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação : CABO MAGUARI – PA					
Localização : Na ponta Leste da Ilha de Marajó, em frente ao farol Simão Grande.					
Organ. Responsável : DHN					
Latitude : 00° 13,4' S		Longitude : 48° 27,9' W			
Período Analisado : 16/07/71 a 16/08/71			Nº de Componentes : 36		
Análise Harmônica : Método Tidal Liverpool Institute.					
Classificação : Maré Semidiurna.					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		VIII H 43 min		Nível Médio (Zo): 201 cm acima do NR.	
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		366 cm acima do NR.		Média das Preamares de Quadratura (MHWN) : 280 cm acima do NR	
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		35 cm acima do NR.		Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) : 121 cm acima do NR.	
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	3,9	288
Ssa	-	-	N ₂	24	235
Mm	9,3	334	NU ₂	4,7	235
Mf	-	-	M ₂	122,4	254
MTM	-	-	L ₂	2,9	317
Msf	2,6	051	T ₂	2,5	284
Q ₁	1,1	111	S ₂	43,0	284
O ₁	10,3	247	K ₂	11,7	284
M ₁	1,1	156	MO ₃	2,0	048
P ₁	4,7	251	M ₃	1,5	117
K ₁	14,1	251	MK ₃	3,7	096
J ₁	2,6	047	MN ₄	4,2	076
OO ₁	3,5	079	M ₄	14,1	095
MNS ₂	-	-	SN ₄	3,6	041
2N ₂	3,2	217	MS ₄	6,9	120
Referências de Nível: RN-1 colocada no quintal da residência do Sr. João Tórres.					
Obs: Outros Períodos: 19/06/66 a 20/07/66 .					

Código BND0: 20527

Tabela 67 - Descrição das componentes harmônicas e médias das sizígias e quadraturas de Santa Maria do Cocal. Fonte: FEMAR.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação : SANTA MARIA DO COCAL – AP					
Localização : Na foz do Igarapé do Cocal					
Organ. Responsável : DHN					
Latitude : 02° 35,5' N		Longitude : 50° 51,0' W			
Período Analisado : 22/05/72 a 22/06/72			Nº de Componentes : 36		
Análise Harmônica : Método Tidal Liverpool Institute					
Classificação : Maré Semidiurna.					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		VII H 12 min	Nível Médio (Zo):		400 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		738 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		602 cm acima do NR
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		62 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		198 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	13,0	351
Ssa	-	-	N ₂	43,1	197
Mm	6,8	230	NU ₂	8,4	197
Mf	-	-	M ₂	270,4	214
MTM	-	-	L ₂	19,6	211
Msf	10,2	274	T ₂	4,0	261
Q ₁	2,0	211	S ₂	68,0	261
O ₁	9,4	215	K ₂	18,5	261
M ₁	1,3	301	MO ₃	6,3	022
P ₁	4,3	248	M ₃	5,3	322
K ₁	13,1	248	MK ₃	2,9	004
J ₁	1,9	348	MN ₄	9,8	300
OO ₁	2,0	125	M ₄	37,6	331
MNS ₂	-	-	SN ₄	7,6	104
2N ₂	5,7	180	MS ₄	16,9	044
Referências de Nível: RN 1 situada no canteiro de flores na frente da casa do Sr. Almerindo, primeira casa do Igarapé.					
Obs: Não há referências a outros períodos					

Código BNDO: 20630

A maré na área de estudo foi classificada de acordo com a razão entre as duas maiores amplitudes das componentes diurnas e semidiurnas, conforme apresentado na equação abaixo:

$$F = \frac{K_1 + O_1}{S_2 + M_2}$$

Os valores de F foram próximos de zero (de 0,066 a 0,147) para todas as estações indicando domínio das amplitudes das componentes semidiurnas S_2 e M_2 . Portanto a maré da região da área de estudo é classificada como semidiurna.

A obtenção das alturas da oscilação de maré astronômica foi realizada através do método de análise e previsão harmônica, baseada na análise de Fourier desenvolvida por Schuremann (1958) considerando as componentes de maré com ciclos mais curtos e com maiores amplitudes (Q_1 , P_1 , O_1 , K_1 , S_2 , M_2 , N_2 , K_2 , M_3 , MN_4 , M_4 , MS_4). A análise harmônica de maré é realizada admitindo-se que as variações do nível do mar próximo à costa podem ser expressas matematicamente pela soma de séries harmônicas relacionadas a condições astronômicas. Uma função harmônica simples é uma quantidade que varia com o cosseno de um ângulo, que progride uniformemente no tempo. Sua formulação é dada genericamente por $y = A \cos(at)$, onde y é a função harmônica do ângulo (at) , a é uma constante e t representa o tempo decorrido a partir de uma data inicial.

A equação geral para uma altura h de maré a qualquer instante de tempo t pode ser escrita como:

$$h = Z_0 + A \cos(at + \alpha) + B \cos(bt + \beta) + C \cos(ct + \gamma) + etc ...$$

onde Z_0 é a altura do nível médio do mar acima do *datum* usado, e os termos com cossenos são conhecidos como constituintes ou componentes harmônicos. Os coeficientes A , B , C , etc., são as amplitudes de cada constituinte. Estes coeficientes são constantes, sendo obtidos através de observações de maré em cada localidade. A expressão entre os parênteses nos constituintes harmônicos é um ângulo que varia uniformemente e seu valor é chamado de fase.

A previsão harmônica de maré para a análise da variabilidade anual foi gerada para um período de referência englobando o ano de 2014 para todas as estações supracitadas, conforme apresentado na Figura 189 a Figura 194.

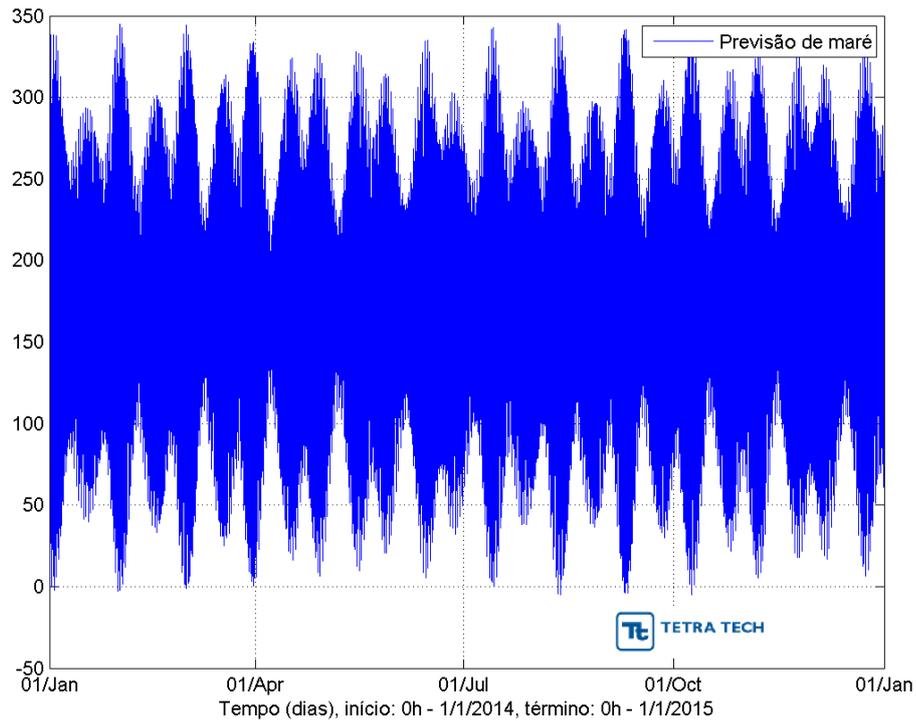


Figura 189 – Previsão harmônica de maré obtida para a região do Porto de Luiz Correia (PI) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.

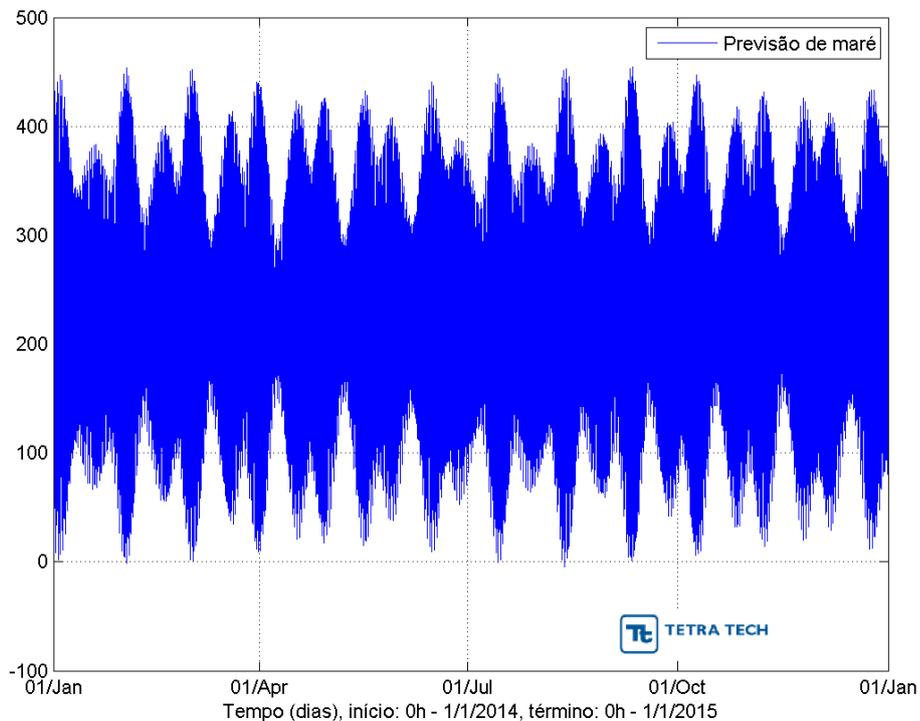


Figura 190 – Previsão harmônica de maré obtida para a região da Plataforma JP-15 (MA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.

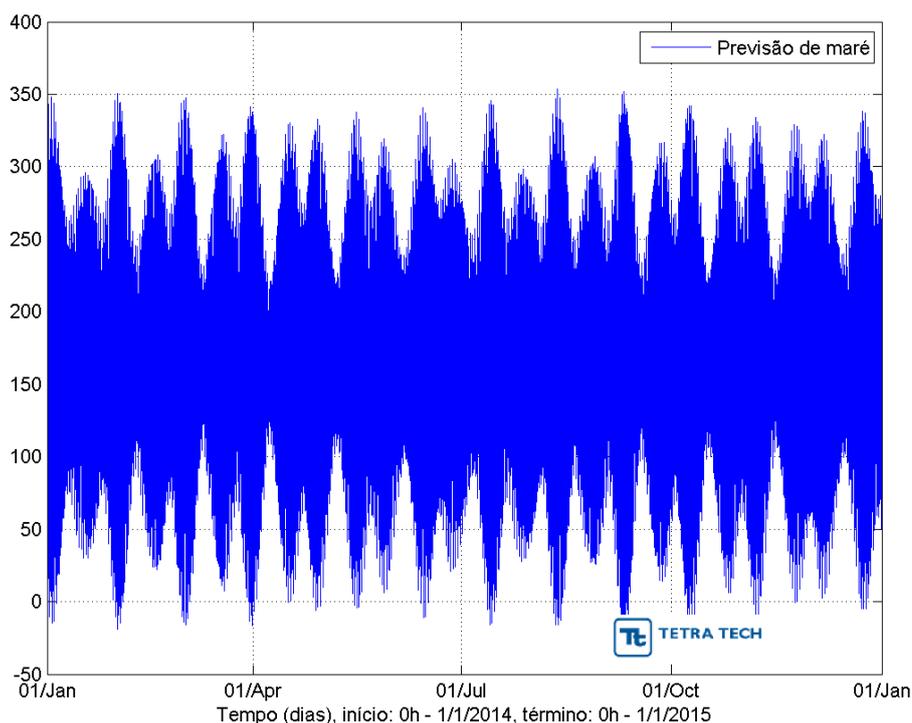


Figura 191 – Previsão harmônica de maré obtida para a região do Porto de Tutóia (MA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.

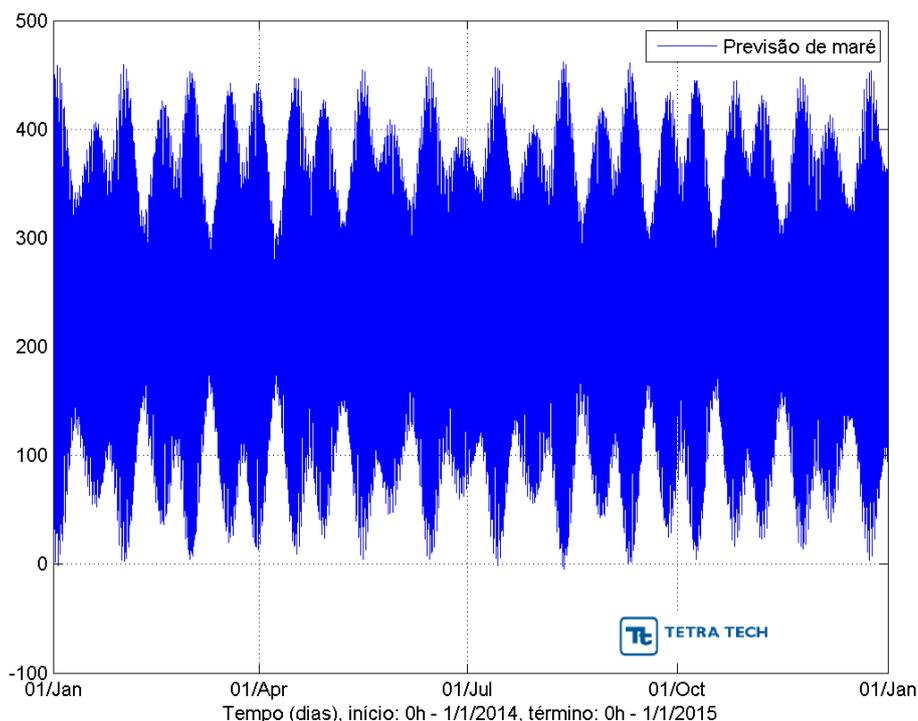


Figura 192 – Previsão harmônica de maré obtida para a região de Carutapera (MA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.

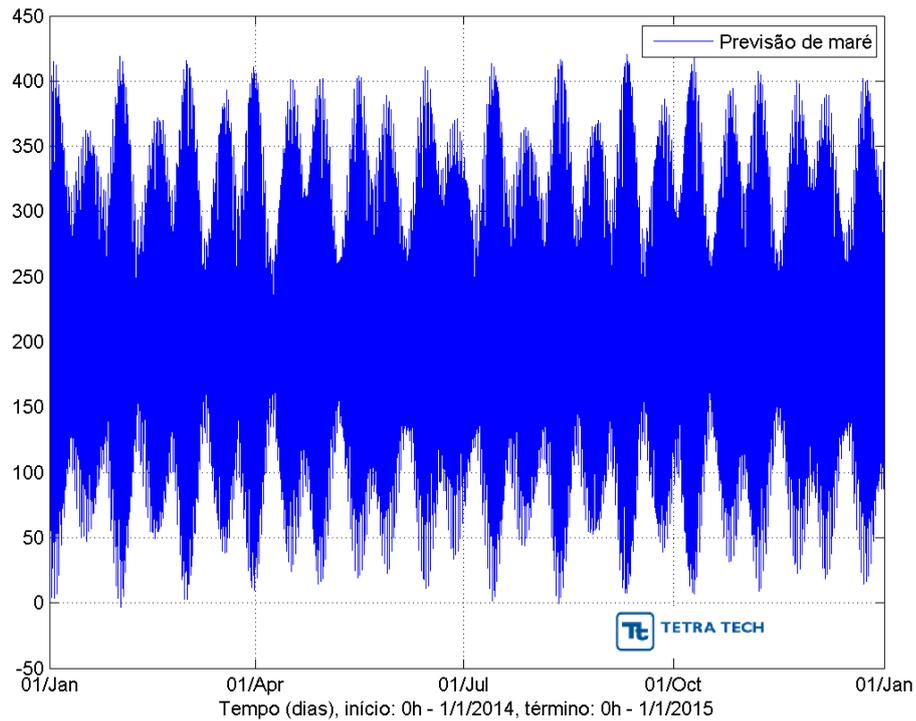


Figura 193 – Previsão harmônica de maré obtida para a região do Cabo Maguari (PA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.

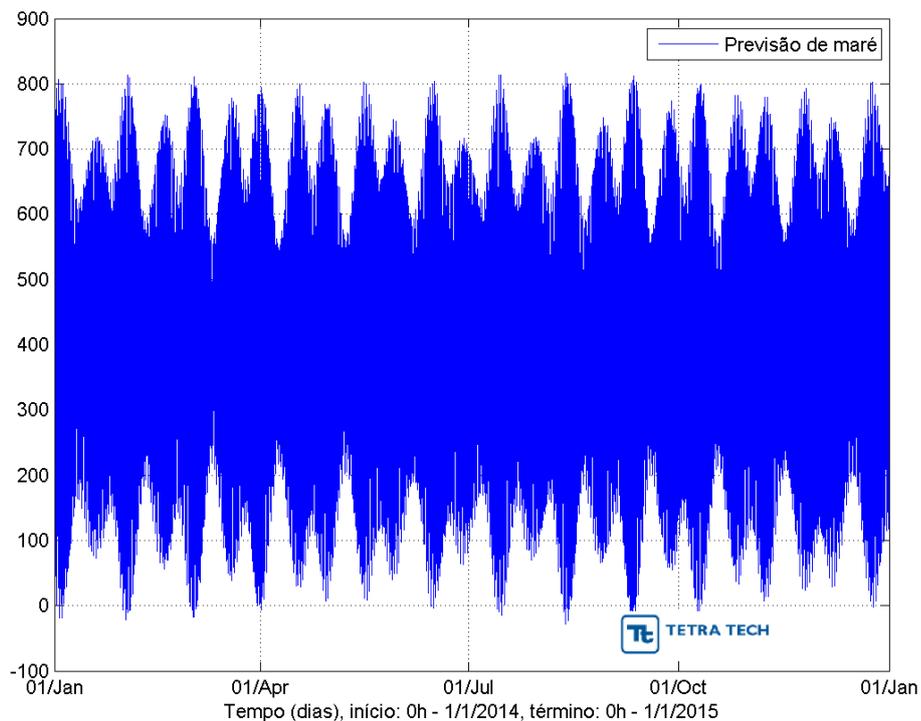


Figura 194 – Previsão harmônica de maré obtida para a região de Santa Maria do Cocal (MA) para o período de referência (ano de 2014), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR. Fonte: TETRA TECH.

A Tabela 68 apresenta, para cada uma das estações maregráficas da FEMAR analisadas neste estudo, além do nível médio obtido nas próprias tabelas, os valores médios de sizígia e quadratura para preamar e baixamar. Os valores médios das preamares de sizígia (MHWS, do inglês Mean High Water Spring) e quadratura (MHWN, do inglês Mean High Water Neap) e das baixa-mares de sizígia (MLWS, do inglês Mean Low Water Spring) e quadratura (MLWN, do inglês Mean Low Water Neap), foram calculados através das constantes harmônicas de maré fornecidas pela FEMAR.

A metodologia adotada é apresentada no Australian Tides Manual Special Publication No. 9 (ICSM/PCTMSL, 2011), o qual propõe a utilização das equações dispostas abaixo para regiões com predomínio de maré semi-diurna (como é o caso da Área de Estudo):

$$MHWS = Z_0 + |M_2 + S_2|$$

$$MHWN = Z_0 + |M_2 - S_2|$$

$$MLWS = Z_0 - |M_2 + S_2|$$

$$MLWN = Z_0 - |M_2 - S_2|$$

onde Z_0 , S_2 e M_2 são, respectivamente, o nível médio e as componentes de maré semi-diurnas solar e lunar.

O maior nível médio ocorre na estação de Santa Maria do Cocal, com 400 cm. Já na estação de Tutóia, o nível médio é de 166 cm. Nos resultados referentes aos valores médios de cada estação maregráfica, observa-se que em Santa Maria do Cocal ocorrem as maiores amplitudes nas preamares de sizígia (738,4 cm) e quadratura (602,4 cm). Na estação de Tutóia ocorrem as menores baixa-mares de sizígia e quadratura (MLWS, MLWN), com valores de 61,6 cm e 90,6 cm, respectivamente.

Tabela 68 - Nível médio (NM) e médias das preamares e baixamares de sizígia e quadratura (cm) nas estações de Luiz Correia e JP-15 calculados através das constantes harmônicas obtidas pela FEMAR. MHWS: preamar de sizígia; MHWN: preamar de quadratura; MLWS: baixamar de sizígia e MLWN: baixamar de quadratura.

Estação	NM	MHWS	MHWN	MLWS	MLWN
Luiz Correia	171	311	242,2	31	99,8
JP-15	226	407,7	325,3	44,3	126,7
Tutóia	166	315,7	241,1	16,3	90,9
Carutapera	213	421,4	333,8	40,6	128,2
Cabo Maguari	226	336,4	280,4	35,6	121,6
Santa Maria do Cocal	400	738,4	602,4	61,6	197,6

A Figura 195 apresenta o mapa cotidal de amplitude e fase para a componente M_2 na região de interesse, utilizando dados do CSR323. O ponto preto representa a localização do ponto de produção. A amplitude da M_2 na região dos pontos varia de cerca de 1 m na região de interesse.

Na Figura 196 apresenta-se o mesmo tipo de mapa, para a componente S_2 . A amplitude da S_2 é de aproximadamente 30 a 40 cm na região de interesse.

Da Figura 197 à Figura 199, são apresentados os mapas análogos para as componentes N_2 , K_2 e O_1 . As amplitudes destas componentes são inferiores àquelas apresentadas anteriormente, mas são importantes para a região de interesse.

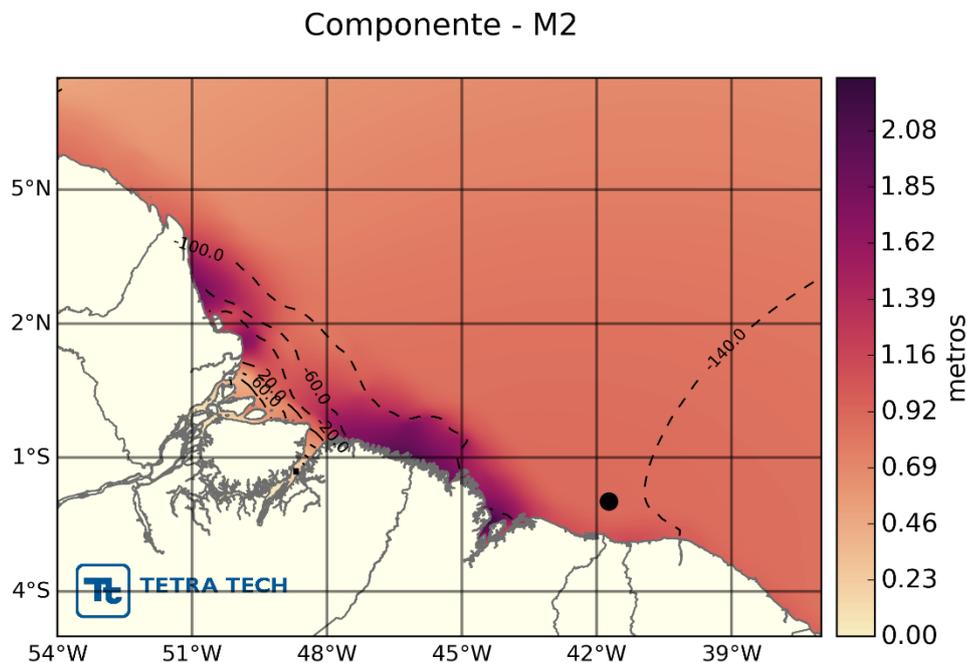


Figura 195 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase ($^{\circ}$, linhas) para a componente de maré M_2 na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.

²³ O CSR na sua versão 3.0 (CSR3) é modelo empírico de marés que foi obtido através das informações do satélite altimétrico TOPEX/Poseidon usando o modelo FES94.1 como modelo de referência. Para o seu desenvolvimento, foi analisado um período de 2,4 anos (primeiros 89 ciclos) usando o método de resposta desenvolvido por Munk & Cartwright (1966). O modelo de marés CSR3 inclui 30 componentes de maré, sendo 11 semidiurnas, 11 diurnas e 8 de longo período. Os princípios do modelo CSR3 são descritos em detalhes por Eanes & Bettadpur, (1996).

Componente - S2

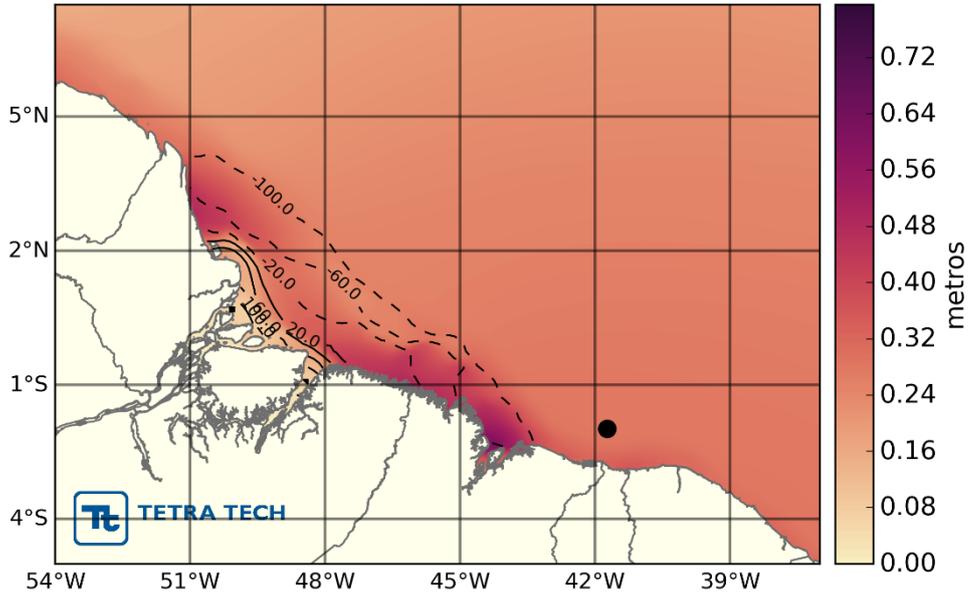


Figura 196 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase (°, linhas) para a componente de maré S₂ na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.

Componente - N2

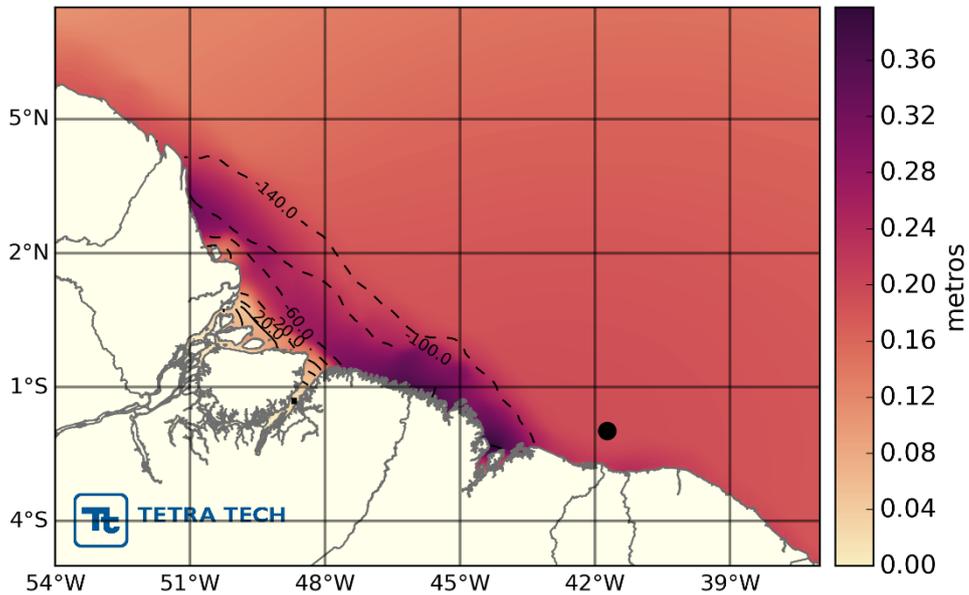


Figura 197 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase (°, linhas) para a componente de maré N₂ na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.

Componente - K2

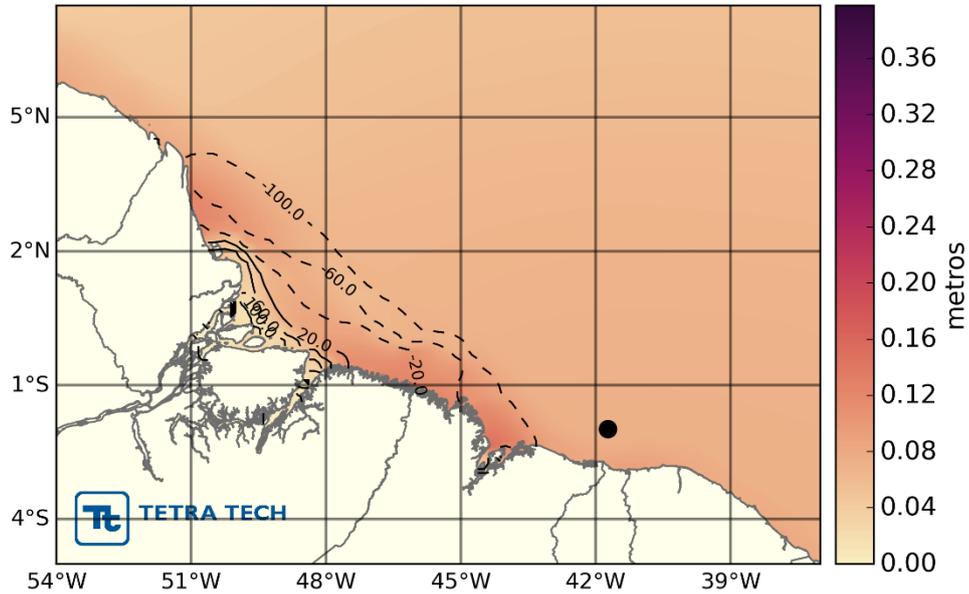


Figura 198 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase (°, linhas) para a componente de maré K_2 na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.

Componente - O1

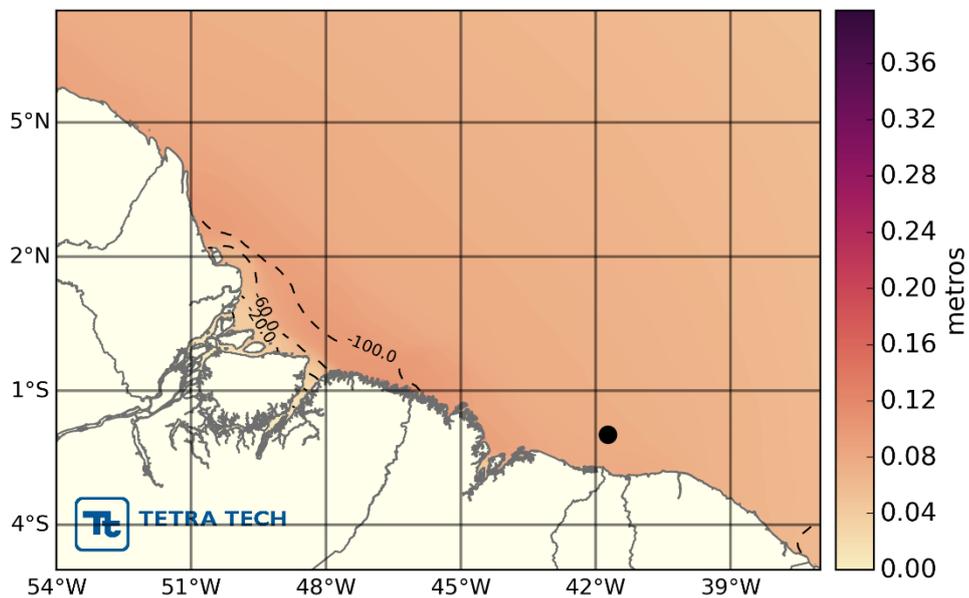


Figura 199 – Mapa cotidal de amplitude (m, cores) e fase (°, linhas) para a componente de maré O_1 na costa norte do Brasil. Fonte: TETRA TECH.

As elevadas amplitudes na região costeira são resposta aos efeitos ressonantes das ondas de maré. Este fenômeno é atribuído a variação abrupta do talude continental, demarcado pela distância da isóbata de 50 m em relação a costa. Nas bacias de Barreirinhas

e do Ceará a isóbata está a 70 km de distância da costa, já no caso das bacias Amazônica e Pará-Maranhão, esta isóbata está a 170km da costa. Esta variação altera a propagação de direção e velocidade da onda de maré, principalmente nas ondas mais rápidas (semidiurnas), implicando no aumento da amplitude na região costeira entre o Oiapoque e a Baía de São Marcos.

Nível do Mar

O termo “nível médio do mar” refere-se ao valor médio calculado a partir das alturas apresentadas pela superfície do mar ao longo de um determinado espaço de tempo. Esse valor pode variar ao longo do tempo em um local específico, assim como entre diferentes locais.

Dentre os fatores que podem causar variações no nível médio do mar, MESQUITA (2009) cita:

- Variação Eustática – alteração no volume de água doce no mar;
- Variação Halostérica – alteração da salinidade do mar;
- Variação Estérica – alteração na temperatura da água do mar;
- Variação Crustal – alteração do nível da crosta em relação ao centro da terra;
- Variação Atmosférica – efeito da pressão atmosférica e da ação dos ventos;
- Variação Oceanográfica – efeito de ondas e correntes oceânicas;
- Variação Astronômica – mudanças na posição relativa do sol, lua e planetas.

Com relação ao passado, ainda de acordo com MESQUITA (2009), a análise de dados coletados em diversos portos da costa do Brasil na segunda metade do século 20 mostra uma tendência de aumento no nível do mar a uma razão de 40 cm/século.

Com relação aos prognósticos futuros, o IPCC (IPCC, 2007) apresenta os resultados de diversos cenários de previsões de mudança do nível do mar. Estas previsões apresentam resultados que variam de 18 cm/século a 59 cm/século, valores coerentes com aqueles citados anteriormente.

As variações mensais do nível do mar obtidas através da reanálise CFSR (1979-2010) para a região do bloco exploratório são apresentadas na Figura 200. Observou-se uma variação anual do nível com valores médios mais altos (entre 0,2m e 0,25m) no segundo

semestre. Em termos de máximos absolutos de altura do nível do mar, os valores ultrapassam 0,3 m entre agosto e novembro e tem mínimos de 0,12 m em janeiro. As variações sazonais acompanham o regime de ventos, os quais se apresentam mais intensos durante o final do inverno e primavera, justamente quando o nível do mar está mais elevado.

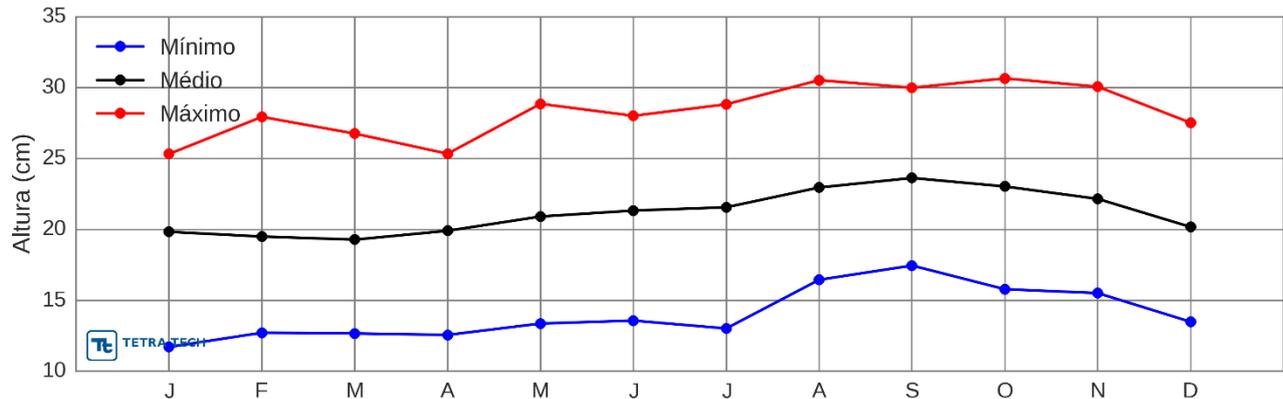


Figura 200 - Elevação média e máxima mensal da superfície do mar e desvio-padrão associado, obtidos através dos dados da reanálise CFSR nas proximidades do bloco BAR-M-346. Período de 1979 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

3.5. REGIME DE ONDAS

As ondas superficiais de gravidade são a principal e mais constante forma de transporte da energia no mar, exercendo papel preponderante na determinação das feições costeiras. As ondas presentes em um determinado local, próximo à costa ou em mar aberto, podem ser classificadas como vagas e marulhos (ou ondulações). Vagas são ondas que ainda estão na zona de geração, sendo capazes de receber energia do vento. O marulho é composto por ondas que, ou se propagaram para fora da zona de geração original ou não são mais capazes de receber energia do vento. Os termos em inglês para vaga e marulho são *windsea* (ou *sea*) e *swell*, respectivamente, e são amplamente utilizados.

A caracterização do estado do mar é feita em função de três parâmetros principais: altura significativa (H_s), direção e período de pico (T_p). A altura significativa é uma medida estatística e se refere ao valor da média do terço de ondas com maior altura, ou seja, para calculá-lo divide-se o registro de ondas, baseado nos valores de altura significativa, em três partes iguais e calcula-se a média do terço superior. Corresponde, aproximadamente, à altura relatada por um observador experiente, no caso de um marulho (WRIGHT, 2000).

Segundo Candella (1997), as principais ondas presentes no Atlântico Sul são geradas nas médias e altas latitudes, por tempestades originadas nos centros de baixa pressão que vêm da Antártica, associados às frentes frias. As condições atmosféricas no Atlântico Sul, especialmente nas latitudes menores que 40° S, não são tão severas quanto no mar do Norte ou mesmo no Pacífico, onde ocorrem grandes tempestades e furacões.

O que caracteriza o clima de ondas em uma região são os ventos originados no oceano. No Atlântico Sul estes ventos são controlados por três sistemas atmosféricos: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), localizada mais ao norte do Brasil e responsável pelos ventos alísios; a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), centro de alta pressão sobre o oceano; e Anticiclones Polares Migratórios (APM), centros de baixa pressão responsáveis pela passagem dos sistemas frontais (TESSLER & GOYA, 2005).

Além dos ventos, para caracterizar o clima de ondas na costa brasileira, deve-se levar em conta o desenho da costa. Existem basicamente duas direções predominantes: nordeste/sudoeste do Chuí (RS) ao Cabo Calcanhar (RN), e noroeste/sudeste do Cabo Calcanhar (RN) até o Oiapoque (AP) (TESSLER & GOYA, 2005). Sendo assim, pode-se dividir a costa brasileira em setores, onde o comportamento das ondas incidentes apresenta características semelhantes.

O trabalho de Pianca *et al.* (2010) divide a costa brasileira em seis setores ao longo da quebra da plataforma continental para caracterizar o clima de ondas incidentes (Figura 201). Eles utilizaram uma série temporal de onze anos (1997 – 2007) obtida a partir de uma reanálise dos resultados de onda do modelo WAVEWATCH III - WW3 (TOLMAN, 1999).

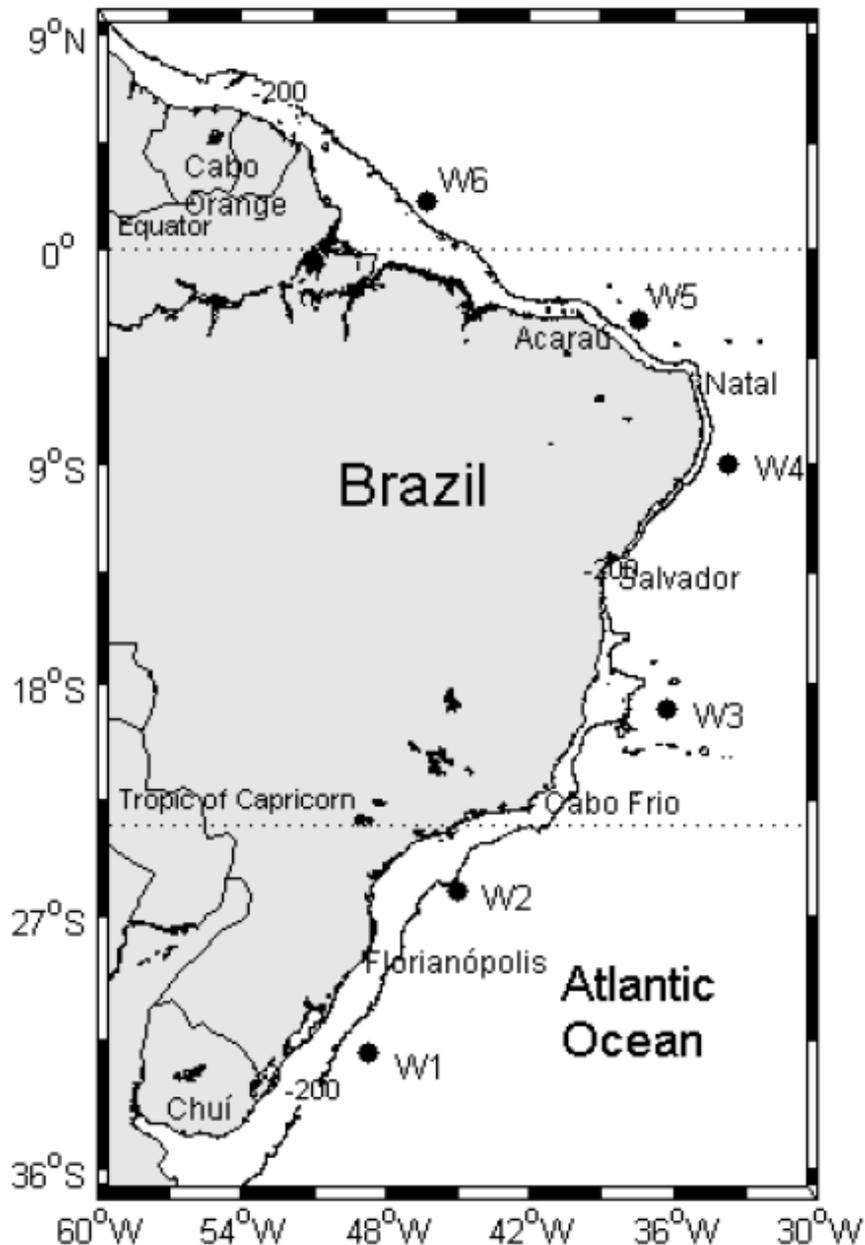


Figura 201 - Localização dos pontos utilizados em Pianca et al. (2010) para caracterizar o clima de ondas da costa brasileira.

A região de estudo se encontra no setor norte e nordeste com ondas provenientes de leste, sudeste e nordeste, geradas tanto pelos ventos alíseos quanto por tempestades remotas que cruzam o Atlântico Norte. O verão é a época do ano em que as ondas possuem mais energia, atribuído a variabilidade sazonal dos alíseos. O clima de ondas na região de estudo apresenta as seguintes características sazonais (PIANCA et al., 2010):

- Verão: ondas predominantemente de norte a leste com alturas variando entre 1,0 m e 3,0 m e períodos entre 6 s e 10 s.
- Outono: ondas predominantemente de E no ponto W5 e NE no ponto W6, com altura variando entre 1,0 m e 3,0 m e períodos entre 6 s e 8 s.
- Inverno: ondas predominantes de SW no ponto W5 e E no ponto W6, com alturas variando entre 2,0 m e 3,0 m e períodos entre 6 s a 8 s.
- Primavera: ondas predominantes de E, com alturas entre 1,0 m a 3,0 m e períodos entre 6 s e 8 s.

A Figura 202Figura 203 ilustram os resultados citados acima.

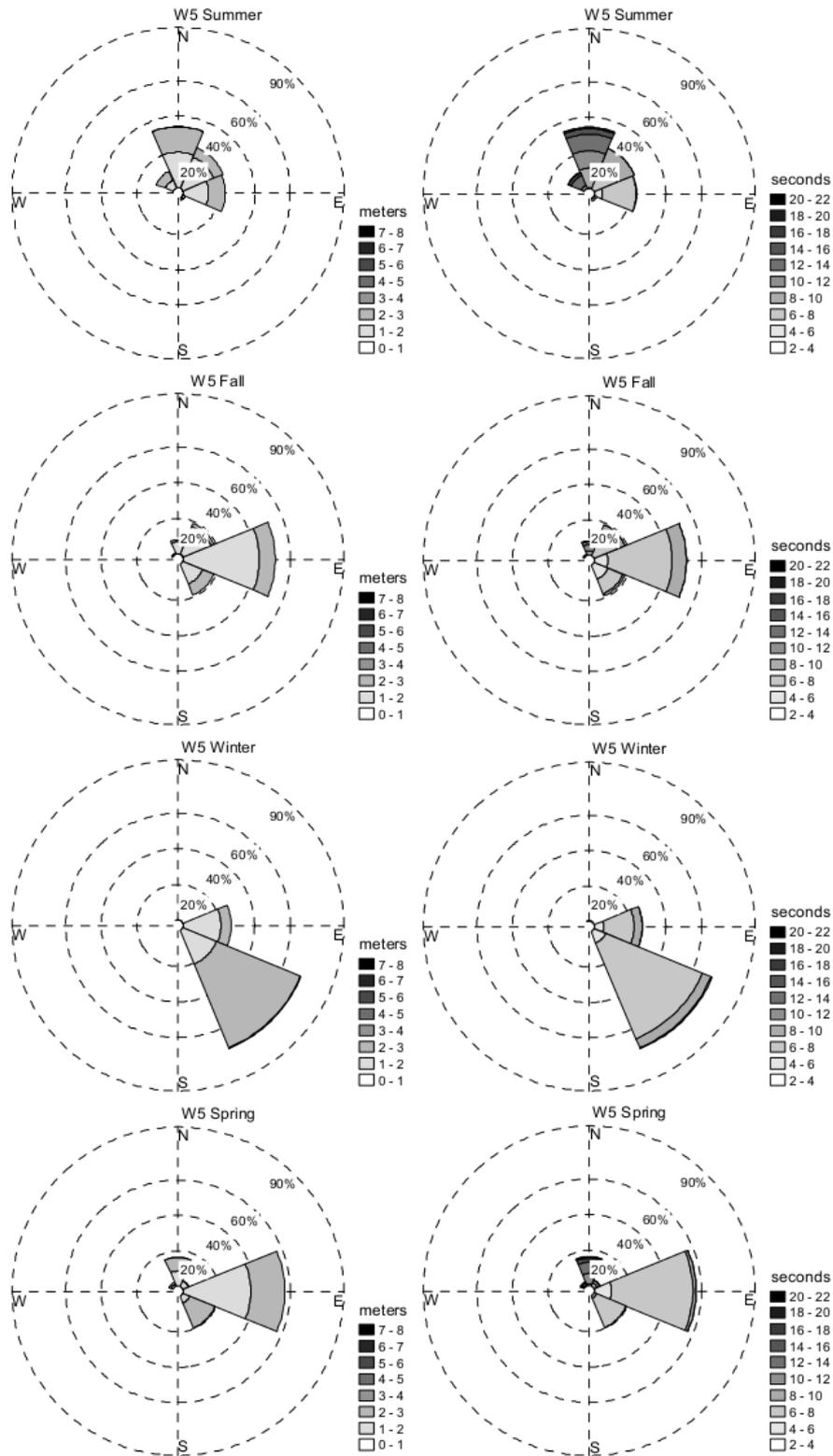


Figura 202 - Histogramas direcionais das características sazonais das ondas para o trecho N-NE da costa brasileira (ponto W5). As legendas dos histogramas à esquerda correspondem à altura de onda, em metros. As legendas dos histogramas à direita são referentes ao período de pico em segundos (Fonte: PIANCA et. al., 2010).

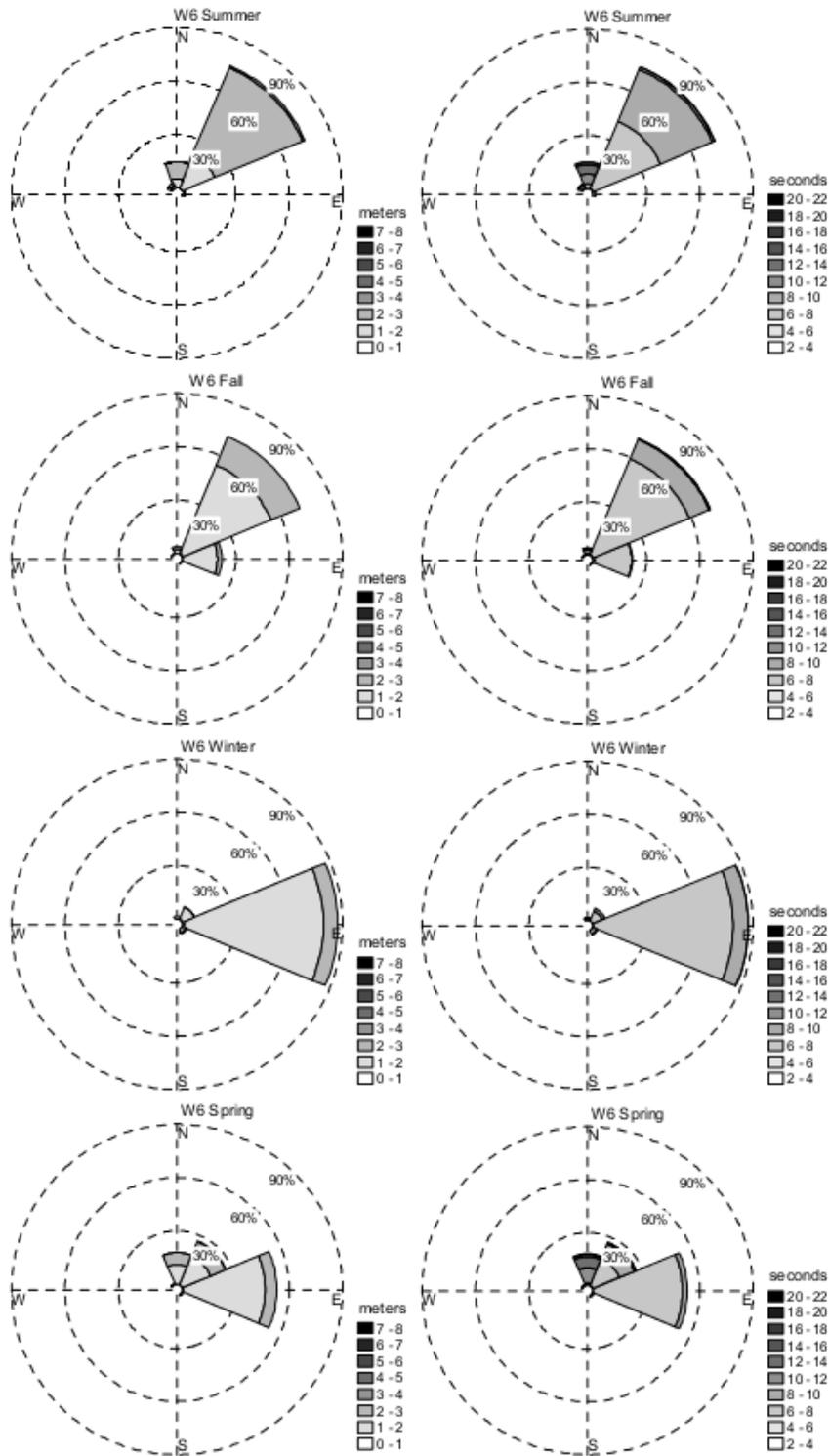


Figura 203 - Histogramas direcionais das características sazonais das ondas para o trecho N-NE da costa brasileira (ponto W6). As legendas dos histogramas à esquerda correspondem à altura de onda, em metros. As legendas dos histogramas à direita são referentes ao período de pico em segundos (Fonte: PIANCA et. al., 2010).



Conforme as ondas se propagam de águas profundas para águas mais rasas, alguns parâmetros são alterados pela interação com o fundo marinho e/ou com ilhas oceânicas. Esse tipo de interação pode causar refração nas ondas e alterar a direção de propagação das mesmas em virtude de mudanças na velocidade de propagação da frente de ondas. Tal mudança atua focalizando ou espalhando a energia transportada pelo trem de ondas, que conseqüentemente gera um respectivo aumento ou diminuição da altura significativa.

Para caracterizar o regime de ondas na região foram utilizados dados obtidos a partir dos resultados gerados pelo modelo WW3 (TOLMAN, 1999), implementado pela empresa Tetra Tech. Este banco de dados é constituído por campos de onda para o período de janeiro de 2001 a dezembro de 2010. A caracterização do clima das ondas e o padrão de sazonalidade a partir dos 10 anos de simulação global foi realizado para o ponto 2,10°S e 41,80'W, representativo para a região do bloco BAR-M-346.

A Figura 204 apresenta a variação interanual das séries temporais dos parâmetros utilizados para caracterização dos padrões de propagação de ondas: altura significativa e período de pico. No ponto de estudo, a maior altura significativa gerada pelo modelo foi cerca de 3,0 m. No entanto, a média das alturas de onda de todo período foi em torno de 1,5 m. O período de pico, por sua vez, tem uma variação significativa, apresentando na maior parte do tempo valores próximos a 8 a 10 s, porém com alguns picos de até 19 s.

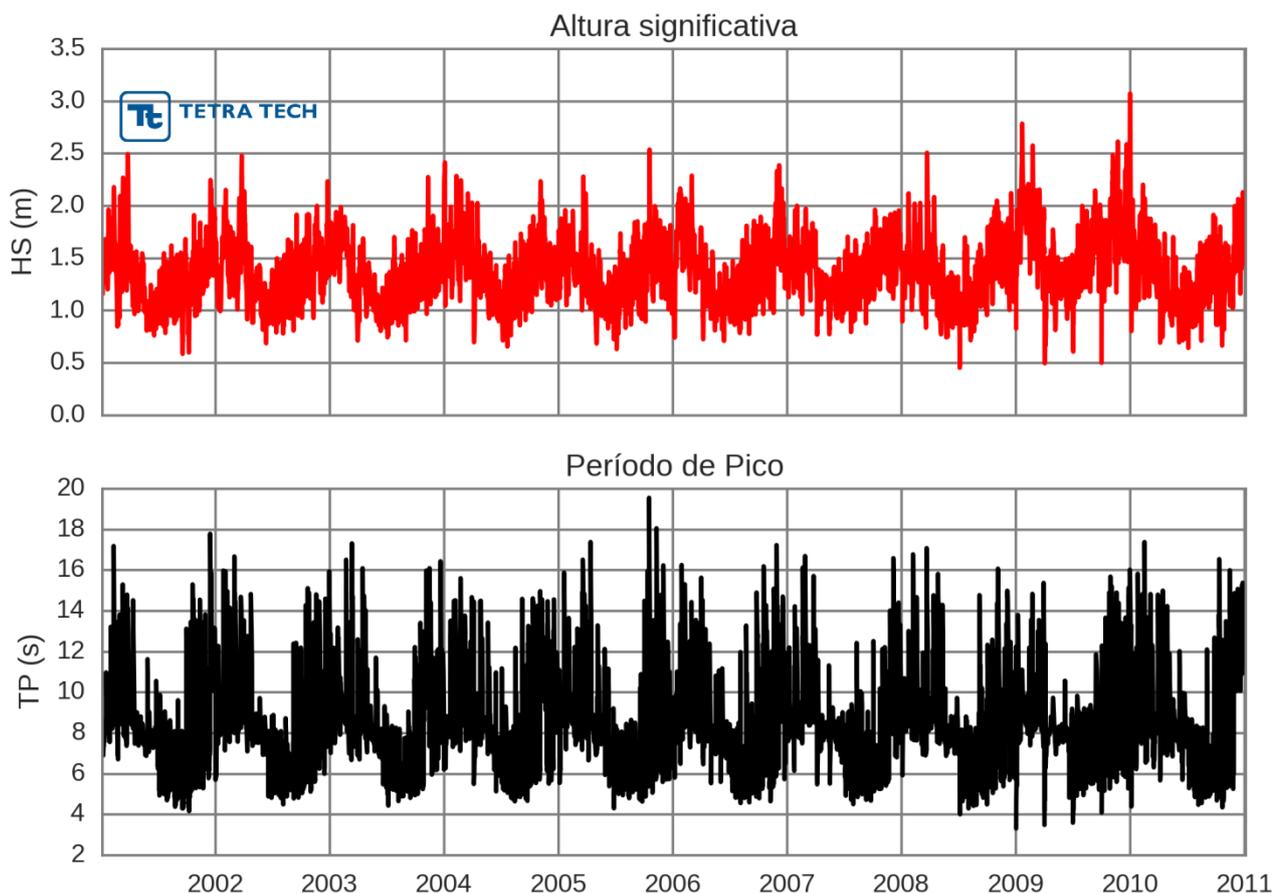


Figura 204 - Altura significativa (m) e período de pico (s) obtidos a partir de resultados do modelo WW3 no ponto 2, 10°S e 41,80°W, região do Bloco BAR-M-346. Período de 2001 a 2010 Fonte: TETRA TECH.

Uma caracterização sazonal da agitação marinha foi realizada através da altura significativa (Figura 205 a Figura 208), período de pico (Figura 209 a Figura 212) e energia (Figura 213 a Figura 216). Os períodos sazonais referem-se aos meses de janeiro a março (verão), abril a junho (outono), julho a setembro (inverno) e outubro a dezembro (primavera). As direções referem-se à incidência das ondas e seguem a convenção meteorológica, indicando portanto de onde a onda vem. A distância radial representa a frequência de ocorrência (%) e a escala de cores indica a magnitude do parâmetro avaliado. A altura significativa é dada em metros, o período de pico em segundos e a energia em kJ/m^2 .

Da Tabela 69 à Tabela 72 são apresentadas as distribuições de ocorrência conjunta de altura significativa e direção das ondas; da Tabela 73 à Tabela 76 as distribuições de ocorrência conjunta do período e direção das ondas; e da Tabela 77 à Tabela 80 o análogo para a energia das ondas. As análises foram realizadas sazonalmente para o período de

janeiro de 2001 a dezembro de 2010, no ponto de estudo do Bloco BAR-M-346. Para todo o período simulado, a ondulação alcançou altura significativa máxima de 3 m proveniente da direção N e período de pico máximo de 19,6 s da mesma direção, ambos ocorridos na primavera.

Nos meses de verão (Tabela 69, Tabela 73 e Tabela 77), 56,2% das ondas foram provenientes de N, seguidas por 39% de NE. Nestas direções predominantes a altura significativa média variou entre 1,5 m e 1,6 m, o período de pico médio entre 8,4 s e 10,6 s e a energia média das ondas entre 3 kJ/m² e 3,2 kJ/m². Em 47,8% das ocorrências, a altura significativa foi de 1,5 m a 2 m, e em 47,8% o período de pico esteve na faixa de 8 s a 10 s. A altura significativa máxima foi proveniente da direção N, atingindo 3 m. O período máximo observado foi de 19,6 s e a energia máxima de 11,2 KJ/m², também da direção N.

Nos meses de outono (Tabela 70, Tabela 74 e Tabela 78) a maior porcentagem das ondas foram provenientes da direção NE (57,2%), seguido de N (40,8%). As maiores ondas alcançaram 2,1 m, provenientes de N, e as alturas médias nas direções mais frequentes variaram entre 1,0 m e 1,5 m. Um total de 67,7% das ondas apresentaram altura significativa na faixa entre 1 m e 1,5 m. O período de pico médio na direção N foi de 9,6 s e o máximo de 17,4 s, da mesma direção. As ondas com períodos de pico entre 6 e 8 s representaram 44,5% das ocorrências e a máxima energia atingida foi de 5,7 kJ/m².

Nos meses de inverno (Tabela 71,

Tabela 75 e Tabela 79), a predominância das ondas foi das direções E seguida de NE, à proporção de 59,7% e 34,6%, respectivamente. O total de 71,9% das ondas teve altura significativa entre 1,0 m e 1,5 m, sendo que na direção predominante a altura média foi de 1,3 m e o período de pico de 5,8 s. O período máximo ocorreu na direção N, com 14,9 s. A faixa predominante de períodos de pico foi de 4 s a 8 s, com 83,4% dos registros. A altura significativa máxima atingiu 1,9 m na direção E, o período de pico máximo 14,9 s na direção N e a energia máxima 4,6 KJ/m² na direção E.

Os meses de primavera (Tabela 72, Tabela 76 e Tabela 80) foram caracterizados por ondas predominantemente de N, com 51,8%. A altura significativa média nesta direção foi de 1,5 m e o período de pico médio de 11,7 s. A faixa predominante de altura significativa foi 1 m a 1,5 m (52,6%). Não foi observado uma predominância em relação ao período de pico, que variou desde 4 à 14 s com frequências próximas à 20%. Os valores máximos atingidos

foram de 3,0 m de altura significativa, 19,6 s de período de pico e 11,2 kJ/m² de energia, todos os parâmetros referentes à direção N.

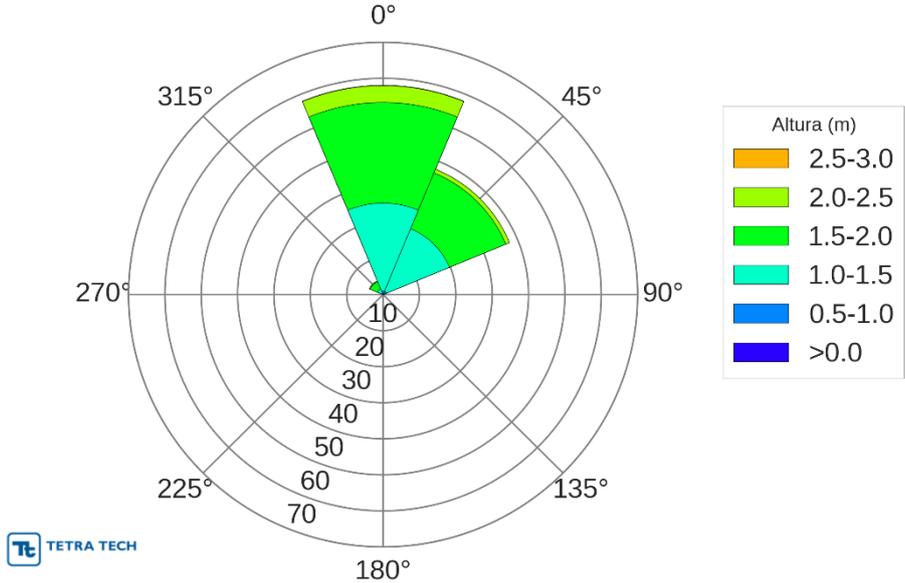


Figura 205 - Histograma direcional de altura significativa (m) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

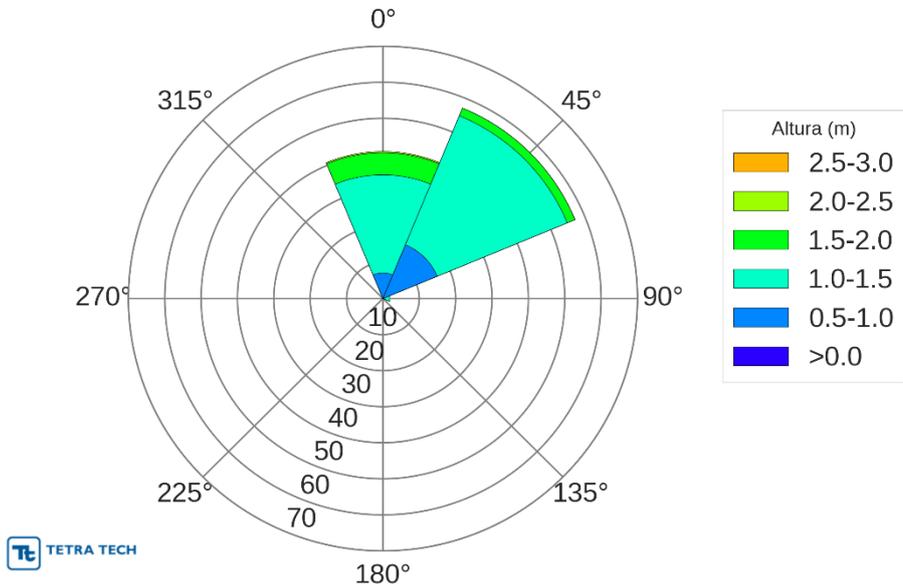


Figura 206 - Histograma direcional de altura significativa (m) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

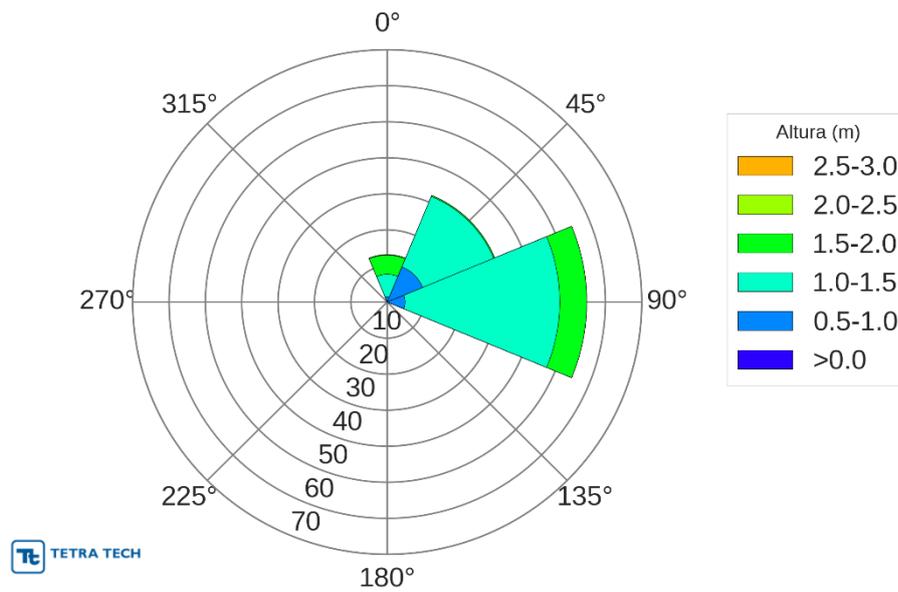


Figura 207 - Histograma direcional de altura significativa (m) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

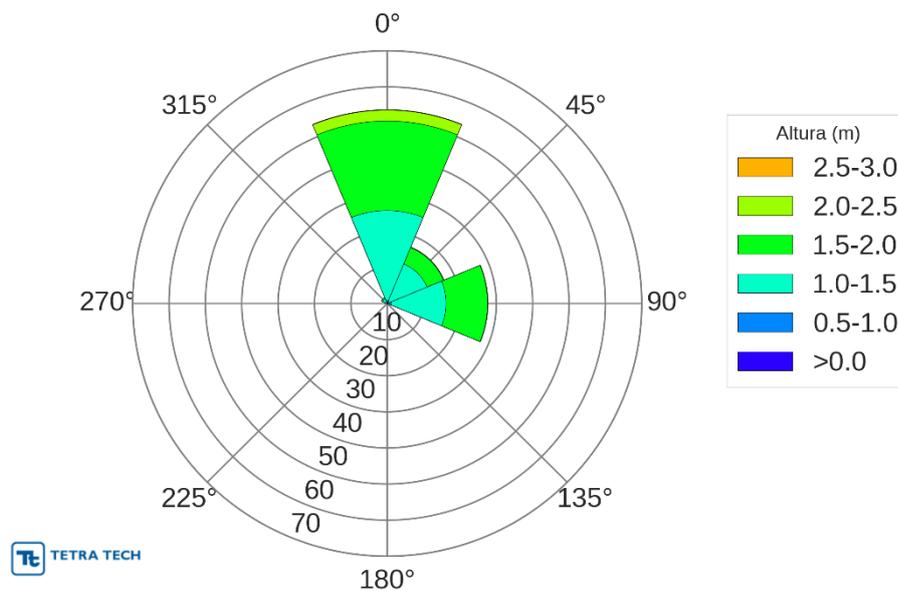


Figura 208 - Histograma direcional de altura significativa (m) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro), na região do bloco Bar-M-346. Fonte: TETRA TECH.

Tabela 69 - Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa das ondas (m) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: Tetra Tech.

Altura (m)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
0,5-1,0	1.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	2.0
1,0-1,5	22.87	18.38	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83	43.2
1,5-2,0	27.41	17.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.41	47.8
2,0-2,5	4.85	1.69	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	6.8
2,5-3,0	0.08	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2
(%)	56.2	39.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	
Média	1.6	1.5	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	
Máximo	2.7	2.6	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	

Tabela 70 - Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa das ondas (m) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Altura (m)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,5-1,0	7,10	16,15	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,6
1,0-1,5	27,22	38,73	1,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	67,7
1,5-2,0	6,10	2,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,4
2,0-2,5	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,3
(%)	40,8	57,2	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
Média	1,3	1,1	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	
Máximo	2,1	1,9	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	

Tabela 71 - Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa das ondas (m) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Altura (m)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,5	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1
0,5-1,0	1.39	11.88	5.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.9
1,0-1,5	3.42	22.42	46.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.9
1,5-2,0	0.87	0.30	7.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.1
(%)	5.7	34.6	59.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Média	1.2	1.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Máximo	1.8	1.7	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Tabela 72 - Diagrama de ocorrência conjunta de altura significativa das ondas (m) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Altura (m)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-0,5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
0,5-1,0	0.79	0.57	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	2.6
1,0-1,5	24.10	11.41	15.95	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14	52.6
1,5-2,0	23.80	5.27	11.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	41.2
2,0-2,5	2.93	0.14	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.3
2,5-3,0	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.2
(%)	51.8	17.4	29.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	
Média	1.5	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	
Máximo	3.0	2.2	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	

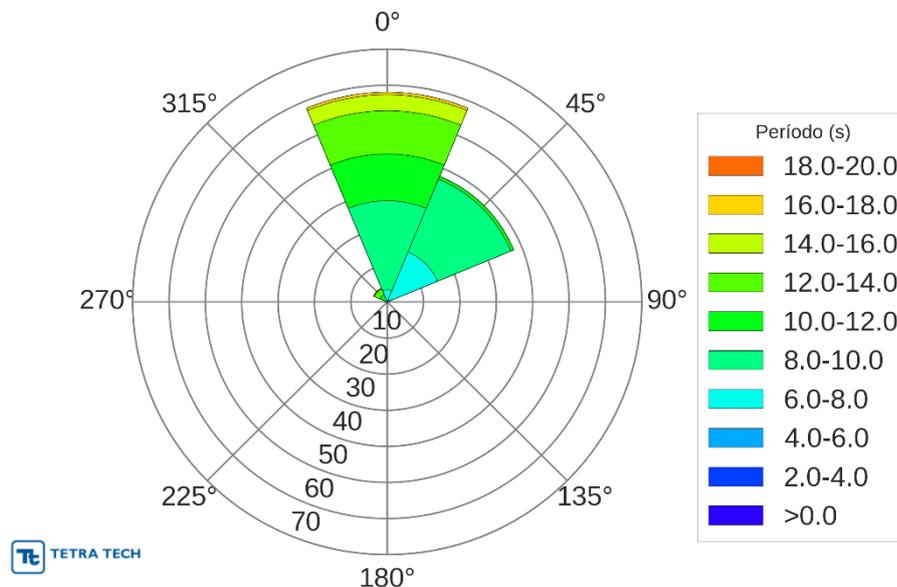


Figura 209 - Histograma direcional de período de pico (s) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

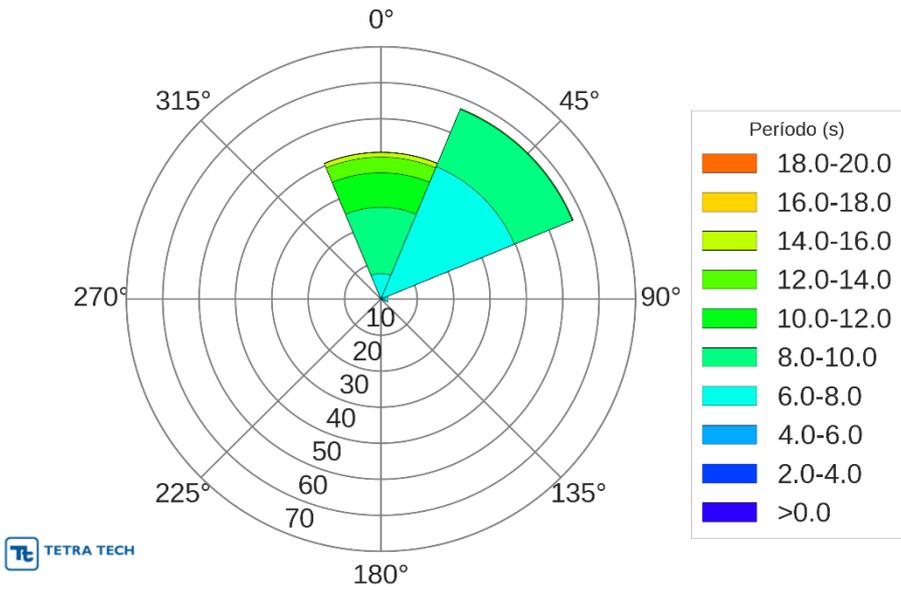


Figura 210 - Histograma direcional de período de pico (s) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho), na região do bloco Bar-M-346. Fonte: TETRA TECH.

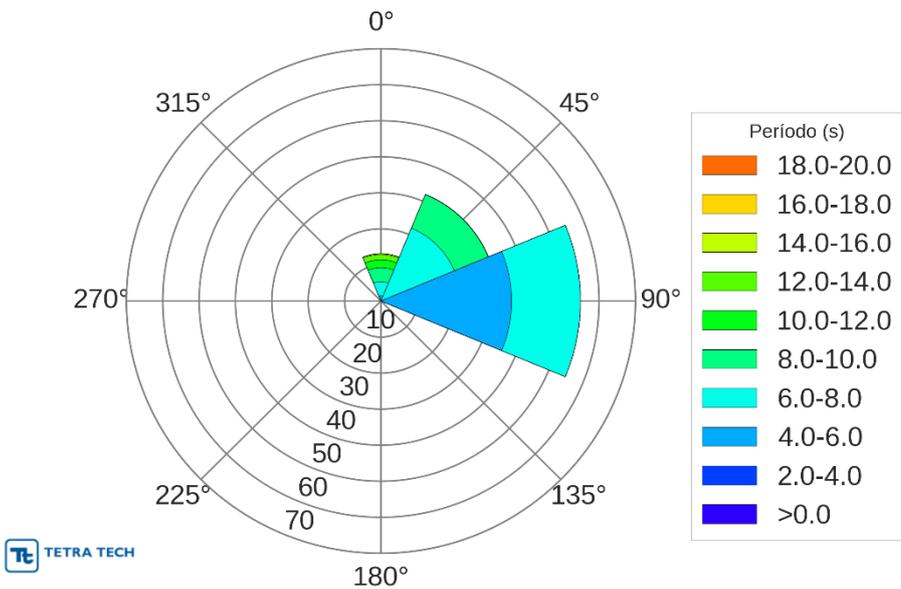


Figura 211 - Histograma direcional de período de pico (s) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

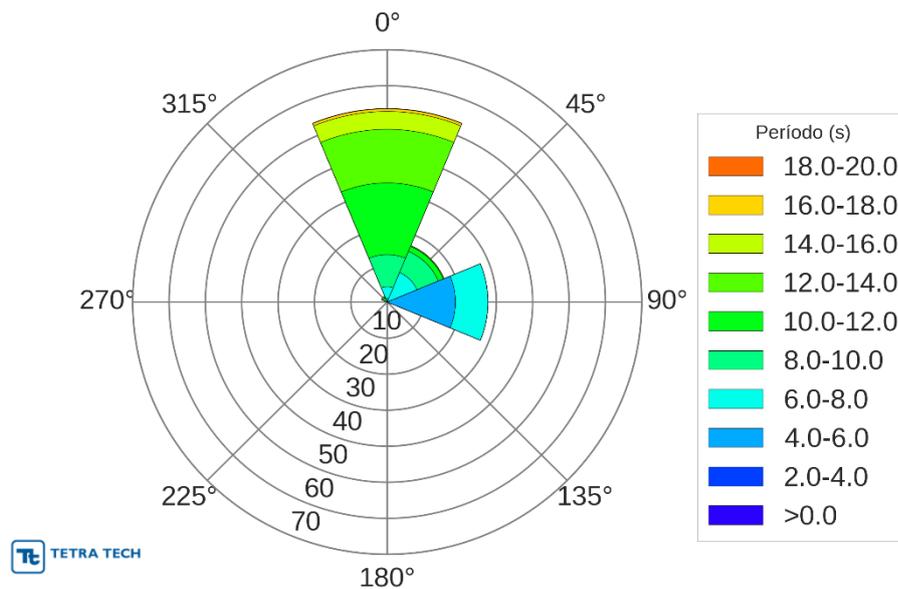


Figura 212 - Histograma direcional de período de pico (s) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Tabela 73 - Diagrama de ocorrência conjunta de período de pico das ondas (s) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Período (s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
2,0-4,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
4,0-6,0	0.00	0.61	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.7
6,0-8,0	2.99	13.30	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.4
8,0-10,0	24.09	23.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	47.8
10,0-12,0	12.83	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.16	16.4
12,0-14,0	11.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94	13.5
14,0-16,0	4.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	4.4
16,0-18,0	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.7
(%)	56.2	39.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	
Média	10.6	8.4	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	
Máximo	17.3	11.2	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	17.4	

Tabela 74 - Diagrama de ocorrência conjunta de período de pico das ondas (s) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Período (s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
2,0-4,0	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
4,0-6,0	1,53	0,08	35,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,5
6,0-8,0	3,79	21,78	18,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,5
8,0-10,0	3,90	10,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,0
10,0-12,0	2,17	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,2
12,0-14,0	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,5
14,0-16,0	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,3
(%)	13,1	32,0	54,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Média	8,7	7,7	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	14,9	10,4	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 75 - Diagrama de ocorrência conjunta de período de pico das ondas (s) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Período (s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
2,0-4,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
4,0-6,0	0,00	0,08	40,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,2
6,0-8,0	0,54	23,04	19,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,2
8,0-10,0	1,74	11,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,2
10,0-12,0	1,71	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,8
12,0-14,0	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,4
14,0-16,0	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,2
(%)	5,7	34,6	59,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Média	10,6	7,7	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Máximo	14,9	10,4	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 76 - Diagrama de ocorrência conjunta de período de pico das ondas (s) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Período (s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
2,0-4,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
4,0-6,0	0.00	0.38	19.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.0
6,0-8,0	0.65	9.46	9.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.6
8,0-10,0	8.51	5.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.5
10,0-12,0	20.11	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	22.6
12,0-14,0	16.03	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	16.6
14,0-16,0	5.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	6.0
16,0-18,0	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.7
18,0-20,0	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1
(%)	51.8	17.4	29.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	
Média	11.7	7.9	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	
Máximo	19.6	13.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	15.9	

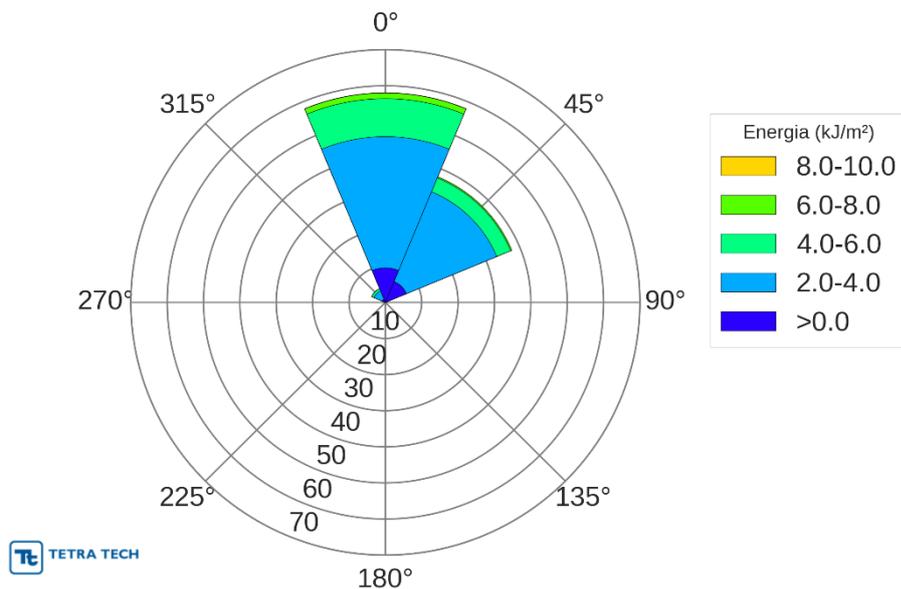


Figura 213 - Histograma direcional de energia (KJ/m²) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

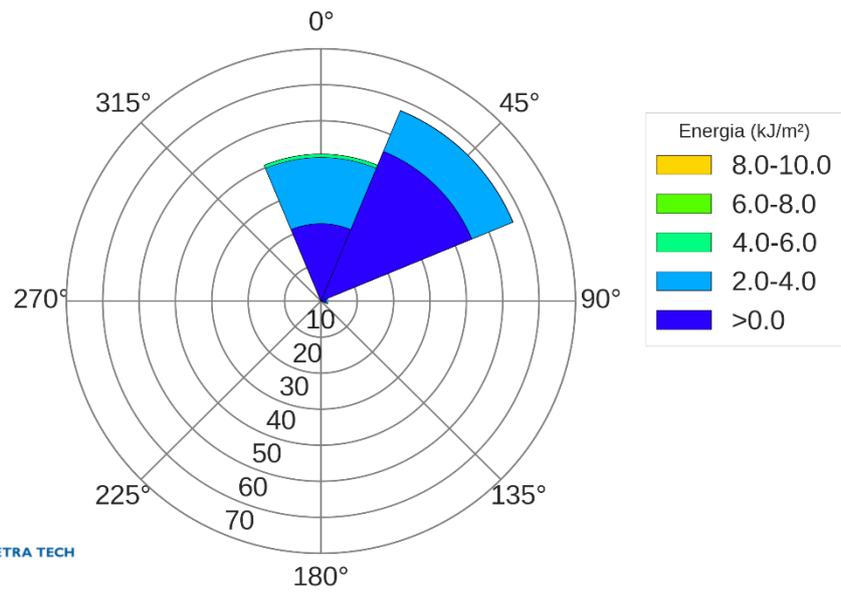


Figura 214 - Histograma direcional de energia (KJ/m²) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

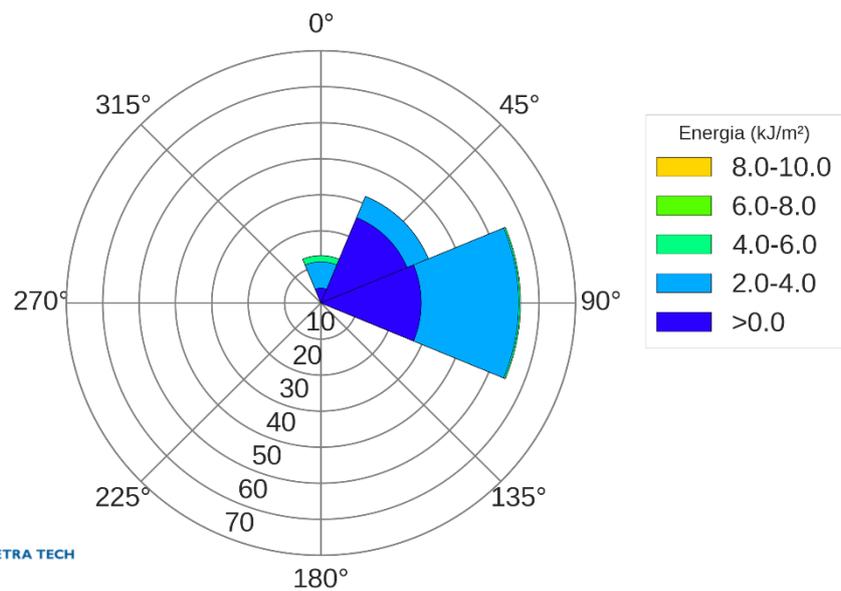


Figura 215 - Histograma direcional de energia (KJ/m²) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro), na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

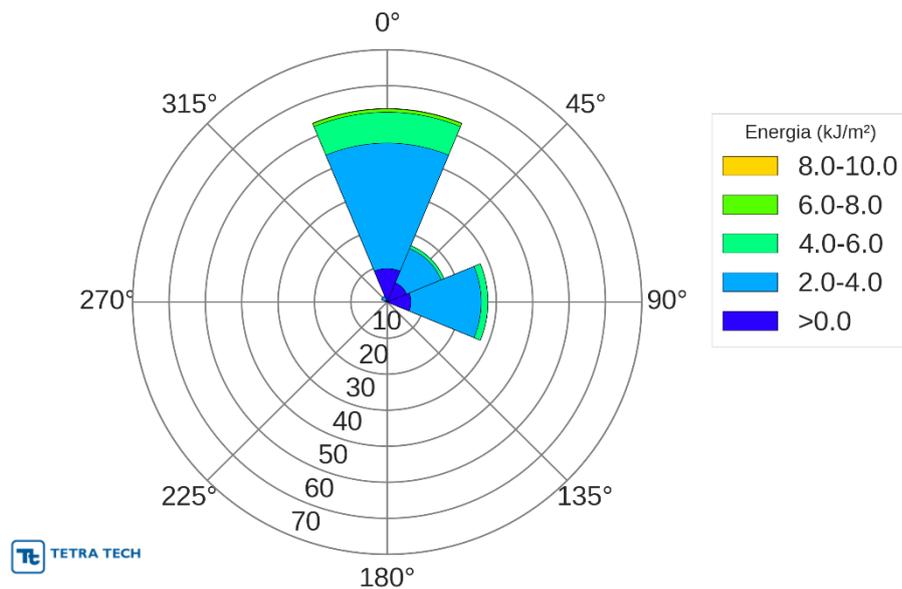


Figura 216 - Histograma direcional de energia (KJ/m²) e direção das ondas (°), a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Tabela 77 - Diagrama de ocorrência conjunta de energia das ondas (KJ/m²) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o verão (janeiro a março) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Energia (kJ/m ²)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW (%)
0,0-2,0	8.92	5.96	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89 15.8
2,0-4,0	34.76	27.38	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	2.97 65.2
4,0-6,0	10.78	4.91	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69 16.4
6,0-8,0	1.69	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06 2.4
8,0-10,0	0.06	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 0.2
(%)	56.2	39.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
Média	3.2	3.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
Máximo	8.9	8.5	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1

Tabela 78 - Diagrama de ocorrência conjunta de energia das ondas (KJ/m²) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o outono (abril a junho) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Energia (kJ/m ²)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW (%)
0,0-2,0	21,46	44,95	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12 67,9
2,0-4,0	18,36	12,17	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 31,1
4,0-6,0	0,94	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 1,0
(%)	40,8	57,2	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Média	2,0	1,6	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
Máximo	5,7	4,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5

Tabela 79 - Diagrama de ocorrência conjunta de energia das ondas (KJ/m²) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para o inverno (julho a setembro) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Energia (kJ/m ²)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	3.23	27.88	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.1
2,0-4,0	2.36	6.71	29.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.4
4,0-6,0	0.08	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.5
(%)	5.7	34.6	59.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Média	1.9	1.5	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Máximo	4.1	3.5	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Tabela 80 - Diagrama de ocorrência conjunta de energia das ondas (KJ/m²) e direção de propagação, a partir de resultados do modelo WW3 para a primavera (outubro a dezembro) na região do bloco Bar-M-346. Período de 2001 a 2010. Fonte: TETRA TECH.

Energia (kJ/m ²)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	(%)
0,0-2,0	8.73	5.68	6.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	21.8
2,0-4,0	33.70	10.91	20.21	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	65.9
4,0-6,0	8.54	0.82	2.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	11.4
6,0-8,0	0.71	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.8
8,0-10,0	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1
(%)	51.8	17.4	29.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	
Média	3.1	2.5	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	
Máximo	11.2	5.9	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	

Uma análise espacial da agitação marinha na área de estudo também foi realizada. Da Figura 217 à Figura 224 são apresentados os campos médios de altura significativa (m) e período de pico (s), bem como as direções associadas, para os quatro períodos sazonais analisados.

As menores ondas são observadas no outono e inverno, quando a ondulação predominante de E e NE têm altura média de 1,5 m nas regiões oceânicas e menos de 1 m sobre a plataforma continental. Tanto o período como a altura de onda aumentam na primavera e verão, associados aos *swells* que atingem a região de forma mais frequentemente nessas estações. Esses *swells* são formadas em latitudes superiores do hemisfério norte, que se encontra sob a sazonalidade de outono e inverno. Assim, nos períodos de primavera e verão do hemisfério sul, a ondulação no exterior da plataforma continental tem direção predominante de N e atinge sua máxima altura e período de pico, em torno de 2,5 m e 10 s, respectivamente. A altura significativa e o período voltam a diminuir

durante o outono e inverno, quando a direção média predominante espacialmente é de E e SE.

O padrão e variabilidade das ondas é resposta à migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical, como discutido por PIANCA et. al (2010). Esta variabilidade marcada na direção de incidência das ondas, com predominância de N e NE no verão e de E no inverno, corresponde às migrações sazonais e a incidência dos ventos associados deste sistema atmosférico.

Devido à ampla largura da plataforma continental, constata-se que as ondas incidentes na região do bloco sofrem alteração de direção devido ao processo de refração. Assim, as ondas tendem a se propagar cada vez mais perpendiculares às isóbatas, à medida que se aproximam da linha de costa.

Altura Significativa - verão

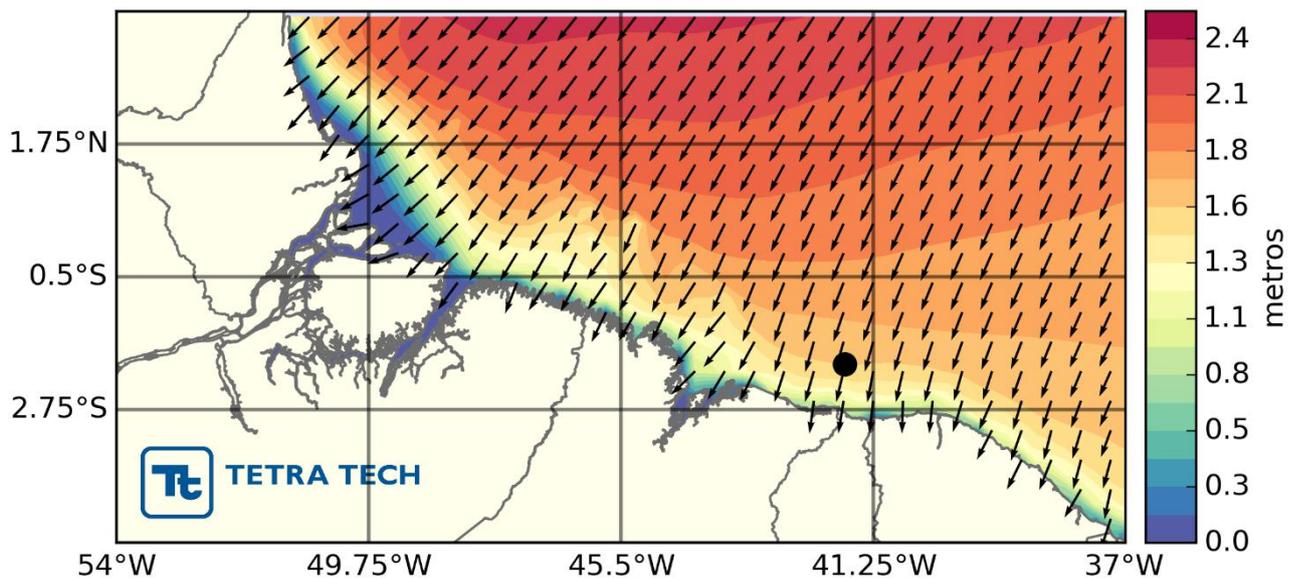


Figura 217 - Mapa de altura significativa média (m) e direção de incidência das ondas (vetores) para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados o ponto de produção. Fonte: TETRA TECH.

Altura Significativa - outono

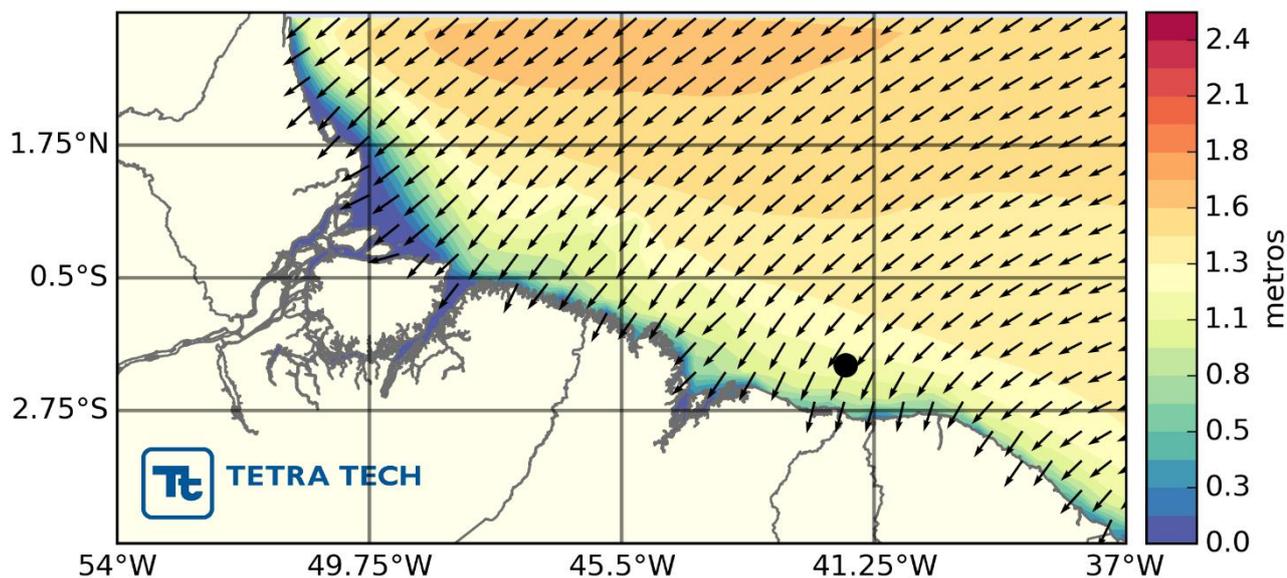


Figura 218 - Mapa de altura significativa média (m) e direção de incidência das ondas (vetores) para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: Tetra Tech.

Altura Significativa - inverno

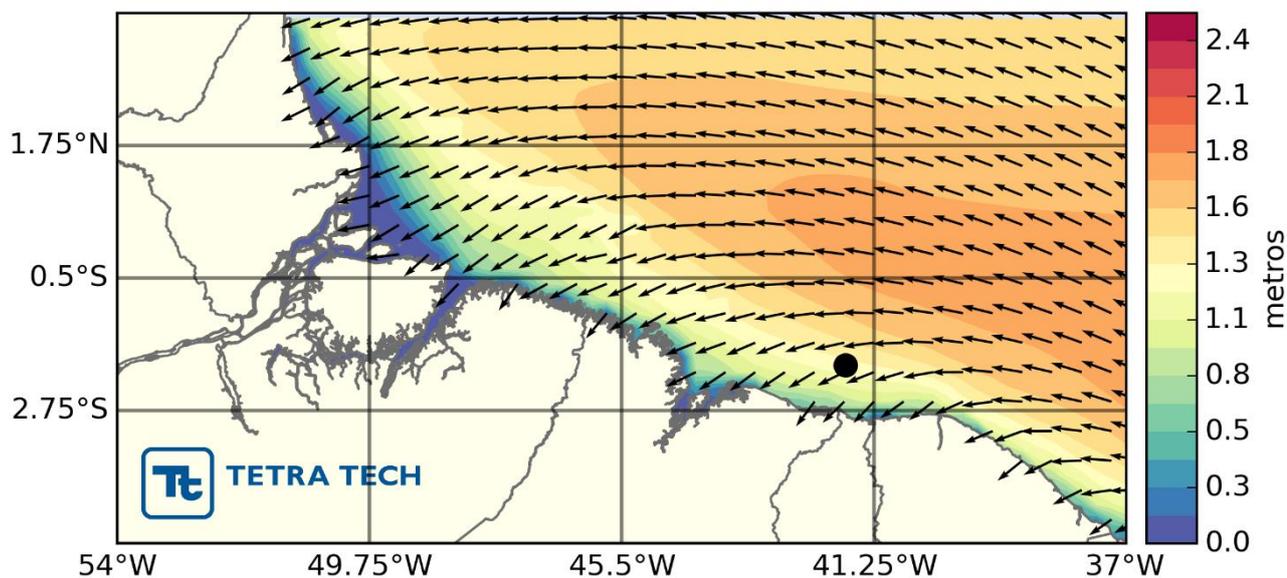


Figura 219 - Mapa de altura significativa média (m) e direção de incidência das ondas (vetores) para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.

Altura Significativa - primavera

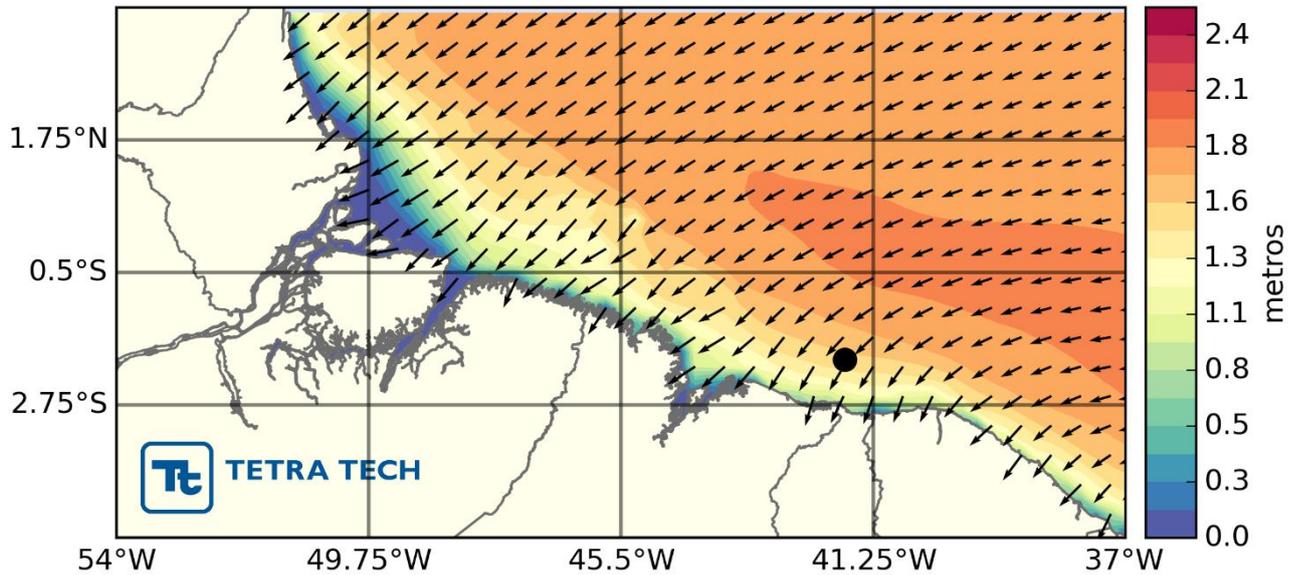


Figura 220 - Mapa de altura significativa média (m) e direção de incidência das ondas (vetores) para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: Tetra Tech.

Período de Pico - verão

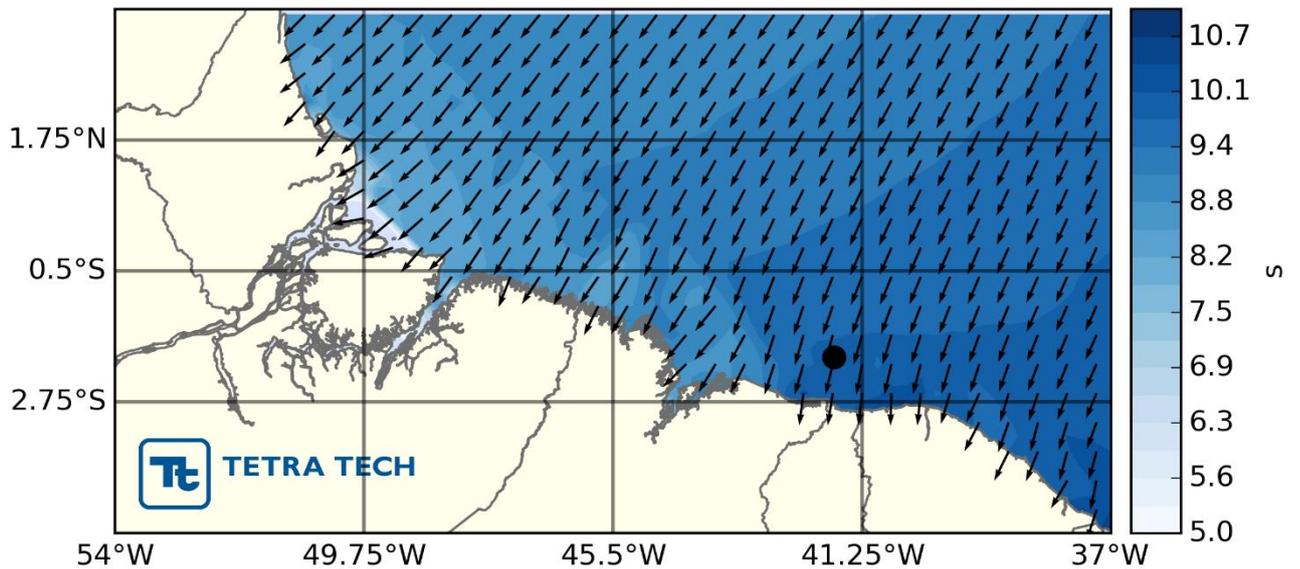


Figura 221 - Mapa de período de pico médio (s) e direção de incidência das ondas (vetores) para o verão (janeiro a março), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.

Período de Pico - outono

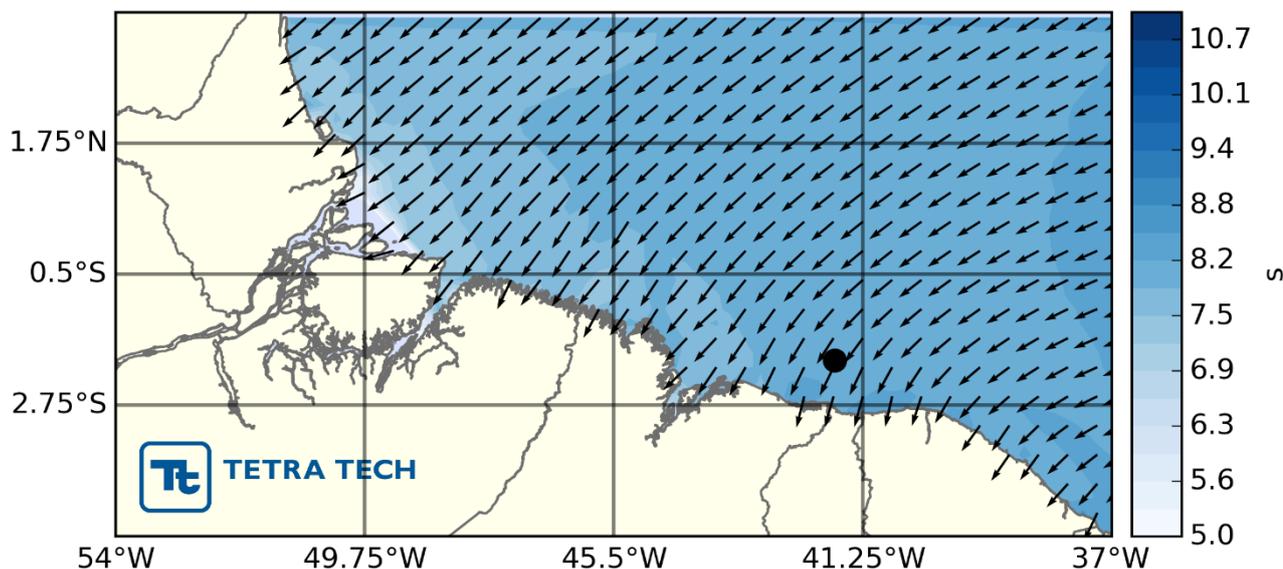


Figura 222 - Mapa de período de pico médio (s) e direção de incidência das ondas (vetores) para o outono (abril a junho), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.

Período de Pico - inverno

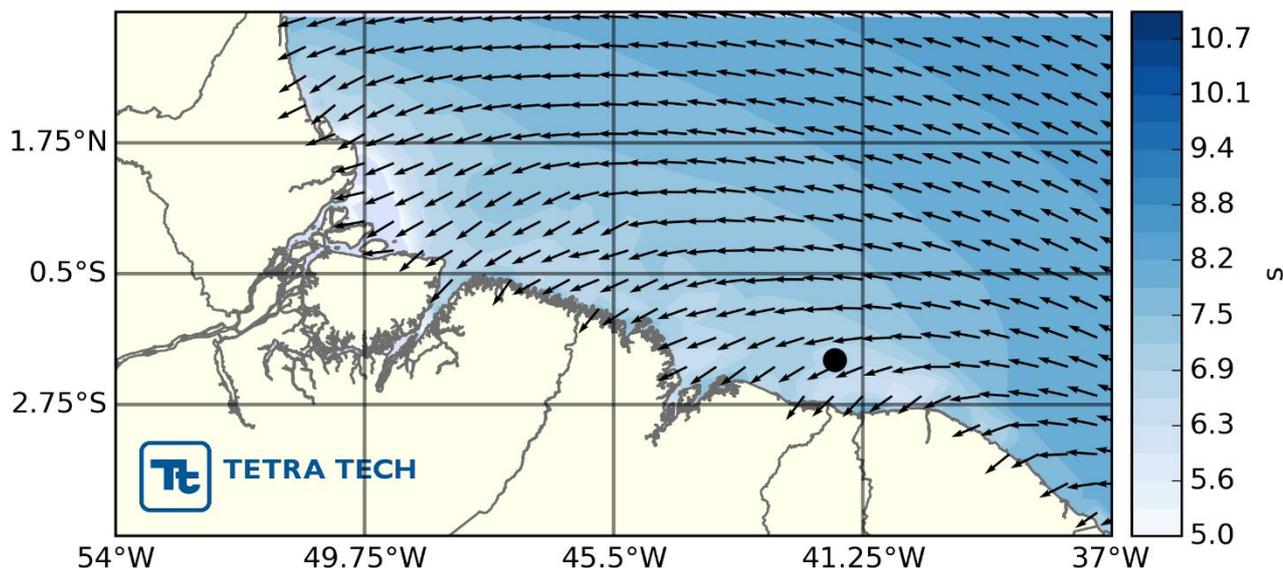


Figura 223 - Mapa de período de pico médio (s) e direção de incidência das ondas (vetores) para o inverno (julho a setembro), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.

Período de Pico - primavera

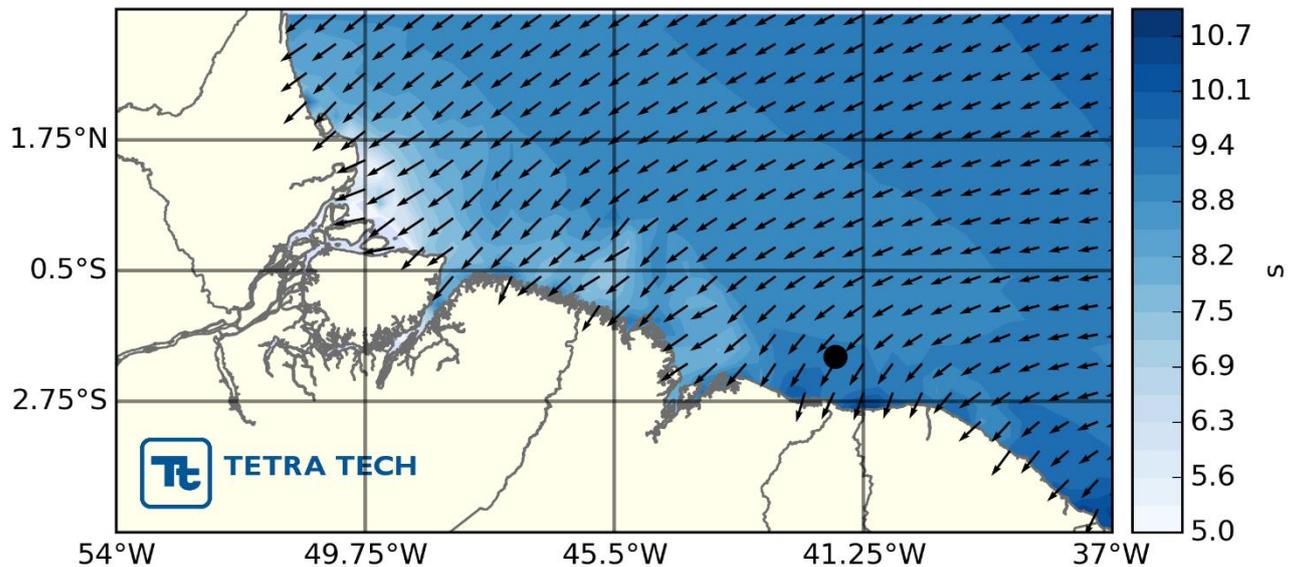


Figura 224 - Mapa de período de pico médio (s) e direção de incidência das ondas (vetores) para a primavera (outubro a dezembro), obtido a partir de resultados do modelo WW3. Período 2001 a 2010. Demarcados os pontos de produção. Fonte: TETRA TECH.

Refração de Ondas

Um mapa da refração média das ondas foi gerado a partir dos resultados do modelo WW3 para todo o período analisado, que compreende os anos de 2001 até 2010 (Figura 225). As linhas pretas marcam a direção média de propagação das frentes de onda. Observa-se que as ondas são, em média, provenientes de NE e, ao se aproximarem da costa, sofrem influência da profundidade local de forma que se adaptam à batimetria, numa tendência de seguir na direção perpendicular às isóbatas.

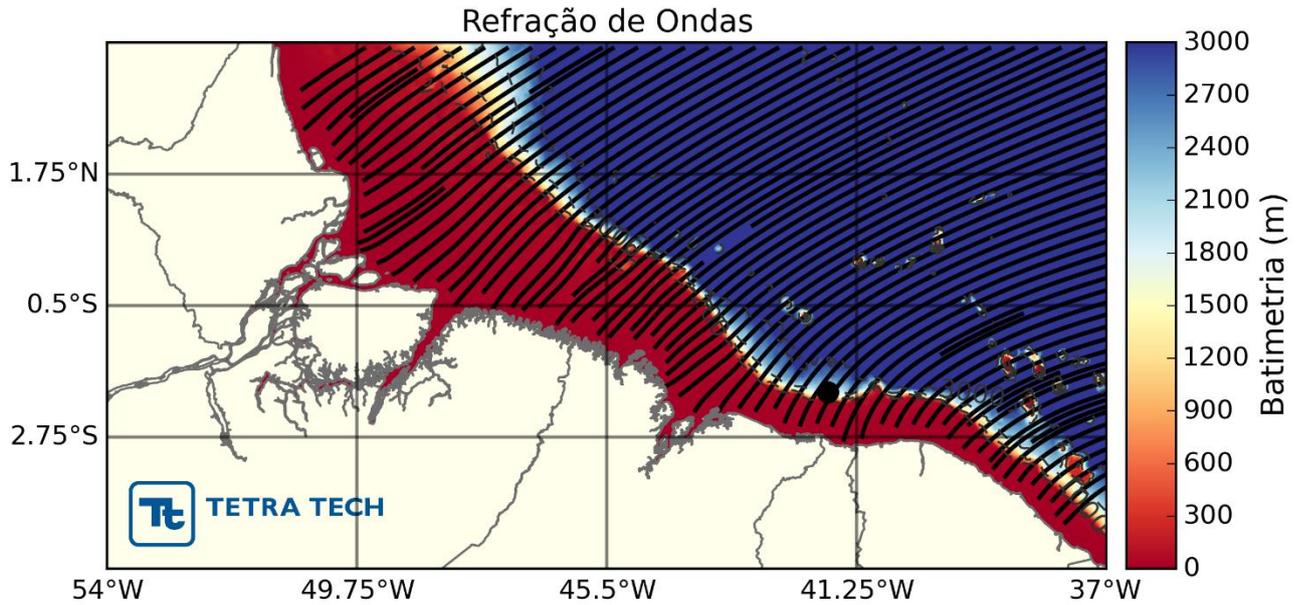


Figura 225 - Mapa de refração média das ondas, obtido a partir de resultados do modelo WW3 para o período de 2001 a 2010. As linhas pretas indicam as direções médias da frente de onda e a escala de cores representa a batimetria (m). Demarcado o ponto de produção. Fonte: TETRA TECH.

Deriva Litorânea

Denominam-se correntes de deriva litorânea aos fluxos paralelos à costa encontrados na zona de arrebentação, formados pela incidência de ondas (Short, 2006). A descrição da corrente de deriva resultante, responsável pelo transporte de sedimentos, bem como os processos de erosão e progradação da linha de costa foram descritos por Silvester (1968). Neste trabalho o autor se utiliza da análise do clima de ondas e da localização da linha de costa para inferir o transporte em macrorregiões do Brasil. Para a região entre o Cabo Orange no Amapá e Cabo Calcanhar no Rio Grande do Norte, correspondente a região de estudo, o autor observou que as correntes de deriva litorânea resultantes rumam para oeste da costa devido à direção dos ventos e das ondas de leste incidentes ao longo de todo o ano.

3.6. CONDIÇÕES EXTREMAS

Uma caracterização dos eventos extremos de correntes, ondas e nível do mar foi realizada a partir das séries temporais utilizadas na avaliação da variabilidade intranual do ponto de interesse. Segundo Wilks (1995), o termo eventos extremos indica os maiores (ou menores) valores de uma variável em um determinado número de observações, de forma que a análise estatística realizada para se obter as condições extremas de cada variável considerou os seguintes critérios:

1º) valor médio mais um desvio padrão (representando, aproximadamente, o percentil de 85%);

2º) valor médio mais dois desvios padrão (representando, aproximadamente, o percentil de 95%).

3.6.1. Correntes

Na análise de eventos extremos das correntes de superfície foi utilizada a série obtida dos resultados do modelo HYCOM (mesmos resultados apresentados na sessão 3.3). A série contempla os anos de 2008 à 2012.

Sobre o bloco BAR-M-346, os valores de corte para o primeiro e segundo critério foram 0,82 m/s e 1,29 m/s, respectivamente. Do total de 1827 observações, foram selecionadas 17,0% dos valores (319 registros) pelo primeiro critério e 3,1% (57) pelo segundo critério.

Na Figura 226 podem ser observados os histogramas direcionais dos eventos extremos para o primeiro (esquerda) e segundo (direita) critérios para a corrente superficial, onde a direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção oceanográfica (direção do caminho preferencial da corrente), a intensidade é indicada pela escala de cores e a distância radial representa a frequência de observações (%). Em ambos critérios, as correntes apresentam fluxo para oeste, indicando a forte dominância da Corrente Norte do Brasil. A Figura 227 apresenta a variação anual dos eventos que excedem o primeiro e o segundo critérios. Observa-se que o ano de 2012 foi aquele no qual ocorreram as maiores porcentagens de eventos extremos tanto do primeiro quanto do segundo critério. Finalmente, a Tabela 81 apresenta a análise sazonal da probabilidade da ocorrência de eventos extremos. Para o primeiro critério, a estação com a probabilidade de ocorrência de maior

número de eventos extremos é o outono (4,82%), porém as maiores intensidades médias ocorrem no verão (1,04 m/s). Já para o segundo critério, a maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos ocorre no outono (1,2%). Todavia, as correntes mais intensas ocorrem no inverno (1,43 m/s).

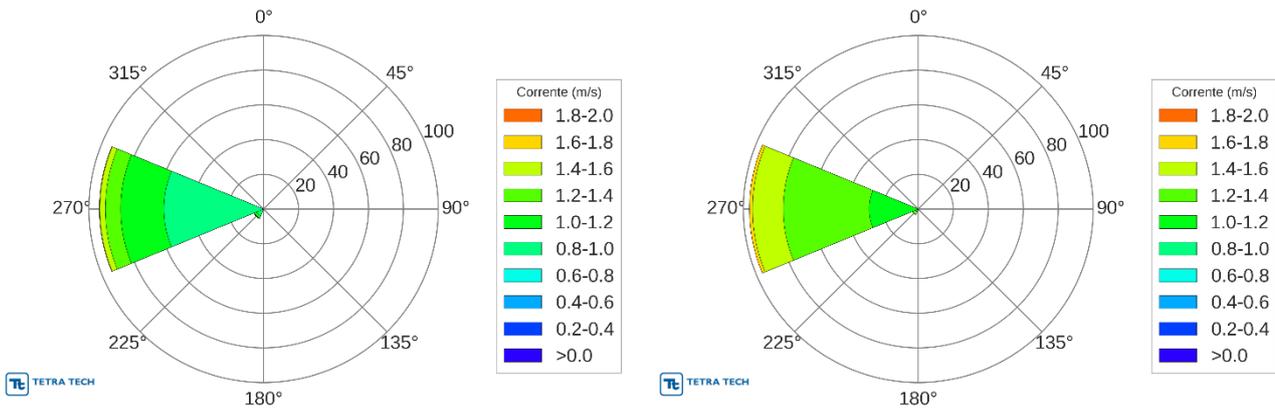


Figura 226 - Histograma direcional dos eventos extremos de corrente superficial selecionados pelo primeiro critério (esquerda) e segundo (direita) critérios, obtidos a partir dos resultados do modelo HYCOM no bloco exploratório BAR-M-346. Período 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.

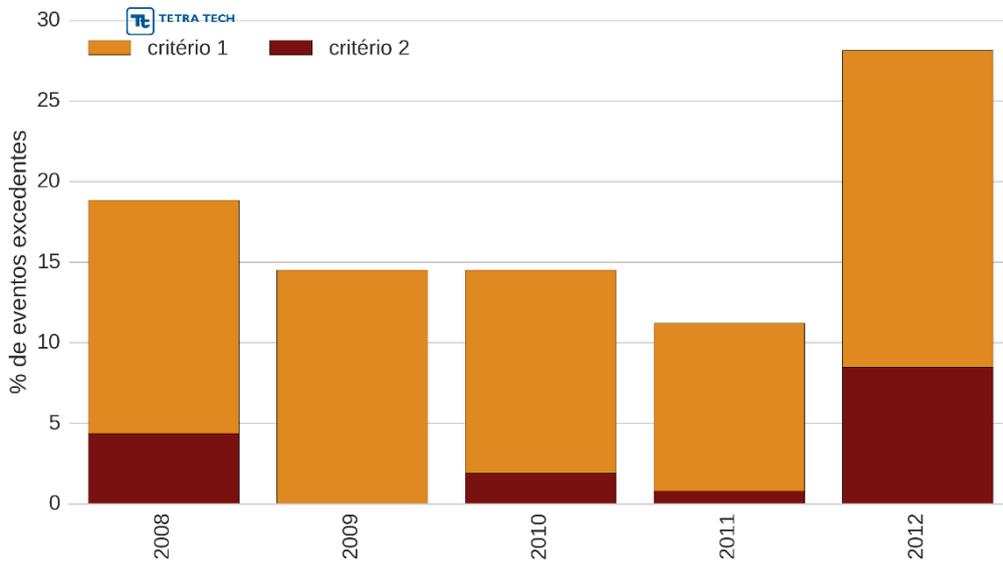


Figura 227 – Variação anual de ocorrência de eventos extremos de correntes excedendo o primeiro e o segundo critérios sobre o bloco BAR-M-346.

Tabela 81 - Probabilidade de ocorrência, intensidade média (m/s) e direção média sazonal das correntes dentro do 1° e 2° critérios, obtidos a partir dos resultados do modelo HYCOM no bloco BAR-M-346

Estação	1° Critério			2° Critério		
	Prob. (%)	Média (m/s)	Direção	Prob. (%)	Média (m/s)	Direção
Verão	3.89	1.04	W	0.66	1.24	W
Outono	4.82	0.89	W	1.20	1.13	W
Inverno	3.89	1.12	W	0.99	1.43	W
Primavera	4.49	0.90	W	0.82	1.15	W

3.6.2. Ondas

Para o estudo das condições extremas de ondas, foi utilizada a mesma base de dados descrita no item 3.5, bem como a série utilizada na análise pontual desta seção. Junto ao bloco BAR-M-346, os valores de corte para o primeiro e segundo critério foram 1,66 m e 2,00 m, respectivamente. Do total de 14595 observações, foram selecionadas 14,9% dos valores (2178 registros) pelo primeiro critério e 2,7% (400) pelo segundo critério.

Na Figura 228 observa-se os histogramas direcionais dos eventos extremos para o primeiro (esquerda) e segundo (direita) critérios para a altura das ondas, onde a direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica (direção de incidência das ondas), a intensidade é indicada pela escala de cores e a distância radial representa a frequência de observações (%). Em ambos critérios, as ondas são provenientes de N, com componentes secundárias de NE. A Figura 229 apresenta a variação anual dos eventos que excedem o primeiro e o segundo critérios. O ano de 2009 foi aquele que apresentou maior porcentagem de eventos excedentes em ambos critérios. Na Tabela 82, é apresentada a análise sazonal da probabilidade da ocorrência de eventos extremos. Para o primeiro critério, a estação com a probabilidade de ocorrência de maior número de eventos extremos é a primavera, porém as maiores ondas tendem a ocorrer no verão (2,03 m em média). Já para o segundo critério, a maior probabilidade de ocorrer eventos extremos é na primavera e no verão, com as maiores ondas ocorrendo no verão (2,3 m em média).

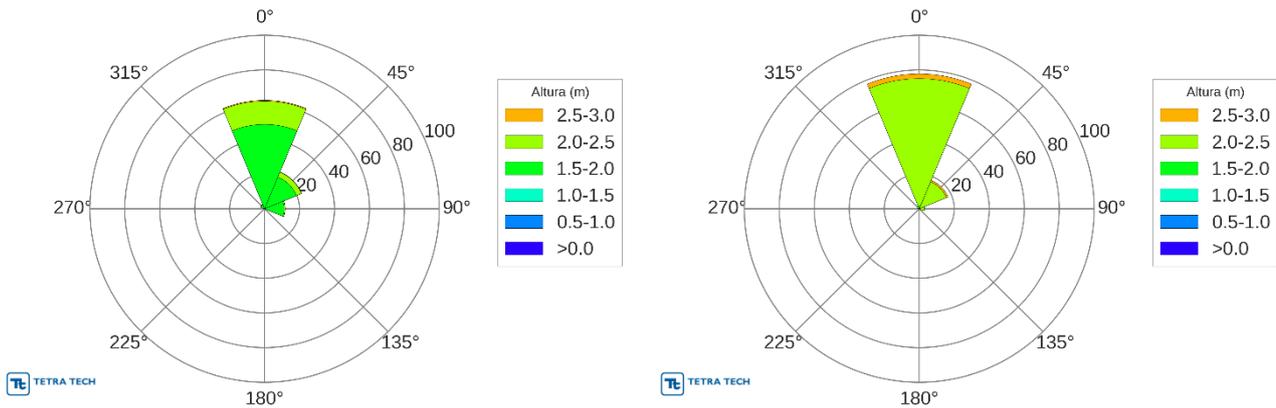


Figura 228 - Histograma direcional dos eventos extremos de corrente superficial selecionados pelo primeiro critério (esquerda) e segundo (direita) critérios, obtidos a partir dos resultados do modelo WW3 no bloco exploratório BAR-M-346. Período 2008 a 2012. Fonte: Tetra Tech.

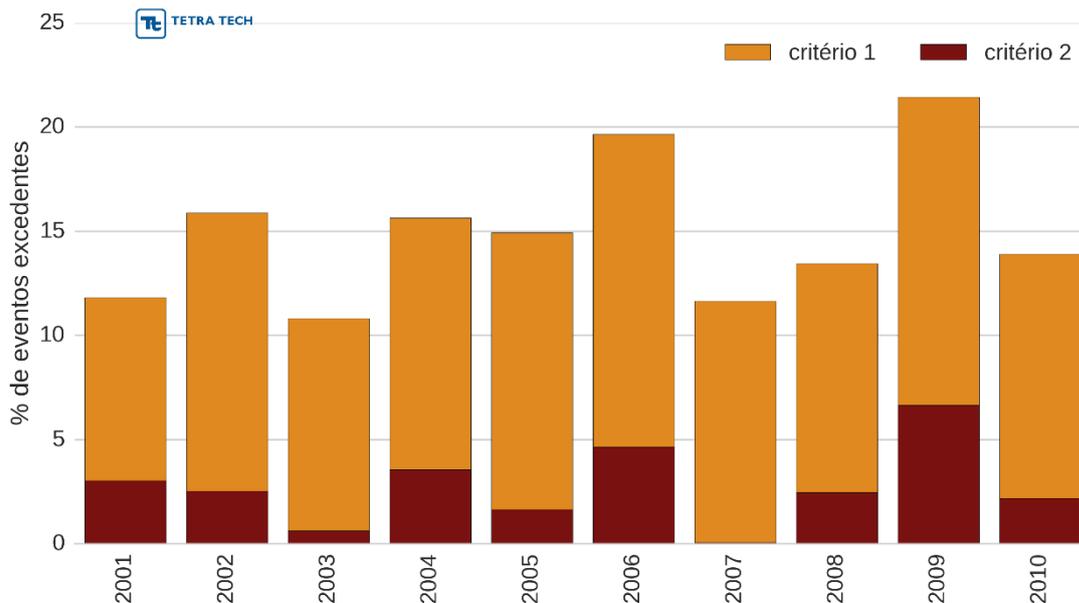


Figura 229 - Variação anual de ocorrência de eventos extremos de onda excedendo o primeiro e o segundo critérios sobre o bloco BAR-M-346.

Tabela 82 - Probabilidade de ocorrência, intensidade média (m) e direção média sazonal das ondas dentro do 1° e 2° critérios, obtidos a partir dos resultados do modelo WW3 no bloco exploratório BAR-M-346

Estação	1° Critério			2° Critério		
	Prob. (%)	Média (m)	Direção	Prob. (%)	Média (m)	Direção
Verão	3,62	2,03	N	0,77	2,30	N
Outono	3,30	1,56	N	0,34	1,87	N
Inverno	4,05	1,54	E	0,63	1,73	E
Primavera	3,74	1,93	N	0,77	2,19	N



3.6.3. *Elevação da Superfície do Mar*

A análise de extremos de elevação da superfície do mar foi realizada no ponto 1,98°S 41,74°W, com base nos dados da reanálise CFSR. Cabe salientar que estes valores referem-se somente às variações do nível do mar sem a contribuição da maré astronômica. A série utilizada contempla o período de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2010.

A Figura 230 apresenta a frequência de ocorrência (%) de eventos excedendo ambos critérios para todos os anos da série. Os resultados mostram uma maior ocorrência de extremos entre 1987 e 1988. Este comportamento, possivelmente está associado à oscilação decadal do Atlântico Norte (HURRELL, 1995). O ano de 1987 apresenta o maior número de eventos que excedem o primeiro e o segundo critérios, fato associado ao forte El Niño ocorrido nesse ano. A distribuição sazonal dos extremos de elevação da superfície do mar é apresentada na

Tabela 83, onde se observam as maiores probabilidades no verão para o primeiro critério e na primavera para o segundo critério.

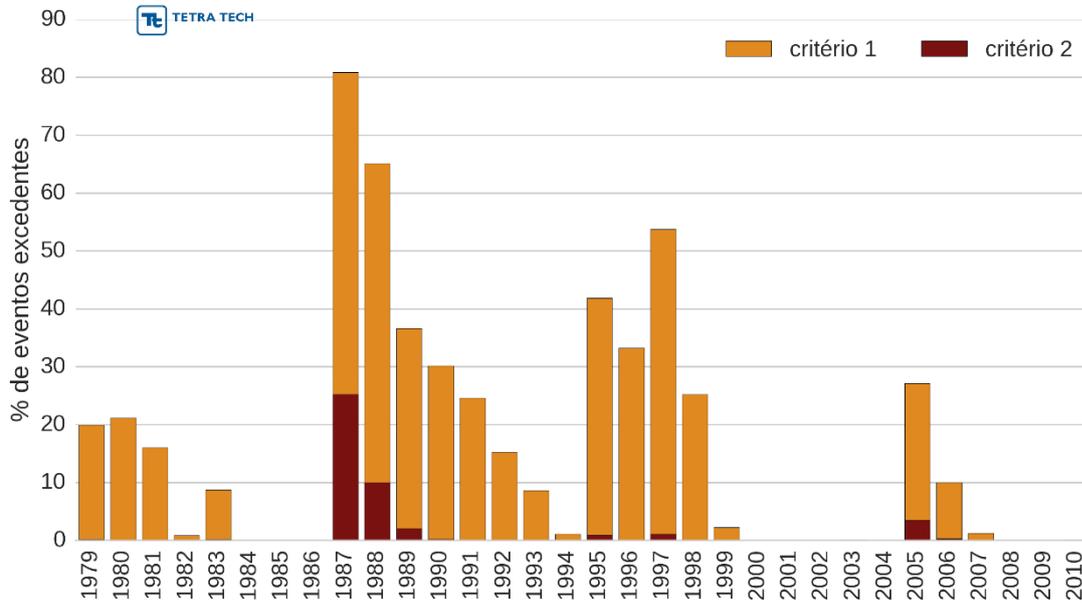


Figura 230 - Variação anual de ocorrência de eventos extremos do nível do mar excedendo o primeiro e o segundo critérios sobre o bloco BAR-M-346.

Tabela 83 - Probabilidade de ocorrência e intensidade média (m) do nível do mar dentro do 1° e 2° critérios, obtidos a partir da reanálise do CFSR para o bloco exploratório BAR-M-346

Estação	1° Critério			2° Critério		
	Prob. (%)	Média (m)	Direção	Prob. (%)	Média (m)	Direção
Verão	4,60	0,26	-	0,24	0,30	-
Outono	3,92	0,27	-	0,24	0,30	-
Inverno	4,24	0,28	-	0,42	0,31	-
Primavera	4,28	0,28	-	0,43	0,31	-

4. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, A. C. P., 1999.** Um estudo de brisa marinha e estabilidade atmosférica na região de Cabo Frio-RJ. Monografia, IGEO/UFRJ.
- ASEFF, C.R.C., 2006.** Comparação de estruturas oceanográficas da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul, Brasil, em duas situações de outono. Monografia de Graduação. FURG, Rio Grande, RS, Brasil. 47p.
- AIDAR, E.; GAETA, S.A.; GIANESEL L.A.; GALVÃO, S.M.F.; KUTNER, M.B.B. & TEIXEIRA, C., 1993.** Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba SP. *Publicação Esp. Inst. Oceanogr.*, São Paulo, v.10, p. 9 – 13.
- BARRY, R.G. & CHORLEY, R.J., 2004.** Atmosphere, weather and climate. Routledge, New York, 8th ed.
- CANDELLA, R.N., 1997.** Estudo de Casos de Ondas no Atlântico Sul Através de Modelagem Numérica. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. XIII, 80 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Oceânica).
- CASTRO FILHO, B.M.; MIRANDA, L.B. & MIYAO, S.Y., 1987.** Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 35(2):135-151.
- CIRANO, M.; MATA, M.M.; CAMPOS, E.J.D. & DEIRÓ F.R.N., 2006.** A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no modelo de circulação global OCCAM, *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(2): 209-230.
- DALEY, R., 1991.** Atmospheric Data Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 457pp.

DEACON, E. R., 1937. The hydrology of the southern ocean. Discovery Reports, v. 15, p. 1–124, plates I-XLIV, 1937. Cambridge Univ. Press, London.

DENGLER, M., F. A. SCHOTT, C. EDEN, P. BRANDT, J. FISCHER & J. ZANTOPP, 2004. Break-up of the Atlantic Deep Western Boundary Current into Eddies at 8°S. Nature, Vol. 432, 23/30, p. 1018 -1020.

EMÍLSSON, I. 1961. The shelf and coastal waters off southern Brazil. Em *Bolm Inst. oceanogr.*, S Paulo, 11(2):101-112.

FEMAR, 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Fundação de Estudos do Mar. Rio de Janeiro. 281pp.

FERREIRA, A. G. & MELLO, N. G. S., 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. Revista Brasileira de Climatologia, vol. 1, p. 15-28.

GARSTANG, M., H. L. MASSIE, Jr, J. HALVERSON, S. GRECO e J. SCALA, 1994: Amazon coastal squall lines. Part I: Structure and kinematics. Mon. Wea. Rev., 122, 608-622.

GODIN, G., 1991. Compact approximation to the bottom friction term for the study of tides propagating in channels. *Continental Shelf Research*. 11(7), p. 579-589.

GODOI, S. S. de, 2005. Dinâmica Quase-Geostrófica do Sistema Corrente do Brasil no Embaiamento de São Paulo. Tese de doutorado apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

GOLDEN, J. H., 1974. The Life Cycle of Florida Keys' Waterspout. Journal of Applied Meteorology, vol. 13, p. 676-692

HOLTHUIJSEN, LEO H., 2007. Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge: Cambridge University Press.

HURRELL, J. W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269(5224), p. 676-679.

IPCC, 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

LUMPKIN, R. AND Z. GARRAFFO, 2005. Evaluating the Decomposition of Tropical Atlantic Drifter Observations. *J. Atmos. Oceanic Techn.* 22, 1403-1415.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; & PEREIRA, E. B., 2008. O aproveitamento da energia eólica. *Rev. Bras. Ensino de Física*, 30 (1).

MATA, M. M. & GARCIA, C. A. E. 1996. Variabilidade da topografia oceânica superficial no Atlântico Sul Ocidental observada pela altimetria TOPEX/POSEIDON. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoramento Remoto T, 67.

MESQUITA, A. R. 2009. Considerações Sobre as Variações do Nível do Mar do Litoral do Brasil no Século XX – Afro-America Gloss News – Ed.13(1) 2009.

MIRANDA, L.B. de, 1982. Análise de massas d'água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP). Tese de livre-docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, S Paulo. 123p.

PEDLOSKY, J., 1982. Geophysical fluid dynamics. New York and Berlin, Springer-Verlag, 1982. 636 p.

PEREIRA, J.E.R., 2000. Identificação de Sistemas Ressonantes: Aplicação na Plataforma Amazônica. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico da USP, 260pp.

PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F., & SIEGLE, E., 2010. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(1), 53-70.

RAMOS, A. R.; SANTOS, L. A. R. & FORTES, L. T. G., 2009. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990, Brasília – DF, INMET. 485p ISBN: 978-85-62817-01-4

REID, J.L., 1989. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: flow patterns, tracers and transports. *Prog. in Oceanogr.*, 23, 149-244.

SCHOTT, F. A., DENGLER, M., BRANDT, P., AFFLER, K., FISCHER, J., BOURLES, B. & RHEIN, M., 2003. The zonal currents and transports at 35 W in the tropical Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 30(7).

SHORT, A. D., 2006. Australian beach systems-nature and distribution. *Journal of Coastal Research*, 22, 11-27.

SILVA, A. C., BOURLÈS, B., & ARAUJO, M., 2009. Circulation of the thermocline salinity maximum waters off the Northern Brazil as inferred from in situ measurements and numerical results. In: *Annales Geophysicae*, vol. 27, pp. 1861-1873.

SILVEIRA, I.C.A. da; MIRANDA L.B. de & BROWN, W.S., 1994. On the origins of the North Brazil Current; *J. Geophys. Res.*, 99, 22501-22512

SILVEIRA, I.C.A.; SCHMIDT, A.C.K., CAMPOS, E.J.D., DE GODOI, S.S. & IKEDA, Y. 2000. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 48(2), 171-183.

SILVESTER, R., 1968. Sediment transport long-term net movement. In: *The Encyclopedia of Geomorfology* (Ed.). R. W. Fairbridge. Reinhold Book Corp., p. 958-989.

- STRAMMA, L. & M. ENGLAND, 1999.** On the water masses and circulation of the South Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, Vol. 104, Nº. C9: 20.863-20.883.
- STRAMMA, L.; IKEDA, Y. & PETERSEN, R.G., 1990.** Geostrophic transport in the Brazil Current region, *Deep-Sea. Res.*, 37(12): p. 1875-1886.
- SVERDRUP, H.U.; JOHNSON, M.W. & FLEMING, R.H., 1942.** The Oceans: their physics, chemistry and general biology. Prentice-Hall, INC (New York).
- TALLEY, L.D., 1996.** Physical oceanography. Encyclopedia of Earth Sciences, MacMillan Publishing, New York, NY. pp 745-749.
- TESSLER, M. G., & GOYA, S., 2005.** Processos costeiros condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, 17, 11-23.
- TOLMAN, H. L., 1999.** User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB *Technical Note* Nr. 166, 110 pp.
- UNESCO, 1983.** Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, 1983. Unesco Tech. Pap. in Mar. Sci., Nº. 44, 53 pp.
- VIANELLO, R.L. & ALVES, A.R., 1991.** Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: Imp. Universitária, 449 pp.
- WRIGHT, C. W., 2000.** Open ocean and landfalling hurricane directional wave spectra from a scanning radar altimeter. Proc. Sixth Int. Conf. on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Charleston, SC, Veridian-ERIM and NOAA/NESDIS, Vol. 1, 9–15.
- WILKS, D. S. 1995.** Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. San Diego/ CA. Academic Press, 467pp.