



Relatório Técnico [rev.00]

Meio Físico| Meteorologia e Oceanografia.

Bacia Pará-Maranhão | PAMA-M-265 e PAMA-M-337

/PRO_QGEP_1405

Preparado para: Queiroz Galvão Exploração e Produção

Preparado por: André Luis Santi Coimbra de Oliveira

Felipe Lobo Mendes Soares

Marcelo Montenegro Cabral

14 de julho de 2015

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 – Centro

CEP 20.0040-009 – Rio de Janeiro – RJ

Tel./Fax + 55 21 2532.5666

www.prooceano.com.br

Controle de revisão

Revisão nº 00

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 01

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 02

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Sumário

II.5.1.1	Meteorologia	18
II.5.1.1.1	- Caracterização dos Fenômenos de Macroescala	22
II.5.1.1.2	- Caracterização dos fenômenos de mesoescala.....	29
II.5.1.1.3	Caracterização dos fenômenos de microescala.....	57
II.5.1.1.4	Identificação de sazonalidade.....	57
II.5.1.1.5	Identificação de fenômenos meteorológicos extremos.....	58
II.5.1.1.6	Considerações finais.....	60
II.5.1.2	Oceanografia	61
II.5.1.2.1	. Caracterização dos Fenômenos de Macroescala	61
II.5.1.2.2	. Caracterização dos fenômenos de mesoescala	66
II.5.1.2.3	. Identificação da Sazonalidade	186
II.5.1.2.4	. Identificação de fenômenos oceanográficos extremos.....	188
II.5.1.2.5	. Considerações finais.....	190

Índice das imagens

Figura II.5.1.1-1: Área de interesse, blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 e localização das fontes de dados. Os pontos vermelhos representam a localização das estações meteorológicas do INMET de São Luis-MA e Turiaçu-MA. Os pontos azuis são os pontos de grade do NCEP e o ponto verde é o ponto do NCEP utilizado para as análises de séries.	20
Figura II.5.1.1.1-1 - Campos médios sazonais do vento no nível de 200 hPa (m/s) referentes ao verão e inverno, relativos ao Hemisfério Sul.	23
Figura II.5.1.1.1-2 - Campos médios sazonais do vento no nível de 850 hPa (m/s) referentes ao verão e inverno relativos ao Hemisfério Sul.	25
Figura II.5.1.1.1-3 - Posicionamento da ZCIT no verão (a) e no inverno do Hemisfério Sul (b). Fonte: http://www.ux1.eiu.edu/~cfjps/1400/circulation.html . 11/02/2009.	28
Figura II.5.1.1.2.A-1: Temperatura do ar média, mínima e máxima absoluta na estação de São Luís-MA. Fonte: INMET.	30
Figura II.5.1.1.2.A-2: Temperatura do ar na Bacia Pará-Maranhão nas quatro estações do ano. Fonte: NCEP.	31
Figura II.5.1.1.2.A-3: Normal Climatológica de temperatura do ar, elaborada com todo o conjunto de dados do NCEP, do ponto de grade mais próximo aos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337.	32
Figura II.5.1.1.2.A-4: Série temporal de temperatura do ar na estação de Turiaçu - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro de energia no domínio da frequência (abaixo).	33
Figura II.5.1.1.2.B-1: Precipitação acumulada mensal (mm) na estação de São Luís-MA. Fonte: INMET.	34
Figura II.5.1.1.2.B-2: Precipitação acumulada mensal na Bacia Pará Maranhão nas quatro estações do ano.	36
Figura II.5.1.1.2.B-3: Normal Climatológica de precipitação acumulada mensal, elaborada com todo o conjunto de dados do NCEP, do ponto de grade mais próximo aos blocos PAMA-M-265 E PAMA-M-337.	37
Figura II.5.1.1.2.B-4: Série temporal de precipitação na estação de Turiaçu - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo).	38
Figura II.5.1.1.2.C-1: Evaporação na estação de Fortaleza (CE). Fonte: INMET.	39
Figura II.5.1.1.2.D-1: Umidade relativa na estação de São Luís-MA. Fonte: INMET.	40
Figura II.5.1.1.2.D-2: Umidade relativa na Bacia Pará Maranhão nas quatro estações do ano.	41

Figura II.5.1.1.2.D-3: Normal Climatológica de umidade do ar elaborada com todo o conjunto de dados do NCEP, do ponto de grade mais próximo ao bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337.....	42
Figura II.5.1.1.2.D-4: Série temporal de umidade relativa na estação de São Luís - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo).....	43
Figura II.5.1.1.2.E-1: Pressão atmosférica na estação de São Luís - MA. Fonte: INMET.....	44
Figura II.5.1.1.2.E-2: Pressão atmosférica na Bacia Pará-Maranhão durante as quatro estações do ano. Fonte: NCEP.....	45
Figura II.5.1.1.2.E-3: Normal Climatológica de pressão atmosférica elaborada com todo o conjunto de dados do NCEP, do ponto de grade mais próximo ao bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337.	46
Figura II.5.1.1.2.E-4: Série temporal de pressão atmosférica na estação de São Luís - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo).....	47
Tabela II.5.1.1.2.E-5: Estatística básica dos dados de pressão atmosférica obtidos da estação meteorológica automática de Turiaçu-MA. Fonte: INMET.	47
Figura II.5.1.1.2.F-1: Insolação na estação de São Luís - MA. Fonte: INMET.	48
Figura II.5.1.1.2.G-1: Campos de vento climatológicos para as quatro estações do ano. Fonte: NCEP.	50
Figura II.5.1.1.2.G-2: Stickplots de vento no ponto de grade do NCEP mais próximo do bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita).	52
Figura II.5.1.1.2.G-3: Média (linha preta), Mínima (linha azul escura), Máxima (linha vermelha), primeiro quartil (linha azul clara) e terceiro quartil (linha amarela) para toda a série de dados de vento. Fonte: NCEP.....	53
Figura II.5.1.1.2.G-4: Rosa dos ventos para o ponto de grade mais próximo dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, para os meses de Janeiro a Junho. Fonte: NCEP (dados de 1979 a 2013).	54
Figura II.5.1.1.2.G-5: Rosa dos ventos para o ponto de grade mais próximo dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, para os meses de Julho a Dezembro. Fonte NCEP (dados de 1979 a 2013).....	55
Figura II.5.1.1.2.G-6: Série temporal de intensidade do vento na estação de Turiaçu - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo).....	56
Figura II.5.1.2.1-1: Distribuição esquemática das principais correntes encontradas na camada superficial (entre 0 e 100 m) do Atlântico Tropical: (a) situação típica de outono/HS (março, abril e maio) e (b) situação típica de primavera/HS (setembro, outubro e novembro). Os pontos azuis representam a batimétrica de 200 m. Fonte: Menezes (1999).	63

Figura II.5.1.2.1-2: Distribuição das amplitudes (cm) e fases (graus) da componente M2 da maré no Oceano Atlântico. Fonte: Schwerdski (1979).	65
Figura II.5.1.2.2.A-1: Localização do ponto de grade do WOA13 (ponto vermelho) de onde foram retirados os dados de temperatura, salinidade e densidade.....	68
Figura II.5.1.2.2.A-2: Perfis de temperatura (esquerda) e salinidade (direita) para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.....	69
Figura II.5.1.2.2.A-3: Detalhamento para os primeiros 100 metros de coluna d'água dos perfis de temperatura (esquerda) e salinidade (direita) para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.	70
Figura II.5.1.2.2.A-4: Perfis de densidade (esquerda) para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. A figura da direita apresenta o detalhamento para os 100 primeiros metros da coluna d'água. Fonte: WOA13.	71
Figura II.5.1.2.2.A-5: Localização das estações de coleta de CTD.	72
Figura II.5.1.2.2.A-6: Perfis de temperatura para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das oito estações realizadas na região.	73
Figura II.5.1.2.2.A-7: Perfis de temperatura para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das 8 estações realizadas na região com um zoom nos primeiros 150 metros da coluna d'água.	74
Figura II.5.1.2.2.A-8: Perfis de salinidade para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das oito estações realizadas na região.....	75
Figura II.5.1.2.2.A-9: Perfis de salinidade para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das 8 estações realizadas na região com um zoom nos primeiros 150 metros da coluna d'água.	76
Figura II.5.1.2.2.A-10: Perfis de densidade para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das oito estações realizadas na região.	77
Figura II.5.1.2.2.A-11: Perfis de densidade para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das 8 estações realizadas na região com um zoom nos primeiros 150 metros da coluna d'água.	78
Figura II.5.1.2.2.A-12: Seção horizontal de temperatura em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	80
Figura II.5.1.2.2.A-13: Seção horizontal de temperatura em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	81

Figura II.5.1.2.2.A-14: Seção horizontal de temperatura em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	82
Figura II.5.1.2.2.A-15: Seção horizontal de temperatura em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	83
Figura II.5.1.2.2.A-16: Seção horizontal de temperatura em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	84
Figura II.5.1.2.2.A-17: Seção horizontal de salinidade em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	85
Figura II.5.1.2.2.A-18: Seção horizontal de salinidade em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	86
Figura II.5.1.2.2.A-19: Seção horizontal de salinidade em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	87
Figura II.5.1.2.2.A-20: Seção horizontal de salinidade em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	88
Figura II.5.1.2.2.A-21: Seção horizontal de salinidade em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	89
Figura II.5.1.2.2.A-22: Seção horizontal de densidade em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	90
Figura II.5.1.2.2.A-23: Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	91
Figura II.5.1.2.2.A-24: Seção horizontal de densidade em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	92
Figura II.5.1.2.2.A-25: Seção horizontal de densidade em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	93
Figura II.5.1.2.2.A-26: Seção horizontal de densidade em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.	94
Figura II.5.1.2.2.A-27: Seção horizontal de temperatura em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.....	95

Figura II.5.1.2.2.A-28: Seção horizontal de temperatura em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	96
Figura II.5.1.2.2.A-29: Seção horizontal de temperatura em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	97
Figura II.5.1.2.2.A-30: Seção horizontal de temperatura em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	98
Figura II.5.1.2.2.A-31: Seção horizontal de temperatura em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	99
Figura II.5.1.2.2.A-32: Seção horizontal de salinidade em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.....	100
Figura II.5.1.2.2.A-33: Seção horizontal de salinidade em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	101
Figura II.5.1.2.2.A-34: Seção horizontal de salinidade em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	102
Figura II.5.1.2.2.A-35: Seção horizontal de salinidade em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	103
Figura II.5.1.2.2.A-36: Seção horizontal de salinidade em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	104
Figura II.5.1.2.2.A-37: Seção horizontal de densidade em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.....	105
Figura II.5.1.2.2.A-38: Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	106
Figura II.5.1.2.2.A-39: Seção horizontal de densidade em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	107
Figura II.5.1.2.2.A-40: Seção horizontal de densidade em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	108
Figura II.5.1.2.2.A-41: Seção horizontal de densidade em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.	109

Figura II.5.1.2.2.A-42: Seção vertical de temperatura para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.....	110
Figura II.5.1.2.2.A-43: Seção vertical de salinidade para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.....	111
Figura II.5.1.2.2.A-44: Seção vertical de densidade para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.....	112
Figura II.5.1.2.2.A-45: TSM na região da Bacia Pará-Maranhão para as quatro estações do ano. Média para o ano de 2013.....	113
Figura II.5.1.2.2.B-1: Mapa dos valores mínimos de salinidade provocados pela Água Intermediária. (a) profundidade da mínima; (b) salinidade na profundidade mínima. Fonte: Tomczak & Godfrey, 1994.....	115
Figura II.5.1.2.2.B-2: Seção vertical de salinidade através da bacia oeste do Oceano Atlântico. AIA – Água Intermediária Antártica (AAIW), APAN - Água Profunda do Atlântico Norte (NADW), Mar do Labrador (LS), Mar da Groenlândia (GS), AME - Água Mediterrânea Eurafriana (EMW). Fonte: Tomczak & Godfrey, 1994.....	116
Figura II.5.1.2.2.B-3: Diagrama TS elaborado com os dados de temperatura e salinidade das 8 estações de coleta. Valores plotados sobre um gabarito de massas d'água retirado de Silva, et. al. (1982).	117
Figura II.5.1.2.2.B-4: Seção vertical de densidade climatológica nas quatro estações do ano. As linhas isopicnais representam os limites entre as massas d'água. Fonte: WOA13.....	119
Figura II.5.1.2.2.C-1: Campo médio das correntes superficiais para as quatro estações do ano na região da Bacia Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.....	120
Figura II.5.1.2.2.C-2: Campo médio das correntes em 100 m de profundidade para as quatro estações do ano na região da Bacia Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.....	121
Figura II.5.1.2.2.C-3: Campo médio das correntes em 500 m de profundidade para as quatro estações do ano na região da Bacia Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.....	122
Figura II.5.1.2.2.C-4: Campo médio das correntes em 1000 m de profundidade para as quatro estações do ano na região da Bacia Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.....	123
Figura II.5.1.2.2.C-5: Campo médio das correntes em 2000 m de profundidade para as quatro estações do ano na região da Bacia Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.....	124
Figura II.5.1.2.2.C-6: Velocidade das correntes (m/s) obtidas dos derivadores, para as quatro estações do ano. Fonte dos dados: GDP.....	125

Figura II.5.1.2.2.C-7: Localização dos pontos de grade ROMS utilizados para análise de correntes no talude, plataforma continental e bacia oceânica.....	132
Figura II.5.1.2.2.C-8: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise na bacia oceânica para os meses de janeiro a junho. Fonte dos dados: ROMS.....	133
Figura II.5.1.2.2.C-9: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise na bacia oceânica para os meses de julho a dezembro. Fonte dos dados: ROMS.....	134
Figura II.5.1.2.2.C-10: Série temporal de intensidade de corrente superficial na região da bacia oceânica (acima) e médias mensais (abaixo). Fonte dos dados: ROMS.	135
Figura II.5.1.2.2.C-11: Stickplots de corrente superficial na região da bacia oceânica, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita). Fonte dos dados: ROMS.	136
Figura II.5.1.2.2.C-12: Média, mínima, máxima, primeiro quartil e terceiro quartil para toda a série de dados de corrente na região da bacia oceânica. Fonte dos dados: ROMS.	137
Figura II.5.1.2.2.C-13: Perfil médio de correntes para o período de verão (janeiro a março) na região da bacia oceânica. Fonte dos dados: ROMS.....	139
Figura II.5.1.2.2.C-14: Perfil médio de correntes para o período de outono (abril a junho) na região da bacia oceânica. Fonte dos dados: ROMS.....	140
Figura II.5.1.2.2.C-15: Perfil médio de correntes para o período de inverno (julho a setembro) na região da bacia oceânica. Fonte dos dados: ROMS.....	141
Figura II.5.1.2.2.C-16: Perfil médio de correntes para o período de primavera (outubro a dezembro) na região da bacia oceânica. Fonte dos dados: ROMS.	142
Figura II.5.1.2.2.C-17: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise no talude para os meses de janeiro a junho. Fonte dos dados: ROMS.....	143
Figura II.5.1.2.2.C-18: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise no talude para os meses de julho a dezembro. Fonte dos dados: ROMS.	144
Figura II.5.1.2.2.C-19: Série temporal de intensidade de corrente superficial na região do talude (acima) e médias mensais (abaixo). Fonte dos dados: ROMS.	145
Figura II.5.1.2.2.C-20: Stickplots de corrente superficial na região do talude, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita). Fonte dos dados: ROMS.....	146

Figura II.5.1.2.2.C-21: Média, mínima, máxima, primeiro quartil e terceiro quartil para toda a série de dados de corrente na região do talude. Fonte dos dados: ROMS.	147
Figura II.5.1.2.2.C-22: Perfil médio de correntes para o período de verão (janeiro a março, à esquerda) e outono (abril a junho, à direita) na região do talude. Fonte dos dados: ROMS.	149
Figura II.5.1.2.2.C-23: Perfil médio de correntes para o período de inverno (julho a setembro, à esquerda) e primavera (outubro a dezembro, à direita) na região do talude. Fonte dos dados: ROMS.	150
Figura II.5.1.2.2.C-24: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise na plataforma continental para os meses de janeiro a junho. Fonte dos dados: ROMS.	151
Figura II.5.1.2.2.C-25: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise na plataforma continental para os meses de julho a dezembro. Fonte dos dados: ROMS.	152
Figura II.5.1.2.2.C-26: Série temporal de intensidade de corrente superficial na região da plataforma continental (acima) e médias mensais (abaixo). Fonte dos dados: ROMS.	153
Figura II.5.1.2.2.C-27: Stickplots de corrente superficial na região da plataforma continental, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita). Fonte dos dados: ROMS.	154
Figura II.5.1.2.2.C-28: Média, mínima, máxima, primeiro quartil e terceiro quartil para toda a série de dados de corrente na região da plataforma continental. Fonte dos dados: ROMS.	155
Figura II.5.1.2.2.C-29: Perfil médio de correntes para o período de verão (janeiro a março, à esquerda) e outono (abril a junho, à direita) na região da plataforma continental. Fonte dos dados: ROMS.	157
Figura II.5.1.2.2.C-30: Perfil médio de correntes para o período de inverno (julho a setembro, à esquerda) e primavera (outubro a dezembro, à direita) na região da plataforma continental. Fonte dos dados: ROMS.	158
Figura II.5.1.2.2.C-31: Localização do fundeio K359 do WOCE.	126
Figura II.5.1.2.2.C-32: Perfil médio de correntes do fundeio K359. Fonte dos dados: WOCE.	127
Figura II.5.1.2.2.C-33: Trajetória da embarcação com o ADCP e divisão dos dados em províncias. Em vermelho, dados utilizados na caracterização da dinâmica de plataforma e, em azul, dados utilizados na caracterização da dinâmica da região do talude.	159
Figura II.5.1.2.2.C-34: Histogramas direcionais da corrente observada sobre o talude observados no primeiro bin do ADCP (47 m) e na camada de 0 a 400m.	160
Figura II.5.1.2.2.C-35: Histogramas direcionais da corrente observada sobre o talude e bacia oceânica observados no primeiro bin do ADCP.	161

Figura II.5.1.2.2.D-1: Localização do ponto de grade do ERA-Interim utilizado nas análises pontuais (ponto vermelho).....	164
Figura II.5.1.2.2.D-2: Série temporal de direção média para todo o período (acima) e médias mensais (abaixo) para o ponto mais próximo aos blocos de interesse. Fonte dos dados: ECMWF	165
Figura II.5.1.2.2.D-3: Série temporal de altura significativa média para todo o período (acima) e médias mensais (abaixo) para o ponto mais próximo aos blocos de interesse. Fonte dos dados: ECMWF.	166
Figura II.5.1.2.2.D-4: Histogramas direcionais da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise, para os meses de janeiro a junho. Fonte dos dados: ECMWF.....	167
Figura II.5.1.2.2.D-5: Histogramas direcionais da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise para os meses de julho a dezembro. Fonte dos dados: ECMWF.....	168
Figura II.5.1.2.2.D-6: Histogramas direcionais sazonais da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise. Fonte dos dados: ECMWF.	169
Figura II.5.1.2.2.D-7: Gráfico de dispersão de altura significativa e direção para as quatro estações. A média de cada estação é representada pelo ponto preto. Fonte dos dados: ECMWF.....	170
Figura II.5.1.2.2.D.1-1: Carta náutica utilizada na digitalização da batimetria para o modelo de propagação de ondas. Carta Náutica da Baía do Oiapoque ao Rio Parnaíba. Projeção Mercator e referidas ao Datum Córrego Alegre – MG.	173
Figura II.5.1.2.2.D.3-1: Batimetria e domínio do modelo regional de propagação de ondas. Acima, todo o domínio de modelagem, abaixo, zoom na região costeira com escala de cores em menor amplitude (0 a 100m).	176
Figura II.5.1.2.2.D.3-2: Mapas de resultado de altura e direção de ondas originadas de E, com 1,75m e 7 segundos de período.....	177
Figura II.5.1.2.2.D.3-3: Mapas de resultado de altura e direção de ondas originadas de NE, com 1.75 m e 7 segundos de período.	178
Figura II.5.1.2.2.D.3-4: Mapas de resultado de altura e direção de ondas originadas de N, com 1.75 m e 9 segundos de período.....	179
Figura II.5.1.2.2.D.4-1: Detalhe da linha de costa da Bacia Pará-Maranhão. Nota-se que o litoral é composto por baías fluvio-estuarinas com sucessivas mudanças na orientação da linha de costa.	181
Figura II.5.1.2.2.E-1: Localização da estação maregráfica da FEMAR da Ilha dos Irmãos – MA (ponto vermelho)..	183

Figura II.5.1.2.2.E-2: Elevação da superfície do mar (m) para todo o ano de 2013 na região da Ilha dos Irmãos - MA.	184
Figura II.5.1.2.2.E-3: Semi-amplitude da componente M2 para região de interesse.....	185
Figura II.5.1.2.2.E-4: Fase da componente M2 para região de interesse.....	186

Índice das tabelas

Tabela II.5.1.1-1: Resumo dos parâmetros analisados, fontes e abrangência temporal e frequência dos dados utilizados.....	21
Tabela II.5.1.1-2: Localização das fontes dos dados utilizados.....	21
Tabela II.5.1.1.2.A-1: Estatística básica dos dados de temperatura do ar. Fonte: NCEP.....	32
Tabela II.5.1.1.2.A-2: Estatística básica dos dados de temperatura do ar obtidos na estação meteorológica automática de Turiaçu-MA. Fonte: INMET.....	33
Tabela II.5.1.1.2.B-1: Estatística básica dos dados de precipitação acumulada mensal. Fonte: NCEP.....	37
Tabela II.5.1.1.2.B-2: Estatística básica dos dados de precipitação obtidos na estação meteorológica automática de Turiaçu. Fonte: INMET.....	38
Tabela II.5.1.1.2.D-1: Estatística básica dos dados de umidade relativa. Fonte: NCEP.....	42
Tabela II.5.1.1.2.D-2: Estatística básica dos dados de umidade relativa obtidos da estação meteorológica automática de Turiaçu-MA. Fonte: INMET.....	43
Tabela II.5.1.1.2.E-1: Estatística básica dos dados de pressão atmosférica. Fonte: NCEP.....	46
Tabela II.5.1.1.2.G-1: Ocorrência conjunta de intensidade e direção dos ventos na área dos blocos PAMA-M-265 E PAMA-M-337. Fonte: NCEP.....	51
Tabela II.5.1.1.2.G-2: Estatística Básica do vento no ponto de grade mais próximo aos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: NCEP.....	51
Tabela II.5.1.1.2.G-3: Estatística básica dos dados de vento obtidos da estação meteorológica automática de Turiaçu-MA. Fonte: INMET.....	57
Tabela II.5.1.1.2.G-1: Tabela síntese de eventos extremos. Limiares superiores e inferiores, frequência de ocorrência acima e abaixo dos limiares e meses críticos para ocorrência.....	59
Tabela II.5.1.2.1-1- Correntes que compõem a circulação superficial do oceano Atlântico.....	64
Tabela II.5.1.2.2-1: Localização das fontes de dados utilizadas.....	67
Tabela II.5.1.2.2.B-1: Massas d'água encontradas nas proximidades do bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337 e suas respectivas profundidades aproximadas.....	117

Tabela II.5.1.2.2.C-1: Ocorrência conjunta de intensidade e direção de correntes superficiais na região da bacia oceânica. Fonte dos dados: ROMS.....	138
Tabela II.5.1.2.2.C-2: Ocorrência conjunta de intensidade e direção de correntes superficiais na região do talude. Fonte dos dados: ROMS.	147
Tabela II.5.1.2.2.C-3: Ocorrência conjunta de intensidade e direção de correntes superficiais na região da plataforma continental. Fonte dos dados: ROMS.....	155
Tabela II.5.1.2.2.C-4: Estatística básica dos dados de velocidade de corrente obtidos no ADCP de casco a bordo da embarcação que realizou a campanha de baseline.	161
Tabela II.5.1.2.2.C-5: Estatística básica dos dados de velocidade de corrente para a província da plataforma continental obtidos no ADCP de casco a bordo da embarcação que realizou a campanha de baseline.....	162
Tabela II.5.1.2.2.D-1: Valores máximos e mínimos de altura significativa, com sua direção e mês de ocorrência associados.....	166
Tabela II.5.1.2.2.D-2: Percentis 5, 50 e 95 da altura significativa ao longo das estações do ano. Fonte dos dados: ECMWF.	171
Tabela II.5.1.2.2.D-3: Ocorrência conjunta de Hs e direção média, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados entre de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014. Fonte dos dados: ECMWF.....	171
Tabela II.5.1.2.2.D-4: Ocorrência conjunta de período e direção média para todo o período do dado. Fonte dos dados: ECMWF.....	171
Tabela II.5.1.2.2.D.2-1: Ocorrência conjunta de Hs e Tp para ondas de nordeste, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados entre de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014. Fonte dos dados: ECMWF.	174
Tabela II.5.1.2.2.D.2-2: Ocorrência conjunta de Hs e Tp para ondas de leste, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados entre de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014. Fonte dos dados: ECMWF.....	174
Tabela II.5.1.2.2.D.2-3: Ocorrência conjunta de Hs e Tp para ondas de norte, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados entre de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014. Fonte dos dados: ECMWF.....	175
Tabela II.5.1.2.2.D.2-4: Ondas mais frequentes para cada direção incidente.....	175
Tabela II.5.1.2.2.E-1: Constantes harmônicas obtidas da estação da FEMAR da Ilha dos Irmãos.	183
Tabela II.5.1.2.3-1: Valores climatológicos obtidos para cada variável analisada na Bacia Pará-Maranhão e estações definidas: período chuvoso – dezembro a maio, e período seco – junho a novembro.....	187

Tabela II.5.1.2.4-1: Tabela síntese de eventos extremos. Limiares superiores e inferiores, frequência de ocorrência acima e abaixo dos limiares e meses críticos para ocorrência..... 189

Equipe técnica

Nome:

Registro no Conselho de Classe: **André Luis Santi Coimbra de Oliveira**

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 967357

Responsável pela(s) Seção(ões): todas

Assinatura: _____

Nome: Felipe Lobo Mendes Soares

Registro no Conselho de Classe:

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 3811578

Responsável pela(s) Seção(ões): todas

Assinatura: _____

Nome: Marcelo Montenegro Cabral

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5621594

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: _____

II.5.1.1 Meteorologia

De forma a permitir um amplo conhecimento da meteorologia na Bacia do Pará Maranhão, área dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 adquiridos na 11ª rodada de licitações da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP), neste item é realizada uma caracterização meteorológica da região. Além da composição do diagnóstico ambiental, objetiva-se contribuir com a identificação e avaliação de processos e fenômenos que possam causar ou magnificar impactos e riscos associados aos outros compartimentos do meio ambiente.

Este relatório foi elaborado a partir da análise de bases de dados regionais e globais, além de pesquisa bibliográfica. As análises e a estrutura do documento foram orientadas de acordo com o Termo de Referência No 36/14, emitido pela CGPEG/DILIC/IBAMA em 26/09/2014.

A área de interesse é a região da Bacia Pará-Maranhão, mais especificamente, o entorno dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. A Bacia Pará-Maranhão localiza-se na margem equatorial brasileira, abrangendo parte da costa do estado do Pará (a leste da Baía de Marajó) e parte da costa do estado do Maranhão (a oeste da Baía de São Marcos). Os blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 encontram-se a aproximadamente 200 Km da costa.

A caracterização meteorológica da região da Bacia Pará-Maranhão, especificamente da localização dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, baseou-se na análise e interpretação dos dados das seguintes fontes:

- Normais climatológicas relativas ao período de 1961 a 1990, de temperatura do ar, precipitação, evaporação, umidade, pressão atmosférica e insolação, obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação de São Luis (MA);
- Dados horários de temperatura do ar, precipitação, pressão atmosférica, umidade relativa e vento na estação do INMET de Turiaçu (MA), de janeiro de 2013 a novembro de 2014.
- Dados de ventos, temperatura do ar, precipitação, pressão atmosférica e umidade relativa das Reanálises II do NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research*), de 1979 a 2013, com informações a cada 6 h.
- Dados bibliográficos existentes para a região.

As Normais Climatológicas do INMET fornecem médias mensais de parâmetros meteorológicos de um determinado local por períodos de 30 anos, caracterizando a distribuição dos dados dentro de uma faixa de incidência habitual. Serão apresentadas as normais climatológicas de temperatura, precipitação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica e insolação, obtidas na estação de São Luís situada nas coordenadas 2,533° S e 44,216° W, para o período de 1961 a 1990, perfazendo um total de 30 anos. Esta estação foi escolhida por ser a mais próxima aos

blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 e ter dados de normais climatológicas. A metodologia utilizada pelo INMET para obtenção das normais climatológicas segue as orientações da WMO (*World Meteorological Organization*) e informações detalhadas sobre os cálculos das normais e tratamento dos dados podem ser consultadas em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>.

Para avaliação da variabilidade dos parâmetros meteorológicos em maior frequência amostral, também foram utilizados os dados de temperatura do ar, precipitação, umidade relativa e pressão atmosférica da estação meteorológica do INMET de Turiaçu-MA (estação mais próxima aos blocos), localizada em 1,666°S e 45,366°W. Estes dados foram coletados em intervalos de uma hora, entre janeiro de 2013 e novembro de 2014. Não estão disponíveis dados de evaporação e insolação para esta estação do INMET, sendo suas caracterizações feitas apenas em função das normais climatológicas descritas anteriormente. Os dados desta estação também foram utilizados na identificação de eventos extremos. Limiares foram definidos para cada variável analisada e valores fora desse limiar foram identificados como extremos. Os limiares foram baseados na distribuição normal das variáveis, ou seja, valores acima e abaixo da média, duas vezes o desvio padrão, são marcados como eventos extremos.

O projeto R-2 (Reanálise¹ II, NCEP - DOE AMIP-II *Reanalysis*), trata-se de uma série global atualizada, de 1979 até o presente, que corrige os erros de processamento da Reanálise I, utilizando um modelo de previsão e um sistema de assimilação de dados mais robustos. Assim, é gerada uma reanálise consistente e recomendada para usuários que eram afetados por alguns erros presentes anteriormente. Dentre estes erros, podemos citar as análises de transientes no Hemisfério Sul; o uso de temperaturas próximas à superfície e cobertura de neve sobre os continentes no Hemisfério Norte durante o inverno; análise da umidade dos solos; análises do balanço de neve; e sensibilidade das análises a mudanças no modelo de assimilação (KALNAY et al., 1996). Os dados da Reanálise II do NCEP utilizados para as análises pontuais e de extremos do vento foram obtidos do ponto de grade mais próximo dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, localizado em 0,952° S e 45,0° W com resultados diários, de janeiro de 1979 a dezembro de 2013, totalizando 34 anos.

A variação espacial dos parâmetros meteorológicos (temperatura do ar, precipitação, umidade relativa, pressão atmosférica e ventos) na região oceânica da bacia Pará-Maranhão foi realizada através de médias sazonais elaboradas com dados diários da Reanálise II do NCEP, para o período compreendido entre janeiro de 1979 e dezembro de 2013. Esses dados também foram utilizados na elaboração de séries de normais climatológicas mensais, de cada parâmetro, para o ponto de grade do NCEP mais próximo dos blocos em questão.

¹ *Reanálise é um termo utilizado para o reprocessamento das observações por um período de tempo extenso utilizando-se a metodologia mais atual de análise (modelagem com assimilação de dados). É necessária para que se evitem inconsistências metodológicas das análises operacionais devido à constante evolução dos métodos existentes.*

Ressalta-se que as duas séries de normais climatológicas apresentadas na caracterização meteorológica (INMET e NCEP) são elaboradas com duas diferentes classes de dados - dados medidos e dados de modelo, portanto, comparações diretas devem ser feitas com ressalvas.

A localização das fontes de dados utilizadas pode ser visualizada na **Figura II.5.1.1-1**.

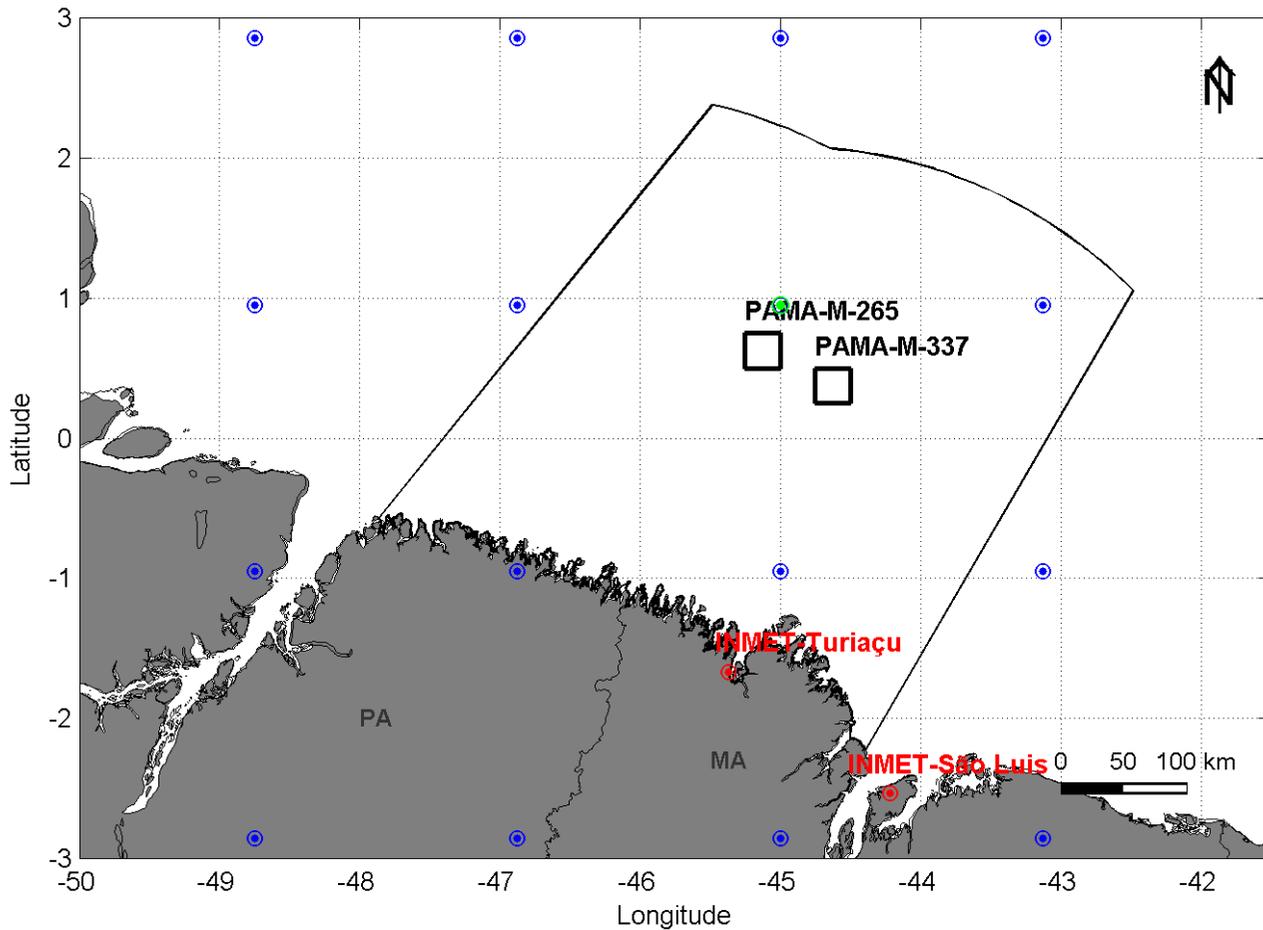


Figura II.5.1.1-1: Área de interesse, blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 e localização das fontes de dados. Os pontos vermelhos representam a localização das estações meteorológicas do INMET de São Luis-MA e Turiaçu-MA. Os pontos azuis são os pontos de grade do NCEP e o ponto verde é o ponto do NCEP utilizado para as análises de séries.

A **Tabela II.5.1.1-1** apresenta um resumo dos dados utilizados para os diferentes parâmetros. Na **Tabela II.5.1.1-2** apresentam-se as fontes dos dados utilizados no estudo e suas respectivas localizações.

Tabela II.5.1.1-1: Resumo dos parâmetros analisados, fontes e abrangência temporal e freqüência dos dados utilizados.

	TA	PA	P	UR	E	I	V
INMET – São Luís	Normais climatológicas (médias mensais) no períodos de 1961 a 1990;						
INMET - Turiçu	Dados horários de Janeiro de 2013 a Novembro de 2014						Dados horários de Janeiro de 2013 a Novembro de 2014
NCEP/NCAR	Dados diários de Jan/79 a Dez/2013;						Dados diários de Jan/79 a Dez/2013;

Legenda: TA = Temperatura do Ar; P = Precipitação; PA = Pressão Atmosférica; UR = Umidade Relativa; V = Ventos; E = Evaporação; I = Insolação;

Tabela II.5.1.1-2: Localização das fontes dos dados utilizados.

Fontes	Coordenadas		Parâmetros
	Latitude	Longitude	
INMET – São Luis	2,533° S	44,216° W	TA, P, E, UR, PA, I, V
INMET – Turiçu	0,952° S	45,0° W	TA, PA, V
NCEP-NCAR (pontual)	0,952° S	45,0° W	TA, P, UR, PA, V
NCEP-NCAR (área)	3° S – 3° N	41,5° W – 50° W	TA, P, UR, PA, V

Legenda: TA = Temperatura do Ar; P = Precipitação; E = Evaporação; UR = Umidade Relativa; UE = Umidade Específica; PA = Pressão Atmosférica; V = Ventos; I = Insolação;

II.5.1.1.1 - Caracterização dos Fenômenos de Macroescala

A região da América do Sul apresenta, em seu território, características climáticas distintas, principalmente quanto ao regime de chuvas e temperaturas, devido à sua extensão territorial, posicionamento geográfico e relevo. Essa variabilidade climática está diretamente relacionada com as condições atmosféricas decorrentes da interação entre fenômenos pertencentes a várias escalas de tempo e espaço, desde a escala planetária até a escala local.

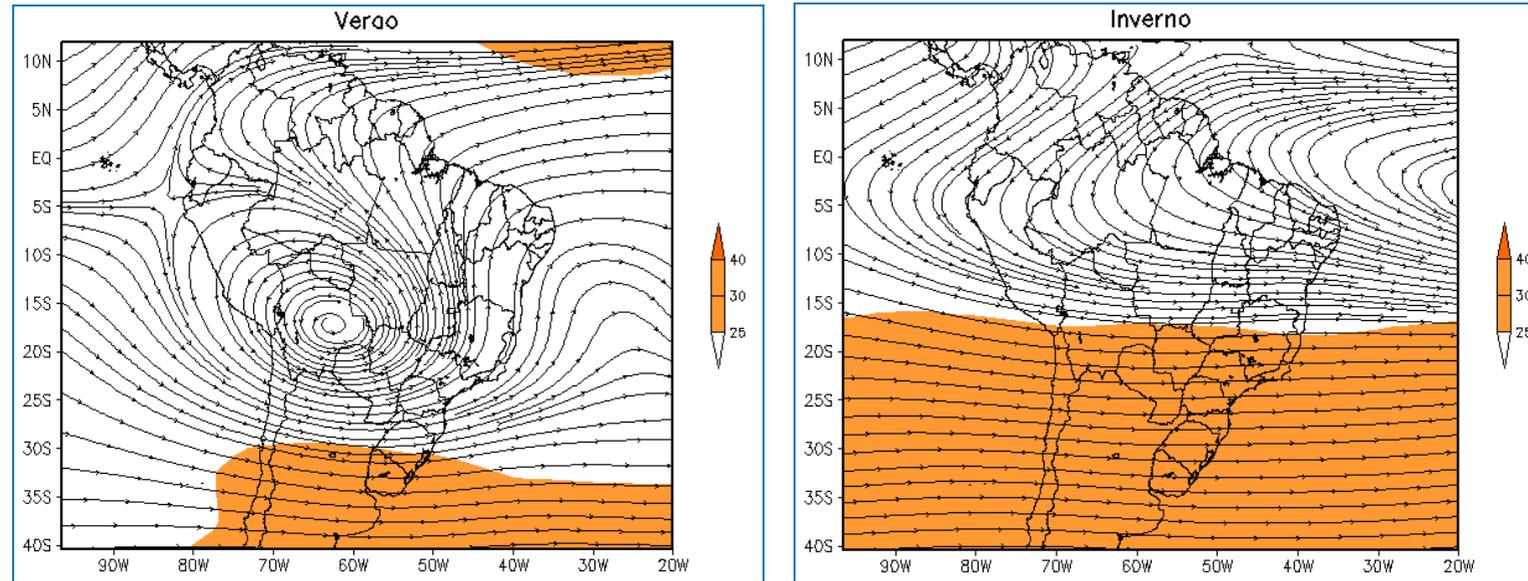
A relação entre o padrão da circulação atmosférica sobre a América do Sul e a distribuição espacial e temporal dos sistemas meteorológicos apresenta características interessantes, tais como a Alta da Bolívia (AB), os Vórtices Ciclônicos (VCAS), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), e a Baixa do Chaco (que no verão do Hemisfério Sul interage com os sistemas frontais). No Oceano Atlântico tropical ocorre, ainda, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), de extrema importância no regime de chuvas das regiões Norte e Nordeste do Brasil (RI PRO06, 2007).

Logo, na região da Bacia Pará-Maranhão, os sistemas atmosféricos de grande escala que se destacam são: i) Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); ii) El Niño-Oscilação Sul (ENOS); iii) Dipolo do Atlântico; iv) Alta da Bolívia (AB) e v) Linhas de Instabilidade (LI).

Particularmente sobre a América do Sul, a circulação atmosférica modifica-se significativamente da estação de verão (dezembro a fevereiro) para a estação de inverno (junho a agosto), principalmente nos altos níveis (200 hPa). Isto pode ser observado na **Figura II.5.1.1.1-1**, que compara os padrões de circulação troposféricos médios nessas duas estações. Na **Figura II.5.1.1.1-2** são apresentados os mesmos campos, para os baixos níveis (850 hPa) (RI PRO06, 2007).

Durante o verão (Hemisfério Sul), o clima da América do Sul é modulado por circulações quase-estacionárias. Na alta troposfera (aproximadamente 10 km de altura), observa-se um cavado sobre o Pacífico Leste e outro sobre o Atlântico, associado à Alta da Bolívia (AB), que eventualmente se fecha, sendo denominado Vórtice Ciclônico do Nordeste do Brasil (**Figura II.5.1.1.1-1-a**). No verão do Hemisfério Sul, a corrente de jato subtropical se desloca para latitudes mais altas, com máxima intensidade em aproximadamente 45° S (RI PRO06, 2007).

No inverno (Hemisfério Sul), na alta troposfera (**Figura II.5.1.1.1-1-b**), o padrão do escoamento é zonal e a corrente de jato de oeste é bastante intensa, com centro de máxima intensidade localizado entre 20° S e 40° S (RI PRO06, 2007).



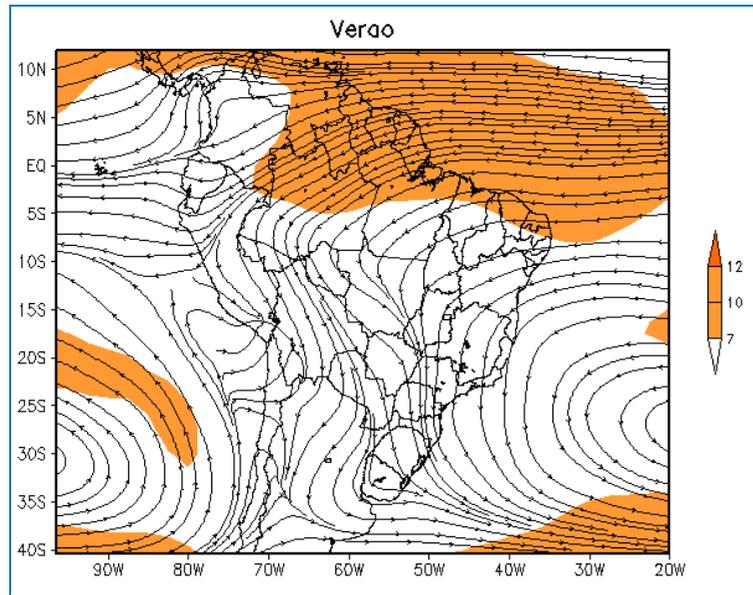
(a)

(b)

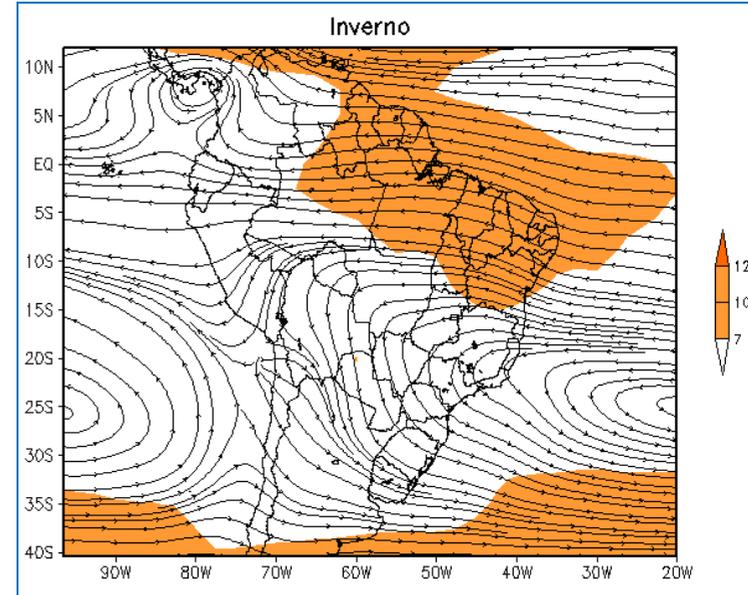
Figura II.5.1.1.1-1 - Campos médios sazonais do vento no nível de 200 hPa (m/s) referentes ao verão e inverno, relativos ao Hemisfério Sul.

Em baixos níveis (850 hPa), o padrão do escoamento sobre a América do Sul, quando comparado ao de altos níveis, apresenta menor variação entre o verão e o inverno do Hemisfério Sul (**Figura II.5.1.1.1-2 - a** e **Figura II.5.1.1.1-2 - b**). É importante destacar a presença do jato de baixos níveis abaixo de 850 hPa, que é responsável pelo transporte de vapor d'água e calor da Amazônia para a região Sul do Brasil, Paraguai e norte da Argentina (RI PRO06, 2007).

No inverno do Hemisfério Sul, observam-se os centros do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), mais fortes que no verão. Observa-se, também, um ligeiro deslocamento do ASPS para o Equador, em relação à sua posição no verão (Hemisfério Sul), e do ASAS para mais próximo do continente sul-americano (RI PRO06, 2007).



(a)



(b)

Figura II.5.1.1.1-2 - Campos médios sazonais do vento no nível de 850 hPa (m/s) referentes ao verão e inverno relativos ao Hemisfério Sul.

Os mecanismos físicos envolvidos no acoplamento oceano-atmosfera sobre a região tropical ainda não estão completamente mapeados. O que se tem como consenso, por parte da comunidade científica, é que os padrões anormais observados no campo das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) surgem da dinâmica interna do próprio oceano (TRENBERTH, 1997). Além disso, são forçados pelos processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem na atmosfera, os quais agem mecanicamente sobre os oceanos tropicais redistribuindo as anomalias de TSM. Estas, por sua vez, através dos fluxos de calor (evaporação, processos convectivos, formação de nuvens, etc.) forçam, simultaneamente, a atmosfera e provocam mudanças no campo de vento em baixos níveis. Tais mecanismos de realimentação, sob certas condições, produzem instabilidades no sistema acoplado (RI PRO06, 2007).

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um exemplo da manifestação dessa instabilidade, podendo ser definido como um fenômeno de escala global, associado a um forte acoplamento oceano-atmosfera, que se manifesta sobre o Oceano Pacífico Tropical. Tal fenômeno consiste de uma componente oceânica - o El Niño ou La Niña - e uma componente atmosférica - a Oscilação Sul - representada pela diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália) (RI PRO06, 2007).

O **El Niño** é um fenômeno global periódico do sistema acoplado oceano-atmosfera. Sua intensidade é variável e exerce grande influência sobre a região equatorial. O fenômeno ocorre devido ao aquecimento (anômalo) das águas superficiais no Pacífico Tropical e consequentes mudanças na dinâmica atmosférica. (ARAGÃO, 1997). Durante a ocorrência deste fenômeno, as interações oceano-atmosfera de grande escala que se processam no Oceano Pacífico Tropical provocam modificações na circulação geral da atmosfera, isto é, na Célula de Walker, gerando mudanças nos padrões de circulação e precipitação, que podem desencadear adversidades climáticas (secas, enchentes, temperaturas altas, entre outras) em diversas regiões continentais ao redor do globo (RI PRO06, 2007).

As alterações sofridas no clima das regiões Norte e Nordeste do Brasil são, principalmente, devidas à modificação da célula de Walker, já que essas regiões ficam sob a ação do ramo descendente dessa célula (CAVALCANTI, 1996). O ENOS causa movimentos descendentes anômalos, que inibem a formação de nuvens e reduzem a precipitação nessa região. Além disso, nos anos de atuação de El Niño, a ZCIT situa-se, anormalmente, mais ao norte da sua posição normal sobre o Atlântico Tropical. Consequentemente, os ventos alísios de NE enfraquecem (FISCH, 1996).

De 1990 a 1994, a influência do ENOS provocou um extenso período de seca no Nordeste brasileiro. Em 1992, anomalias de precipitação na estação chuvosa na região norte do Nordeste brasileiro foram detectadas e associadas à fraca intensidade da ZCIT (FISCH, *op. cit.*). Nos anos de 1925-26, 1976-77 ou 1982-83, o El Niño foi intenso e a precipitação do verão (Hemisfério Sul) foi mais baixa que nos anos normais sobre o norte da Amazônia, resultando em baixos níveis de água dos rios Negro e Amazonas (FISCH, *op. cit.*).

O fenômeno de macroescala mais importante e atuante na região norte é a **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)**. A ZCIT é uma feição meteorológica que circunda a Terra na região próxima ao Equador, onde ocorre a convergência de ventos alísios oriundos dos hemisférios norte e sul. A ZCIT caracteriza-se por apresentar uma região de precipitação, que oscila entre as latitudes de 14° N até 5° S ao longo do ano (UVO & NOBRE, 1989;

FERREIRA, 1996). Sua migração acompanha a zona de baixa pressão equatorial, conforme ilustrado na **Figura II.5.1.1.1-3**. Durante os meses de março e abril, a ZCIT atinge sua posição mais ao sul (5° S), provocando chuvas na região Norte do Brasil. Porém, em anos de seca, a ZCIT permanece no Hemisfério Norte, inibindo a formação de chuvas no Norte-Nordeste brasileiro (RI PRO06, 2007).

Durante o inverno (Hemisfério Sul), devido ao resfriamento do Hemisfério Sul e ao aquecimento do Hemisfério Norte, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ocupa a sua posição mais setentrional (MARTIN *et al.*, 1998).

No verão (Hemisfério Sul), o resfriamento do Hemisfério Norte e o aquecimento do Hemisfério Sul deslocam a ZCIT para uma posição mais ao sul, curvando-a em direção ao continente (MARTIN *et al.*, *op. cit.*).

Como a ZCIT representa a convergência dos ventos alísios dos dois hemisférios terrestres, o deslocamento da ZCIT mais para sul favorece a predominância dos ventos alísios de Nordeste e seu deslocamento para norte favorece a predominância dos ventos alísios de Sudeste.

Como a região de interesse encontra-se bem próximo ao equador, a movimentação sazonal da ZCIT é crucial para a meteorologia local e acarreta na ocorrência bem marcada de duas estações sazonais: verão, ou estação chuvosa e inverno, ou estação seca.

Cabe acrescentar que o posicionamento latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico é afetado por influência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e pela ZCIT no oceano Pacífico e seus mecanismos de controle ainda são muito discutidos (JOHN *et al.* 2000; MARTIN *et al.* 1998).

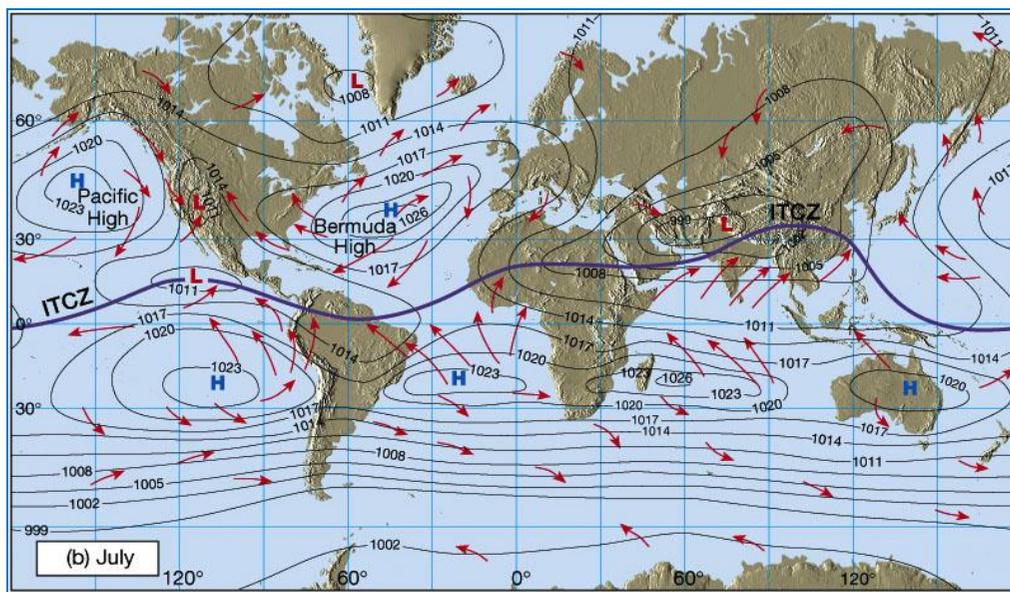
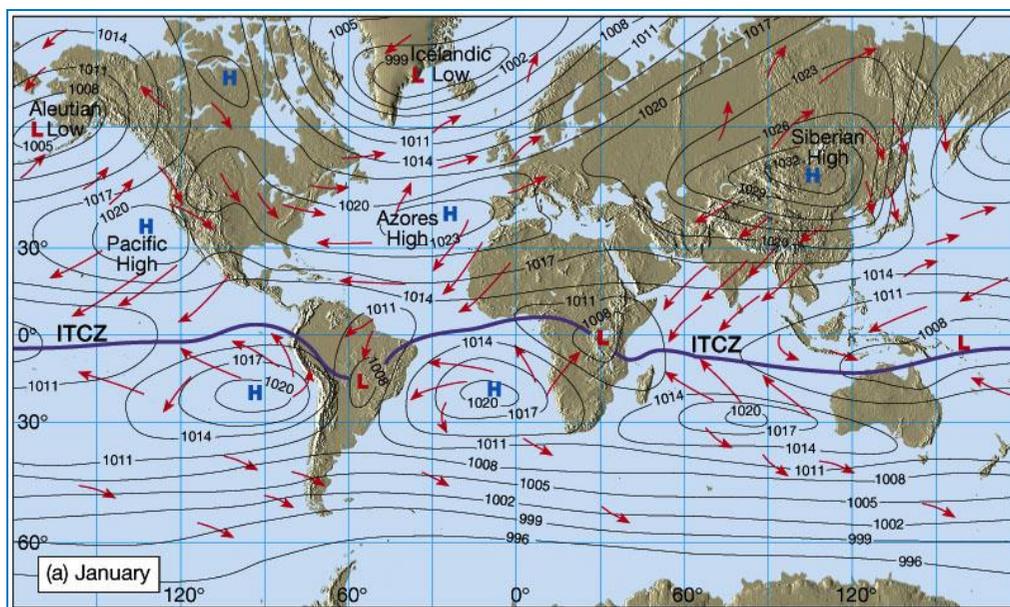


Figura II.5.1.1.1-3 - Posicionamento da ZCIT no verão (a) e no inverno do Hemisfério Sul (b).

Fonte: <http://www.ux1.eiu.edu/~cfjps/1400/circulation.html>. 11/02/2009.

A **Alta da Bolívia (AB)**, um anticiclone que ocorre no verão (Hemisfério Sul), na alta troposfera (200 hPa) sobre a América do Sul, pode intensificar a convecção na região frontal, com a divergência em altitude ajudando nesse

processo. Durante a época de inverno, ocorre o enfraquecimento da AB, com o seu completo desaparecimento (GUSMÃO, 1996). A localização geográfica da AB possui variação intrasazonal e interanual, e está associada com a convecção na Amazônia. FISCH (*op. cit.*) observou que, durante anos menos chuvosos na região Amazônica, os centros da AB eram menos intensos e, na ocorrência de El Niño, a AB localizava-se, em geral, a oeste de sua posição climatológica.

O **Dipolo do Atlântico**, causador de mudanças anômalas na temperatura da água do oceano Atlântico Tropical, tem influência na circulação de Hadley, diminuindo ou aumentando a precipitação no Nordeste do Brasil.

As **Linhas de Instabilidade (LI)** são caracterizadas por possuírem grandes conglomerados de nuvens cumulonimbus e são formadas devido à circulação de brisa marítima. As LI são um dos sistemas atmosféricos mais atuantes na área leste do Pará e que contribuem com 45% da chuva durante o período chuvoso. Posiciona-se ao sul da ZCIT, sendo que o período de maior ocorrência é a época em que a ZCIT encontra-se mais organizada, ou seja, em sua posição mais ao norte (FISCH, *op. cit.*).

II.5.1.1.2 - Caracterização dos fenômenos de mesoescala

II.5.1.1.2.A Temperatura

A temperatura do ar média para a estação de São Luis (**Figura II.5.1.1.2.A-1**), para os períodos de 1961 a 1990, apresentou um padrão esperado para regiões próximas a linha do Equador. As estações climáticas para essa região não são bem definidas quando o referencial é variação de temperatura. Pode-se observar que o período compreendido entre 1961 e 1990 apresenta um crescimento na temperatura média entre julho e novembro, onde ocorrem as máximas das médias para o período (~27°C). A amplitude térmica (1,2°C) é pequena, condizente com o que é esperado para regiões equatoriais. Em geral, nota-se uma tendência a valores mais altos de temperatura no segundo semestre.

As temperaturas mínimas absolutas na região são próximas de 20°C, entretanto a menor temperatura registrada na região foi de 13°C, registrada em abril.

As máximas absolutas variam entre ~33 e 36°C, sendo o máximo observado em fevereiro.

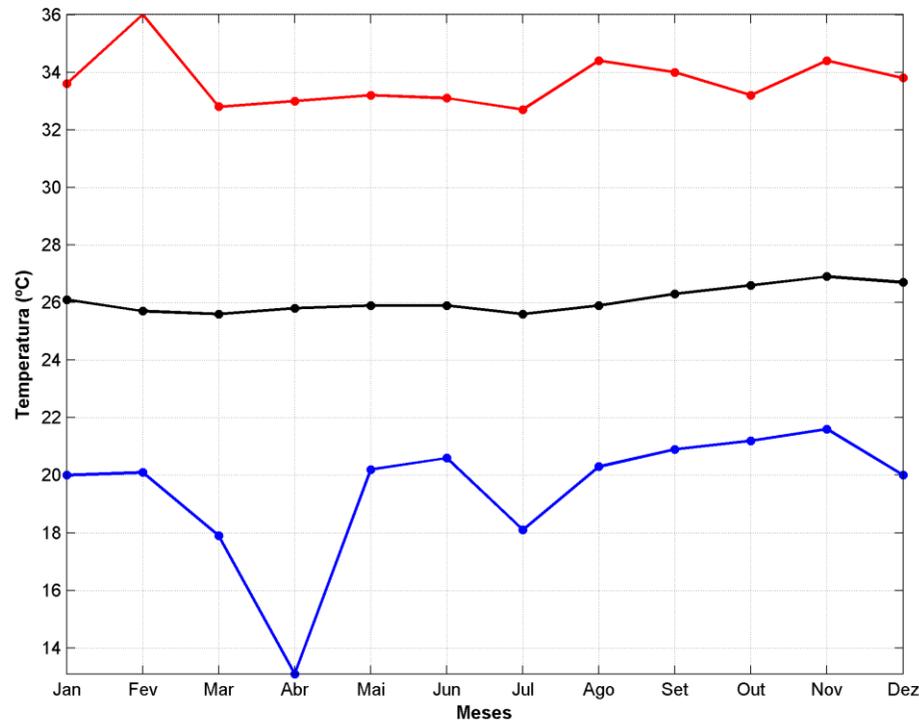


Figura II.5.1.1.2.A-1: Temperatura do ar média, mínima e máxima absoluta na estação de São Luís-MA. Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da temperatura do ar na região de interesse são apresentadas, na **Figura II.5.1.1.2.A-2**, médias sazonais dos dados de temperatura do ar a 2 metros de altitude, obtidos a partir das Reanálises II do NCEP.

Como poderá ser verificado nos mapas a seguir, há uma diminuição dos valores de temperatura nas proximidades da costa. Durante o verão (janeiro a março) e o outono (abril a junho) são verificados os menores valores na região costeira. Na região oceânica próxima aos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 a variabilidade de temperatura é muito pequena, porém os maiores valores são verificados no outono. Este é o período em que a ZCIT se posiciona mais ao sul, sendo notada uma faixa com maiores temperaturas nas proximidades dos blocos.

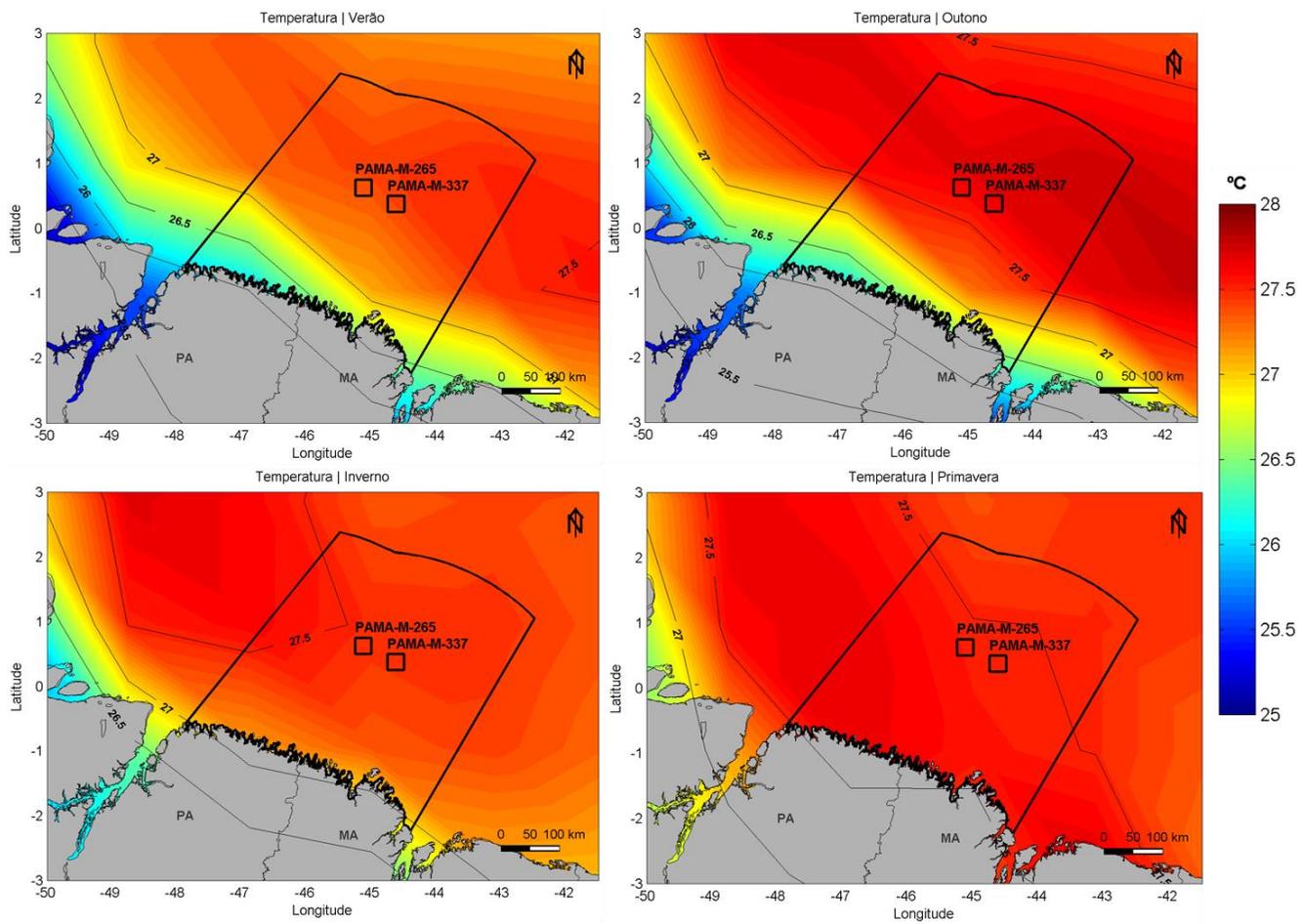


Figura II.5.1.1.2.A-2: Temperatura do ar na Baía Pará-Maranhão nas quatro estações do ano. Fonte: NCEP.

A seguir, na **Figura II.5.1.1.2.A-3**, apresenta-se a normal climatológica elaborada com todo o período do dado do NCEP (34 anos), para o ponto mais próximo ao bloco analisado (este ponto pode ser visualizado na **Figura II.5.1.1-1**). Observa-se uma amplitude térmica ainda menor que a da região costeira, com a temperatura média (27,34°C) quase constante ao longo do ano, e mínimos e máximos de 23,49°C (agosto) e 29,96°C (maio), respectivamente.

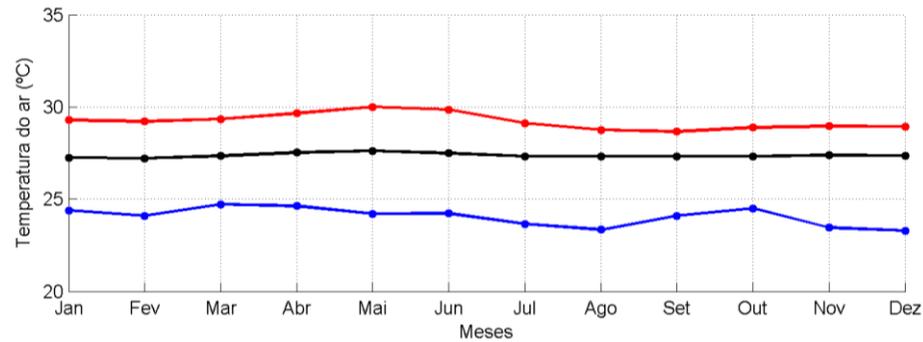


Figura II.5.1.1.2.A-3: Normal Climatológica de temperatura do ar, elaborada com todo o conjunto de dados do NCEP, do ponto de grade mais próximo aos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

A seguir, na **Tabela II.5.1.1.2.A-1**, é apresentada a estatística básica (máximo, média, mínimo e desvio padrão) de toda a série de dados do NCEP analisada, para o ponto mais próximo aos blocos.

Tabela II.5.1.1.2.A-1: Estatística básica dos dados de temperatura do ar. Fonte: NCEP.

Max (°C)	Media (°C)	Min (°C)	Desvio Padrão (°C)
29,96	27,34	23,49	0,70

Na Figura II.5.1.1.2.A-4 é apresentada toda a série temporal e a análise espectral da série de temperatura do ar da estação do INMET de Turiaçu-MA, para avaliação da variabilidade desta variável em maior frequência amostral.

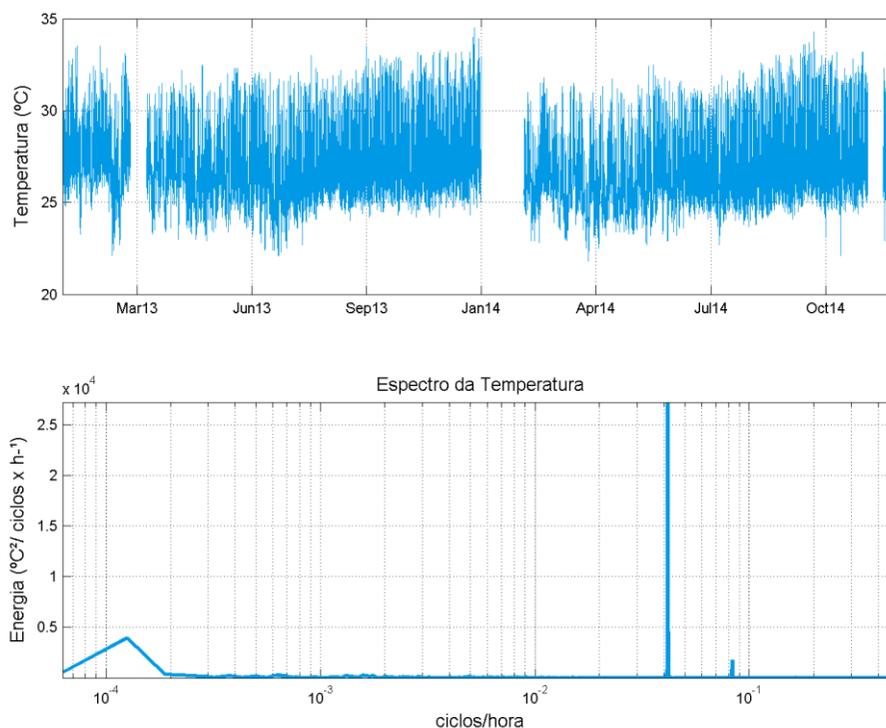


Figura II.5.1.1.2.A-4: Série temporal de temperatura do ar na estação de Turiaçu - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro de energia no domínio da frequência (abaixo).

Nota-se que a série em frequência amostral de 1 hora apresenta maior variabilidade e amplitude térmica, na ordem de 10°C. A análise espectral indica que variações com esta amplitude estão associadas com ciclos diários, pois o maior pico de energia está localizado no período de 24 horas. Também são observados picos de energia em 12 horas e 324 dias (sazonal).

Na **Tabela II.5.1.1.2.A-2** apresenta-se a estatística básica dos dados de temperatura do ar da estação meteorológica automática de Fortaleza.

Tabela II.5.1.1.2.A-2: Estatística básica dos dados de temperatura do ar obtidos na estação meteorológica automática de Turiaçu-MA. Fonte: INMET

Max (°C)	Media (°C)	Min (°C)	Desvio Padrão (°C)
34,90	26,99	21,40	2,26

II.5.1.1.2.B - Precipitação

Na região norte a homogeneidade espacial e temporal observada na temperatura não se aplica à precipitação. Como será mais extensamente descrito no item II.5.1.1.4, a região Norte do Brasil caracteriza-se por ser muito quente e úmida durante todo o ano. Por este motivo, as estações do ano no local são divididas frequentemente em um período chuvoso, e um seco. Desta forma, a precipitação na região é bem heterogênea, apresentando variabilidade espaço-temporal muito grande devido às interações entre os diferentes sistemas atmosféricos, de macro e mesoescala (Loureiro *et al.*, 2006).

Para a estação de São Luís (**Figura II.5.1.1.2.B-1**), os valores médios de precipitação, apresentam uma sazonalidade bem definida, onde são observadas maiores precipitações no primeiro semestre, e menores no segundo. Para a série (1961 a 1990), o mês com maior taxa de precipitação é o mês de abril, com precipitação de aproximadamente 470 mm. Outubro aparece como o mês com menor precipitação (tendendo a 0mm).

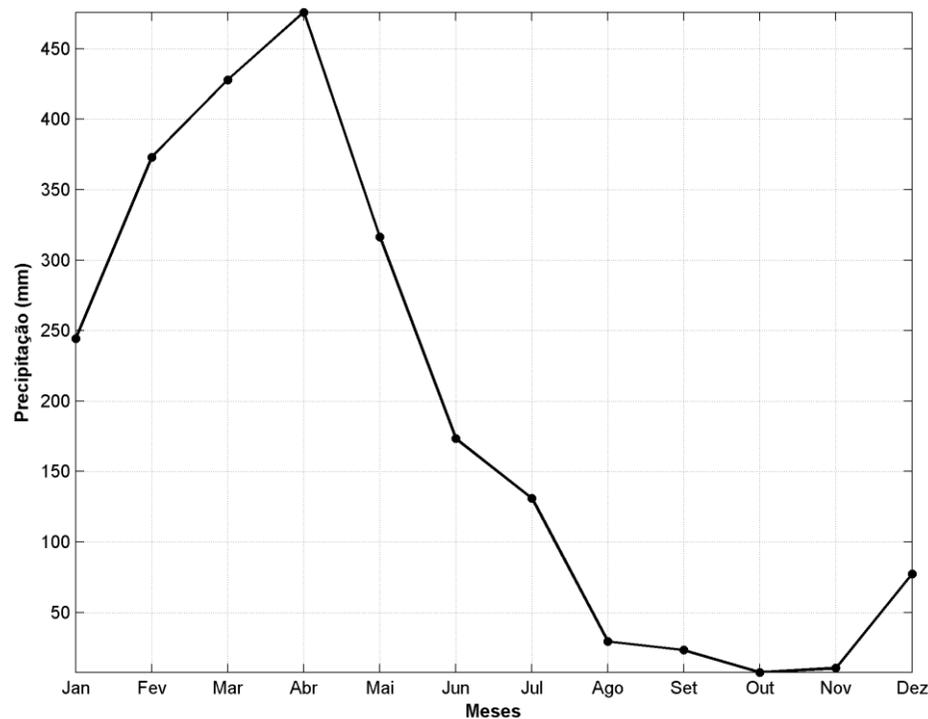


Figura II.5.1.1.2.B-1: Precipitação acumulada mensal (mm) na estação de São Luís-MA. Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da precipitação na região dos blocos PAMA-M-265 E PAMA-M-337, são apresentadas na **Figura II.5.1.1.2.B-2**, médias sazonais dos dados de precipitação obtidos a partir das Reanálises II do NCEP. No primeiro semestre do ano (verão e principalmente outono), a área de maior precipitação,

associada a ZCIT, encontra-se bem próxima da região dos blocos, enquanto no segundo semestre (inverno e primavera) a área de maior precipitação se desloca para o norte, se afastando dos blocos. A precipitação na região dos blocos é próxima de 470 mm no outono – abril a maio – e entre 100 e 150 mm no inverno – julho a setembro.

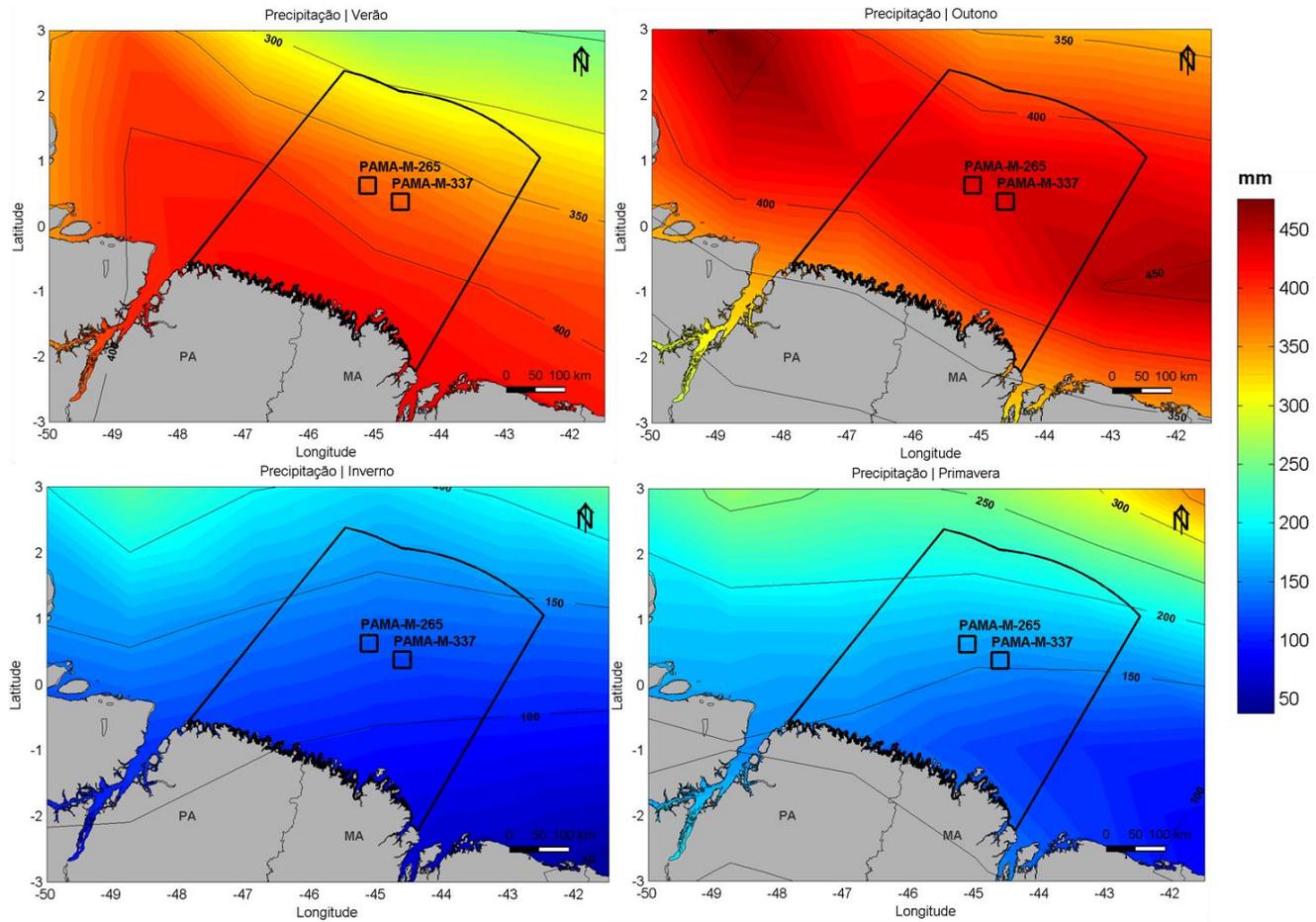


Figura II.5.1.1.2.B-2: Precipitação acumulada mensal na Baía Pará Maranhão nas quatro estações do ano.

A seguir, na **Figura II.5.1.1.2.B-3**, apresenta-se a normal climatológica de precipitação acumulada mensal para o ponto de grade do NCEP mais próximo aos blocos em questão. Nota-se o mesmo comportamento observado na normal climatológica da estação do INMET de São Luís-MA, com maiores índices de precipitação nos meses entre janeiro e junho (verão) e menores nos meses de julho a dezembro (inverno). Na região dos blocos os picos de precipitação estão deslocados em relação a estação de São Luís-MA. O máximo de precipitação (~480mm) foi verificado em maio, e o mínimo em setembro (~60 mm).

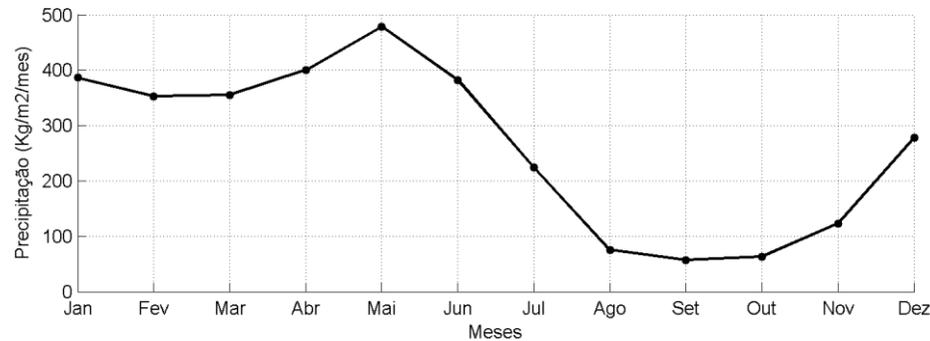


Figura II.5.1.1.2.B-3: Normal Climatológica de precipitação acumulada mensal, elaborada com todo o conjunto de dados do NCEP, do ponto de grade mais próximo aos blocos PAMA-M-265 E PAMA-M-337.

Esta variação na taxa de pluviosidade está diretamente ligada com o fenômeno da migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) descrito no item II.5.1.1.1. Esta feição se encontra em sua posição mais ao norte aproximadamente em setembro e mais a sul em abril, causando chuvas intensas na região norte brasileira.

A seguir, na **Tabela II.5.1.1.2.B-1**, apresenta-se a estatística básica dos dados de precipitação acumulada mensal obtida com os dados do NCEP, no ponto mais próximo aos blocos de interesse.

Tabela II.5.1.1.2.B-1: Estatística básica dos dados de precipitação acumulada mensal. Fonte: NCEP.

Max (mm)	Media (mm)	Min (mm)	Desvio Padrão (mm)
72,71	2,23	0	4,42

Na **Figura II.5.1.1.2.B-4** é apresentada toda a série temporal e a análise espectral da série de precipitação da estação do INMET de Turiaçu-MA, para avaliação da variabilidade da precipitação em maior frequência amostral (dados com frequência horária).

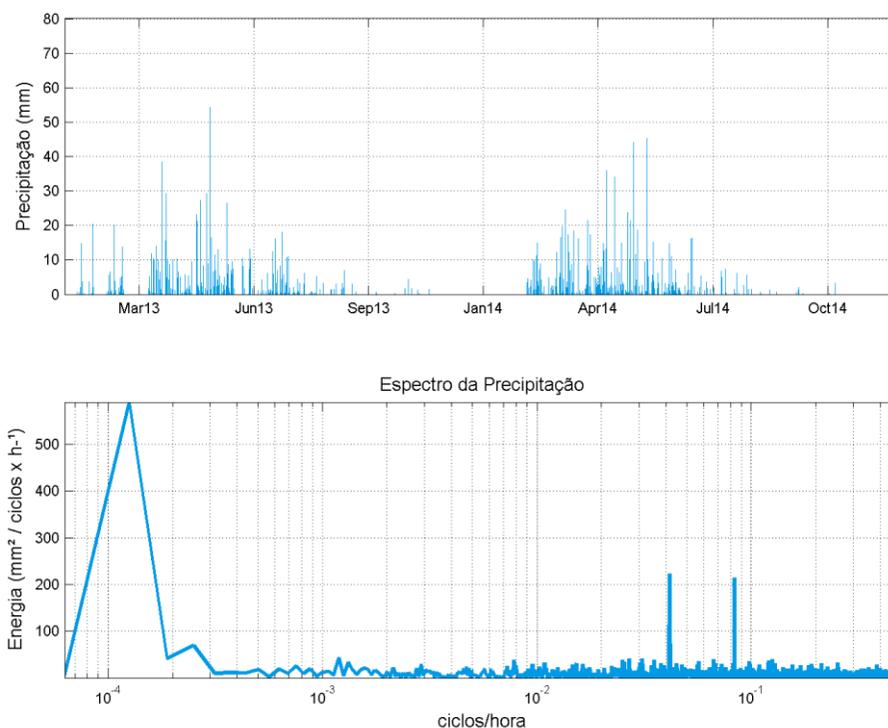


Figura II.5.1.1.2.B-4: Série temporal de precipitação na estação de Turiaçu - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo).

Pode ser observado que, ao contrário da variável temperatura do ar, o ciclo mais energético associado à precipitação é anual (ciclo sazonal), apesar de também haver um pico de energia com período de 24 horas.

Na **Tabela II.5.1.1.2.B-2** a estatística básica dos dados de precipitação da estação do INMET de Turiaçu é apresentada.

Tabela II.5.1.1.2.B-2: Estatística básica dos dados de precipitação obtidos na estação meteorológica automática de Turiaçu. Fonte: INMET.

Max (mm)	Media (mm)	Min (mm)	Desvio Padrão (mm)
54,40	0,20	0	1,52

II.5.1.1.2.C - Evaporação

A evaporação normal climatológica em São Luís-MA (**Figura II.5.1.1.2.C-1**) para o período de 1961 a 1990, apresenta comportamento inverso ao da precipitação. No primeiro semestre do ano há menor evaporação enquanto no segundo semestre esta é bem mais significativa. O máximo de evaporação ocorreu em novembro, ~130mm, e o mínimo em abril, 47 mm. O período onde ocorre o máximo de evaporação coincide com o máximo de temperatura do ar na mesma estação, assim como ao mínimo de precipitação, evidenciando a dominância da ZCIT no controle destas variáveis nesta região. Com a ZCIT sobre o ponto de medição, além da alta na precipitação, existe muita nebulosidade, diminuindo assim a evaporação e a temperatura do ar.

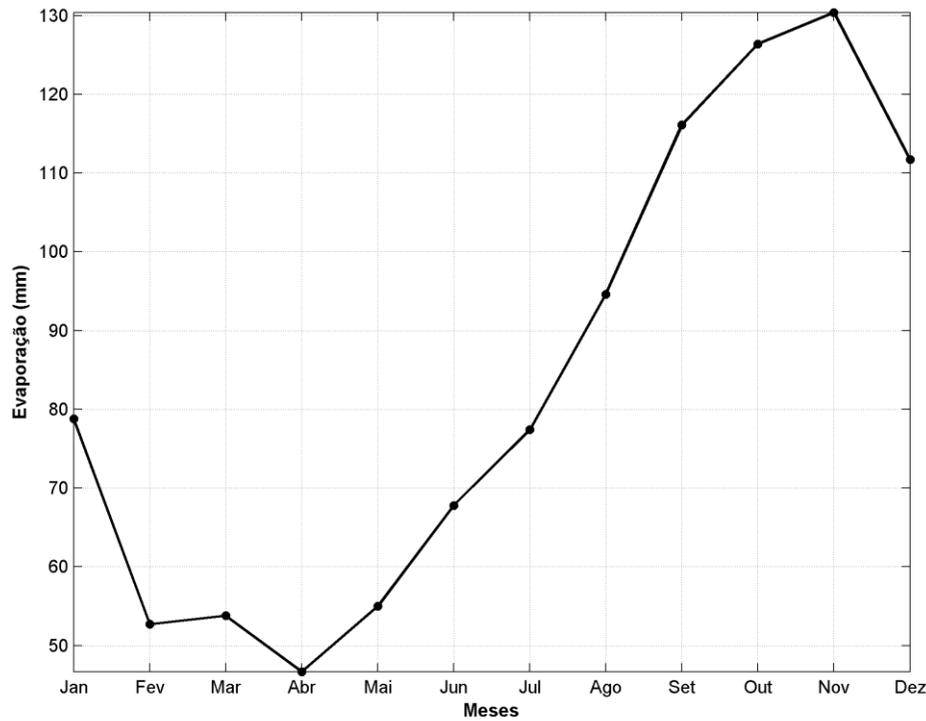


Figura II.5.1.1.2.C-1: Evaporação na estação de São Luis (MA). Fonte: INMET

II.5.1.1.2.D - Umidade Relativa

A normal climatológica de umidade relativa registrada na estação do INMET de São Luís-MA (**Figura II.5.1.1.2.D-1**) variou de 79% a 90%, e seguiu o comportamento próximo ao da precipitação. No período de 1961 a 1990, esta estação apresentou o menor valor de umidade relativa no mês de novembro, e máximo em abril.

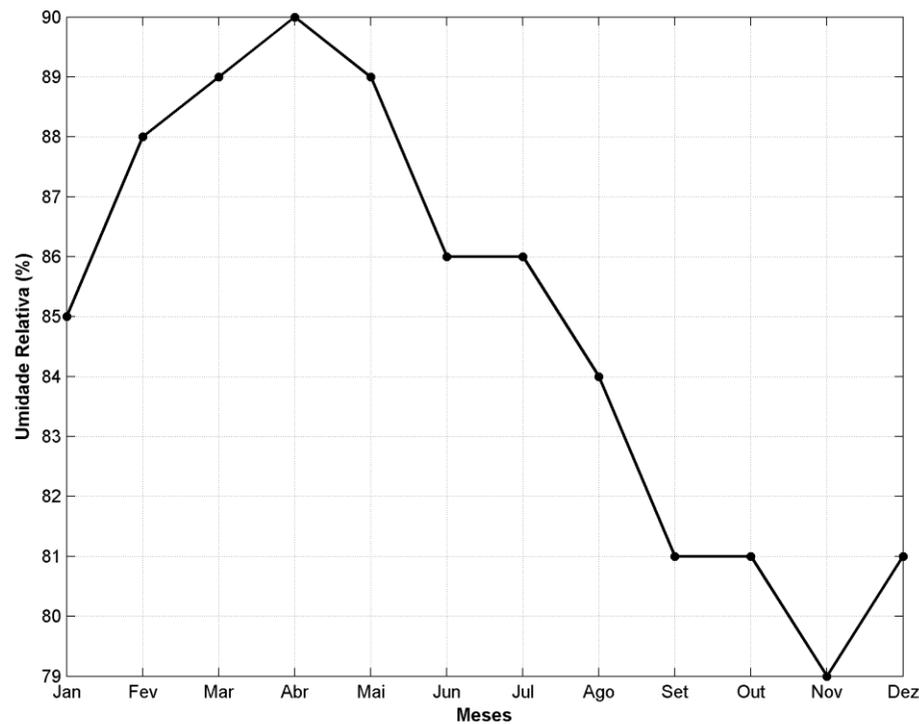


Figura II.5.1.1.2.D-1: Umidade relativa na estação de São Luís-MA. Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da umidade relativa na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, são apresentadas na **Figura II.5.1.1.2.D-2**, médias sazonais dos dados de umidade relativa obtidos a partir da Reanálise II do NCEP.

Durante o verão (janeiro a março) e o outono (abril a junho) a umidade relativa é maior na costa norte do Brasil, assim como na área dos blocos. Há um aumento em direção ao sudoeste da região analisada. Na área de interesse, no verão e no outono, a umidade relativa se encontra em aproximadamente 82%. No inverno (julho a setembro) e na primavera (outubro a dezembro) o padrão de variabilidade espacial se modifica e a umidade relativa aumenta a

oeste e norte da Bacia Pará-Maranhão. Nas proximidades dos blocos de interesse, a umidade relativa encontra-se próximo a 77%.

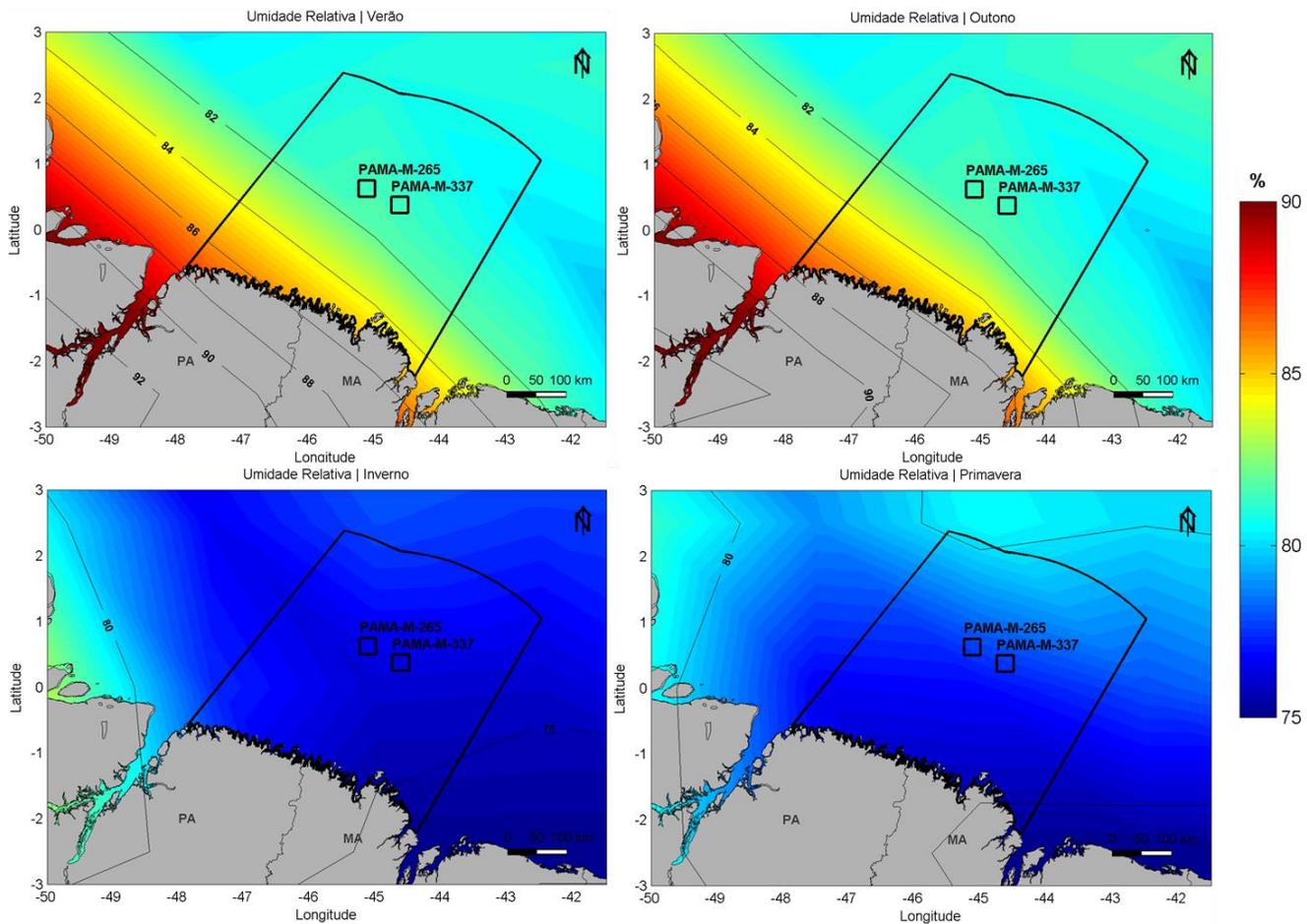


Figura II.5.1.1.2.D-2: Umidade relativa na Bacia Pará Maranhão nas quatro estações do ano.

A seguir, na **Figura II.5.1.1.2.D-3**, apresenta-se a normal climatológica de umidade relativa do ar para o ponto de grade do NCEP mais próximo dos blocos de interesse. Nota-se um padrão parecido ao observado nas normais climatológicas da estação do INMET de São Luís, com maiores índices de umidade relativa no primeiro semestre e menores no segundo.

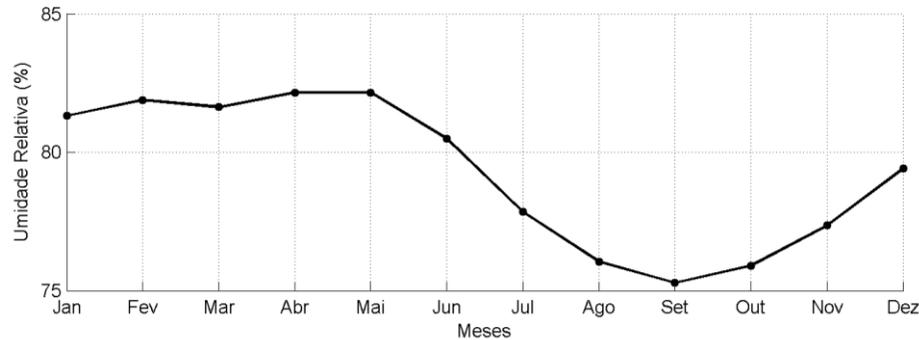


Figura II.5.1.1.2.D-3: Normal Climatológica de umidade do ar elaborada com todo o conjunto de dados do NCEP, do ponto de grade mais próximo ao bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

A seguir, na **Tabela II.5.1.1.2.D-1**, apresenta-se a estatística básica dos dados de umidade relativa obtida com os dados do NCEP, no ponto mais próximo aos blocos de interesse. Observa-se a média em torno de 70%, máxima em aproximadamente 99% e a mínima em 47%.

Tabela II.5.1.1.2.D-1: Estatística básica dos dados de umidade relativa. Fonte: NCEP.

Max (%)	Media (%)	Min (%)	Desvio Padrão (%)
99,99	79,27	54,39	6,92

Na **Figura II.5.1.1.2.D-4** é apresentada toda a série temporal e a análise espectral da série de umidade relativa da estação do INMET de São Luís, para avaliação da variabilidade desta variável em maior frequência amostral (dados com frequência horária).

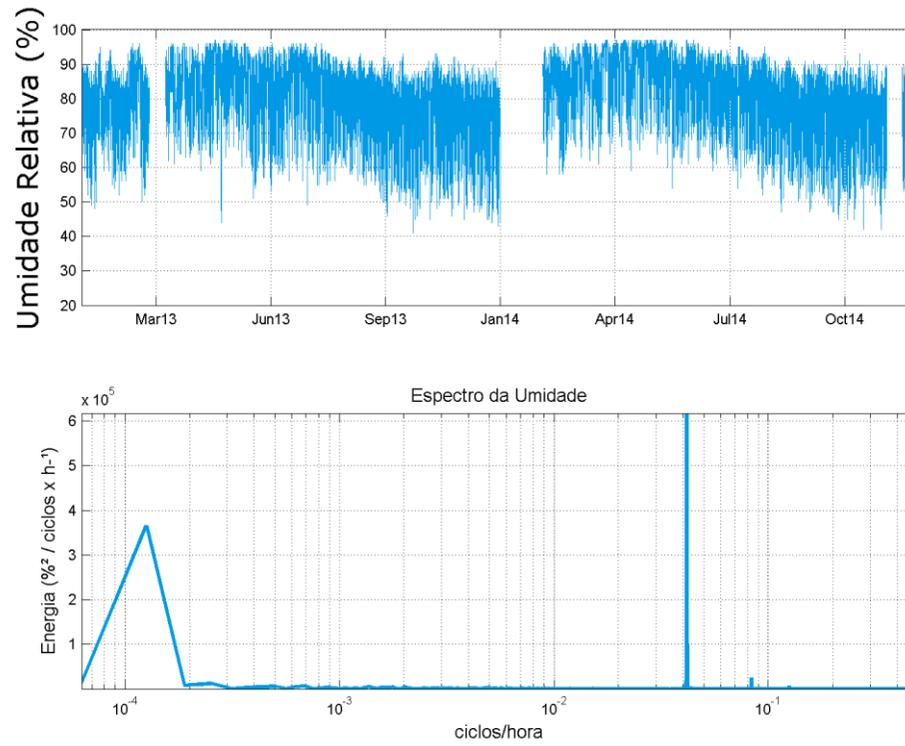


Figura II.5.1.1.2.D-4: Série temporal de umidade relativa na estação de São Luís - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo).

Notam-se picos de energia basicamente associados ao período de 24 horas e período de 1 ano (variabilidade sazonal). O pico de energia associado ao período de 12 h também é notado, entretanto com menor energia proporcional.

Apresenta-se a seguir na Tabela II.5.2.D-2 a estatística básica desta série de dados horaria de umidade relativa da estação automática de Turiaçu-MA.

Tabela II.5.1.1.2.D-2: Estatística básica dos dados de umidade relativa obtidos da estação meteorológica automática de Turiaçu-MA. Fonte: INMET

Max (%)	Media (%)	Min (%)	Desvio Padrão (%)
97,00	80,03	39,00	11,68

II.5.1.1.2.E - Pressão atmosférica

A normal climatológica da pressão atmosférica, na estação de São Luís-MA (**Figura II.5.1.1.2.E-1**), apresenta valores máximos na parte mais central do ano, com um pico em julho (~1007 hPa), e menores valores no final da primavera e verão (novembro a março). Dezembro é o mês com menor média de pressão atmosférica (1004 hPa).

Apesar de ser nítido o padrão sazonal nesta variável, ressalta-se que a amplitude de variação sazonal é bem reduzida, apenas 3 hPa.

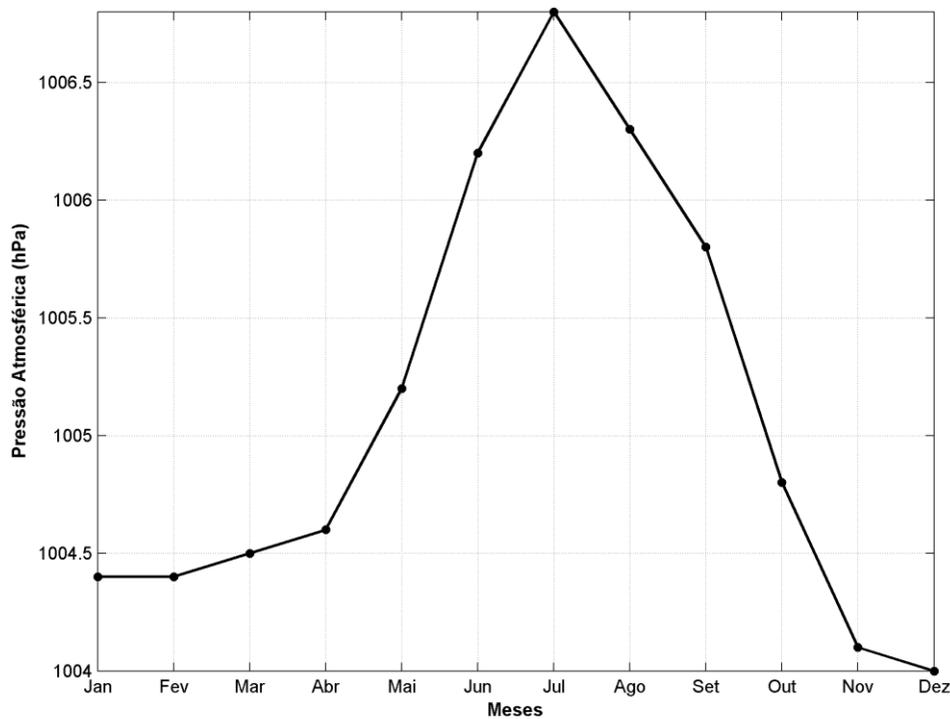


Figura II.5.1.1.2.E-1: Pressão atmosférica na estação de São Luís - MA. Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da pressão atmosférica na região da Bacia Pará-Maranhão, são apresentadas na **Figura II.5.1.1.2.E-2** médias sazonais dos dados de pressão atmosférica obtidos a partir das Reanálises II do NCEP.

A variabilidade espacial da pressão atmosférica é semelhante nas quatro estações do ano, com maiores valores na região oceânica, e menores na região costeira. Embora haja pouca diferença nos valores encontrados nas estações.

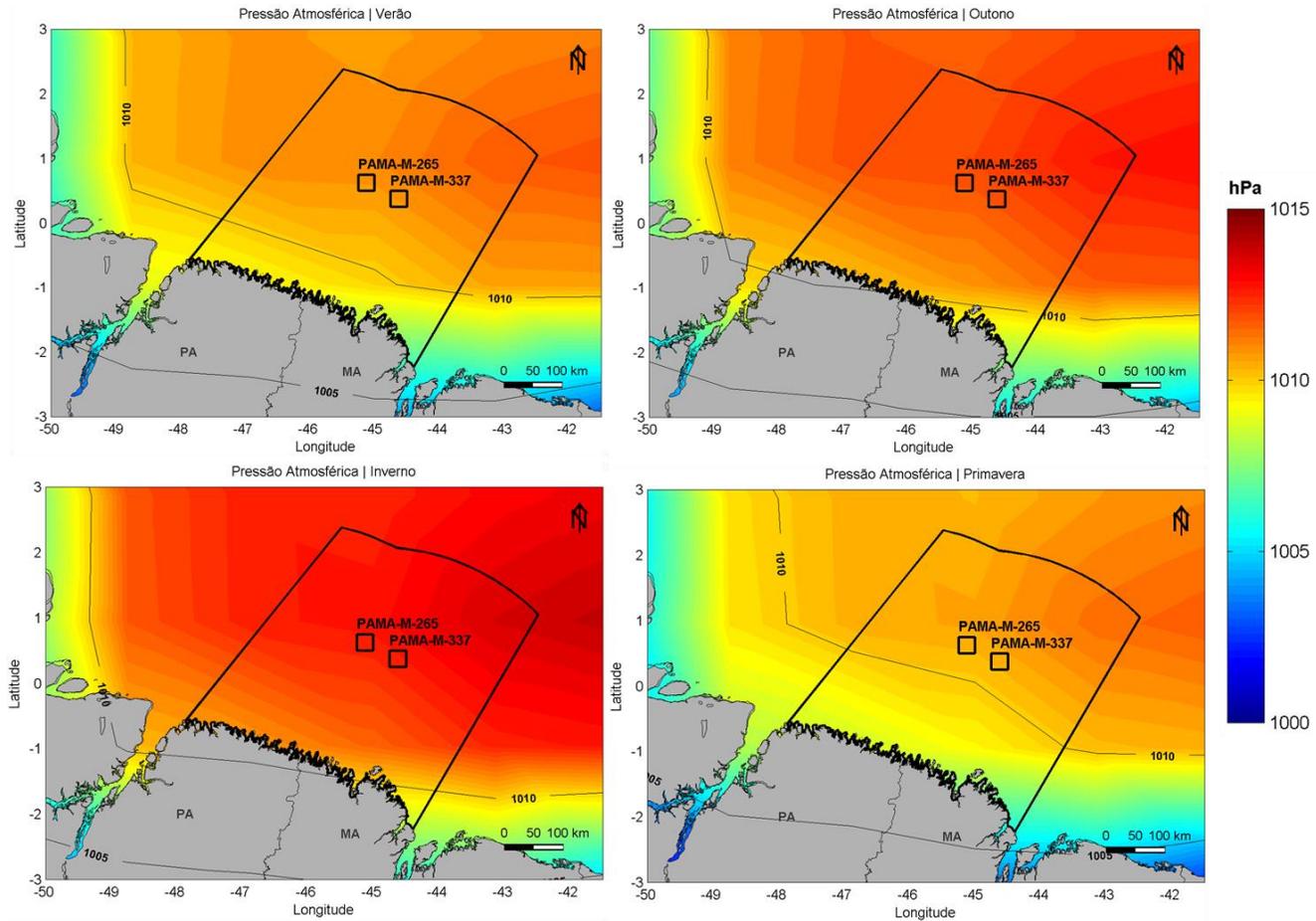


Figura II.5.1.1.2.E-2: Pressão atmosférica na Bacia Pará-Maranhão durante as quatro estações do ano. Fonte: NCEP

A seguir, na **Figura II.5.1.1.2.E-3**, apresenta-se a normal climatológica de pressão atmosférica para o ponto de grade do NCEP mais próximo dos blocos de interesse. Nota-se o mesmo comportamento observado na normal climatológica da estação do INMET de São Luís-MA com maiores valores de pressão atmosférica nos meses de inverno e menores nos meses de verão, porém, com amplitude anual bem pequena, em torno de 3hPa.

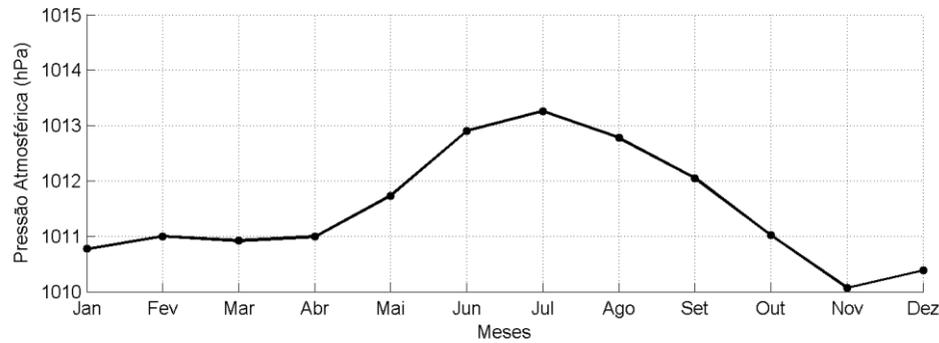


Figura II.5.1.1.2.E-3: Normal Climatológica de pressão atmosférica elaborada com todo o conjunto de dados do NCEP, do ponto de grade mais próximo ao bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

A seguir, na **Tabela II.5.1.1.2.E-1**, apresenta-se a estatística básica dos dados de pressão atmosférica obtida com os dados do NCEP, no ponto mais próximo aos blocos de interesse. Observa-se a média em 1004 hPa, a máxima em aproximadamente 1010hPa e a mínima em 1000hPa.

Tabela II.5.1.1.2.E-1: Estatística básica dos dados de pressão atmosférica. Fonte: NCEP.

Max (hPa)	Media (hPa)	Min (hPa)	Desvio Padrão (hPa)
1018,74	1011,49	1003,33	1,79

Na **Figura II.5.1.1.2.E-4** é apresentada toda a série temporal e a análise espectral da série de pressão atmosférica da estação do INMET de Turiaçu-MA, para avaliação da variabilidade desta variável em maior frequência amostral (dados com frequência horária).

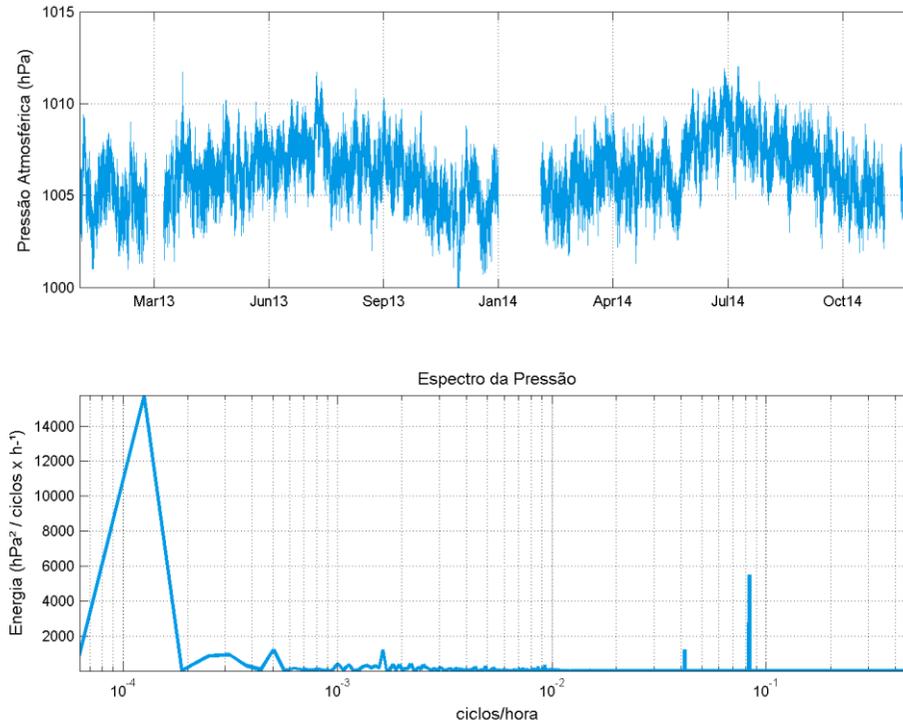


Figura II.5.1.1.2.E-4: Série temporal de pressão atmosférica na estação de São Luís - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo).

Nota-se que o maior pico de energia está associado a um ciclo com período anual. Outros picos podem ser observados associados a períodos de 12 e 24 horas.

Apresenta-se a seguir na **Tabela II.5.1.1.2.E-5** a estatística básica desta série de dados horários de umidade relativa da estação automática do INMET de Turiaçu-MA.

Tabela II.5.1.1.2.E-5: Estatística básica dos dados de pressão atmosférica obtidos da estação meteorológica automática de Turiaçu-MA. Fonte: INMET.

Max (%)	Media (%)	Min (%)	Desvio Padrão (%)
1012,00	1006,15	999,10	1,78

II.5.1.1.2.F - Insolação

A média de insolação para a estação de São Luís (**Figura II.5.1.1.2.F-1**) apresenta maiores valores entre agosto e janeiro, e menores entre fevereiro e julho. A menor média é registrada no mês de abril e a maior em novembro, para o período de 1961 a 1990.

A menor insolação durante os meses de verão e outono está diretamente ligada com a migração para sul da ZCIT durante estas estações do ano, pois esta feição se caracteriza por uma região de alta nebulosidade e precipitação, relacionando-se também com uma menor evaporação e temperatura do ar.

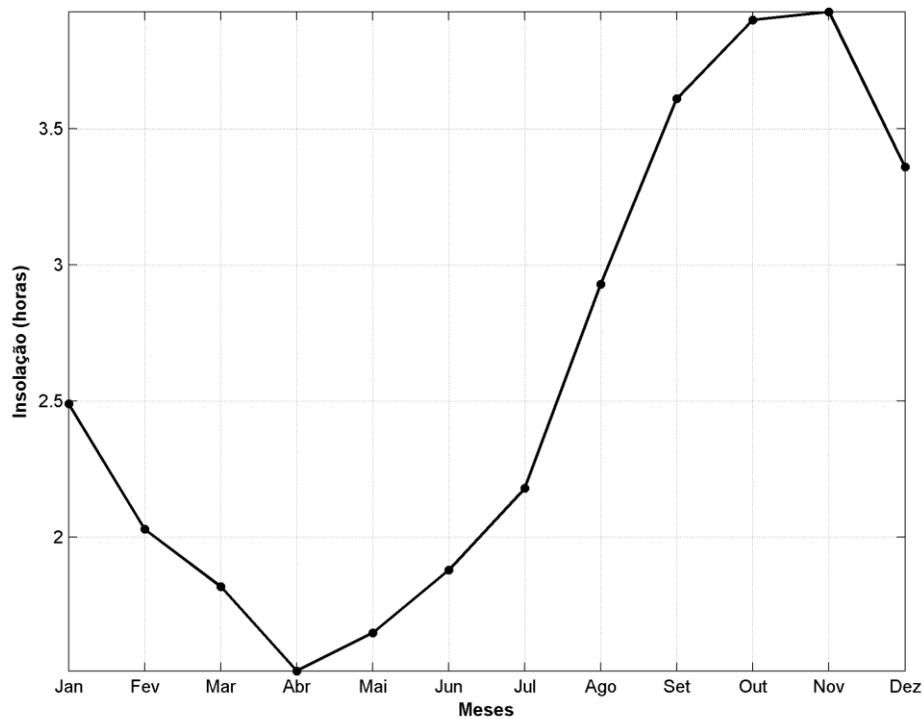


Figura II.5.1.1.2.F-1: Insolação na estação de São Luís - MA. Fonte: INMET.

II.5.1.1.2.G - Ventos

O regime de ventos nas regiões norte e nordeste do Brasil também é bastante influenciado pelo posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A variabilidade sazonal do posicionamento da ZCIT pode ser observada na Figura II.5.1.1.1-3. O deslocamento da ZCIT mais para sul favorece o predomínio dos ventos alísios de Nordeste enquanto o deslocamento para Norte favorece os ventos alísios de Sudeste.

Abaixo, na **Figura II.5.1.1.2.G-1**, podem ser observados mapas de vento climatológicos elaborados com os dados da Reanálise II do NCEP, para as quatro estações do ano, verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro).

Em todas as estações do ano são observadas menores intensidades dos ventos nas áreas mais próximas da costa, devido ao maior atrito do vento com a terra.

Há uma variação sazonal bem marcada no padrão direcional dos ventos. No período de verão e outono predominam ventos médios de NE. Durante o inverno e a primavera os ventos médios são de E, tendendo mais para ESE no inverno, e ENE na primavera. A intensidade média dos ventos é próxima a 6 m/s ao longo do ano, apresentando uma pequena redução no outono (~5m/s), quando a ZCIT está posicionada mais ao sul.

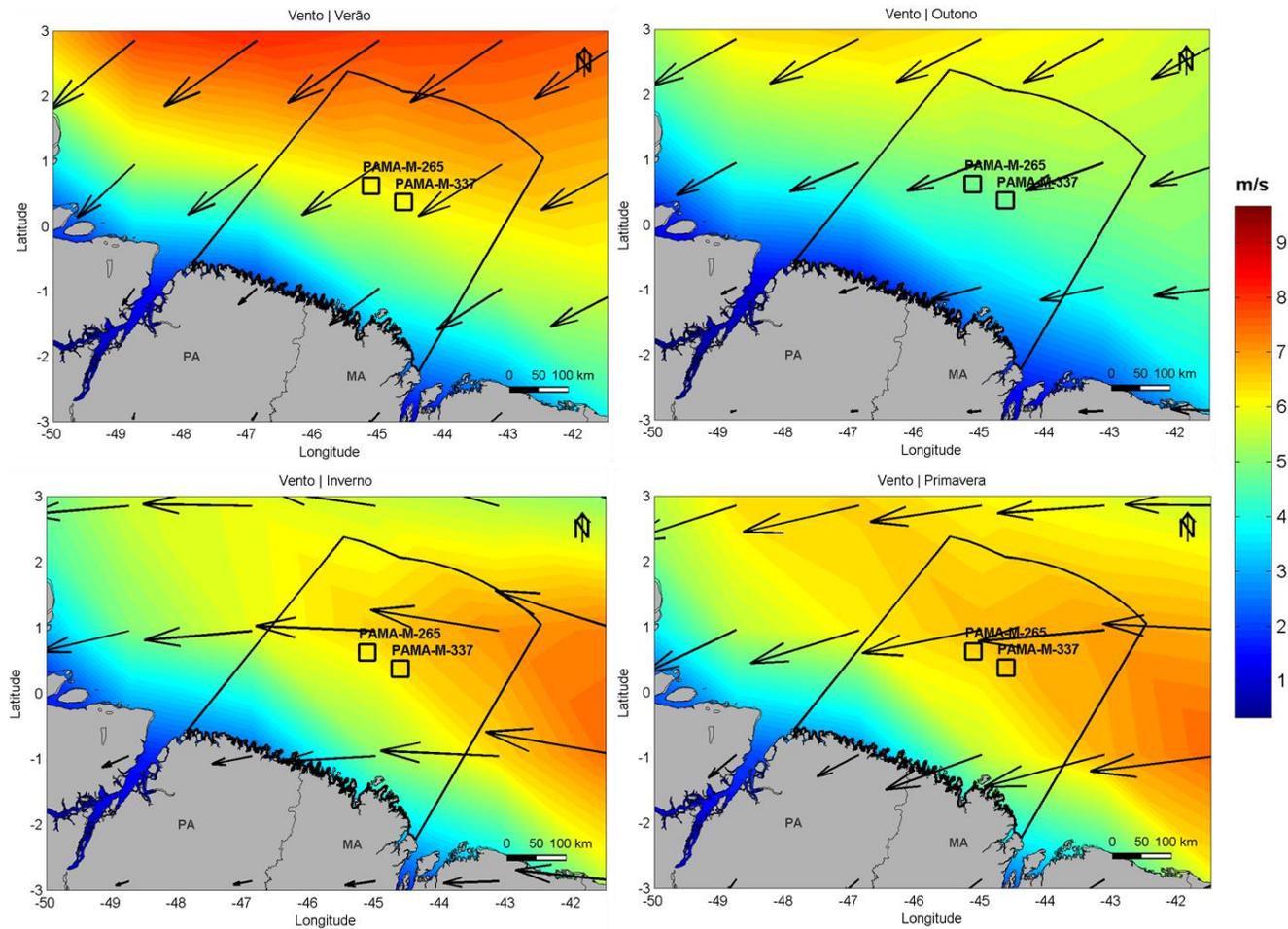


Figura II.5.1.1.2.G-1: Campos de vento climatológicos para as quatro estações do ano. Fonte: NCEP.

A seguir, na **Tabela II.5.1.1.2.G-1**, apresenta-se a distribuição de frequências conjuntas de intensidade e direção do vento elaborada com os 34 anos de dados de vento da Reanálise II do NCEP, para o ponto mais próximo dos blocos de interesse.

A direção mais frequente é a de leste (55,43%) e a classe de intensidade mais frequente é de 5,5 a 8m/s (45,73%). As classes de direção E, NE e SE juntas somam 95,33% e ventos com intensidade entre 3 e 10,5m/s representam 92,65%.

Tabela II.5.1.1.2.G-1: Ocorrência conjunta de intensidade e direção dos ventos na área dos blocos PAMA-M-265 E PAMA-M-337. Fonte: NCEP.

Direção ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)											
0	3	317	630	681	282	114	68	79	110	2281	4,46
3	5,5	649	4277	5379	857	74	28	35	88	11387	22,27
5,5	8	591	8264	13417	1066	21	2	2	19	23382	45,73
8	10,5	172	4032	7909	481	3	4	0	2	12603	24,65
10,5	13	10	423	920	64	0	0	0	0	1417	2,77
>13		0	22	40	4	0	0	0	0	66	0,13
Total		1739	17648	28346	2754	212	102	116	219	51136	
Freq (%)		3,40	34,51	55,43	5,39	0,41	0,20	0,23	0,43		

Apresenta-se abaixo na **Tabela II.5.1.1.2.G-2** a estatística básica dos dados de vento para o ponto mais próximo dos blocos em questão.

Tabela II.5.1.1.2.G-2: Estatística Básica do vento no ponto de grade mais próximo aos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: NCEP.

Max (m/s)	Media (m/s)	Min (m/s)	Desvio Padrão
16,74	6,73	0,15	2,08

Para se analisar com mais detalhe o comportamento dos ventos na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, são apresentados na Figura II.5.1.1.2.G-2 *stickplots* do vento no ponto mais próximo dos blocos para o ano de 2013. Este ano foi escolhido por ser o mais recente na série de dados utilizada nesta análise e por não ser um ano de *El-Niño* ou *La-Niña* (NWS/NCEP, 2013).

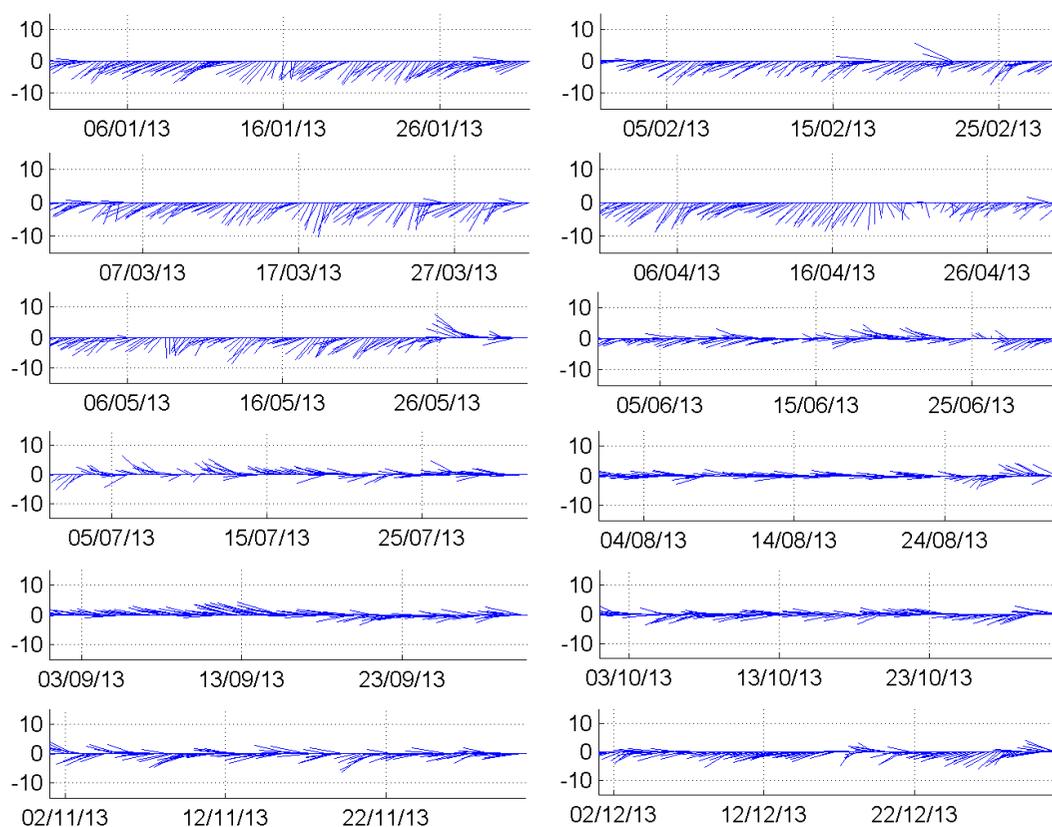


Figura II.5.1.1.2.G-2: Stickplots de vento no ponto de grade do NCEP mais próximo do bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita).

Pode-se observar que em janeiro e maio de 2013, os ventos foram bem definidos e praticamente constantes de nordeste. Entre junho e novembro houve uma intermitência entre ventos de sudeste, leste e nordeste. Em dezembro os ventos voltaram a se definir mais de nordeste.

A seguir, na **Figura II.5.1.1.2.G-3**, apresenta-se um gráfico com valores climatológicos (elaborados com todo o período do dado de vento do NCEP-R2) de intensidade média, máxima, mínima, primeiro quartil e terceiro quartil, do ponto mais próximo dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

O mês com a menor intensidade média é junho e o mês com maior intensidade média é setembro. Não é observada grande variabilidade sazonal na intensidade dos ventos, porém ventos menos intensos são observados no período de outono e inverno, entre os meses de abril e julho.

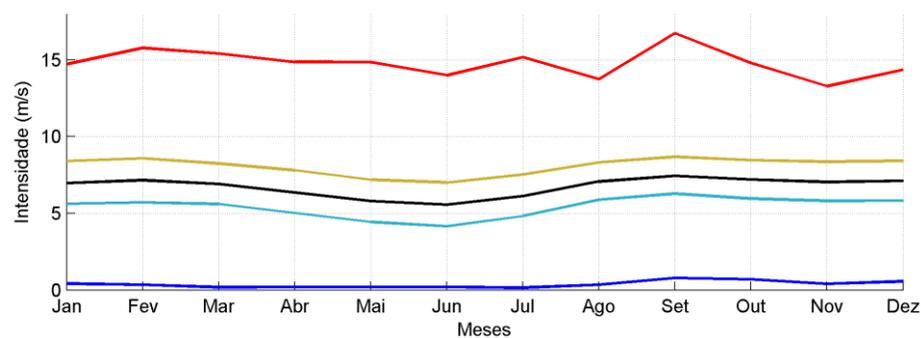


Figura II.5.1.1.2.G-3: Média (linha preta), Mínima (linha azul escura), Máxima (linha vermelha), primeiro quartil (linha azul clara) e terceiro quartil (linha amarela) para toda a série de dados de vento. Fonte: NCEP.

A seguir, na **Figura II.5.1.1.2.G-4** e na **Figura II.5.1.1.2.G-5** são apresentados histogramas direcionais (rosas dos ventos) dos ventos na região dos blocos em questão para todos os meses do ano. Estas rosas foram elaboradas com todo o período do dado da Reanálise II do NCEP, do ponto mais próximo aos blocos.

Assim como no ano de 2013, os meses climatológicos apresentam ventos variando de NE a SE, com maior contribuição de ventos de nordeste durante os meses de dezembro a maio. Observa-se a mudança para o predomínio de ventos de sudeste nos meses de junho a novembro.

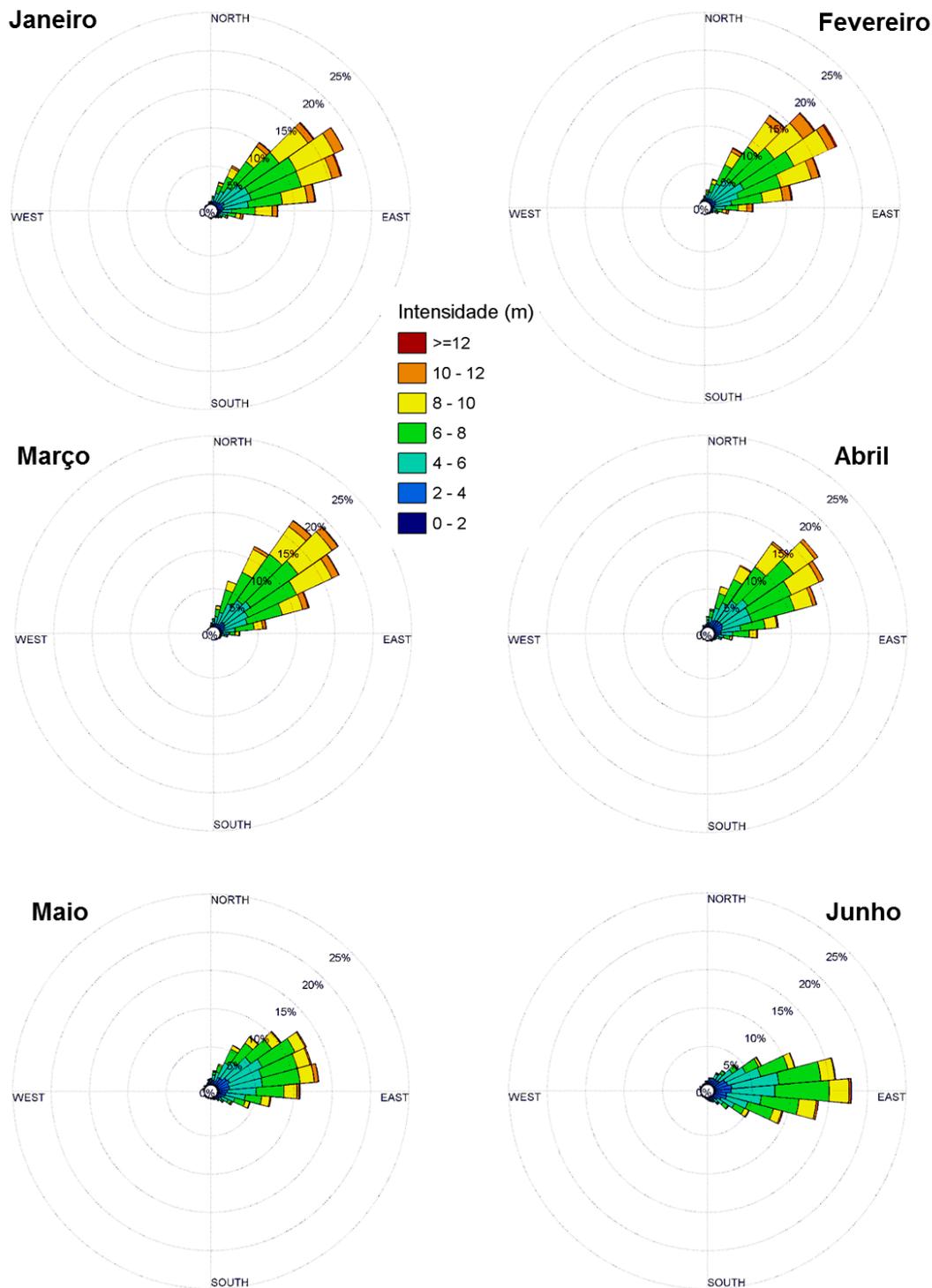


Figura II.5.1.1.2.G-4: Rosa dos ventos para o ponto de grade mais próximo dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, para os meses de Janeiro a Junho. Fonte: NCEP (dados de 1979 a 2013).

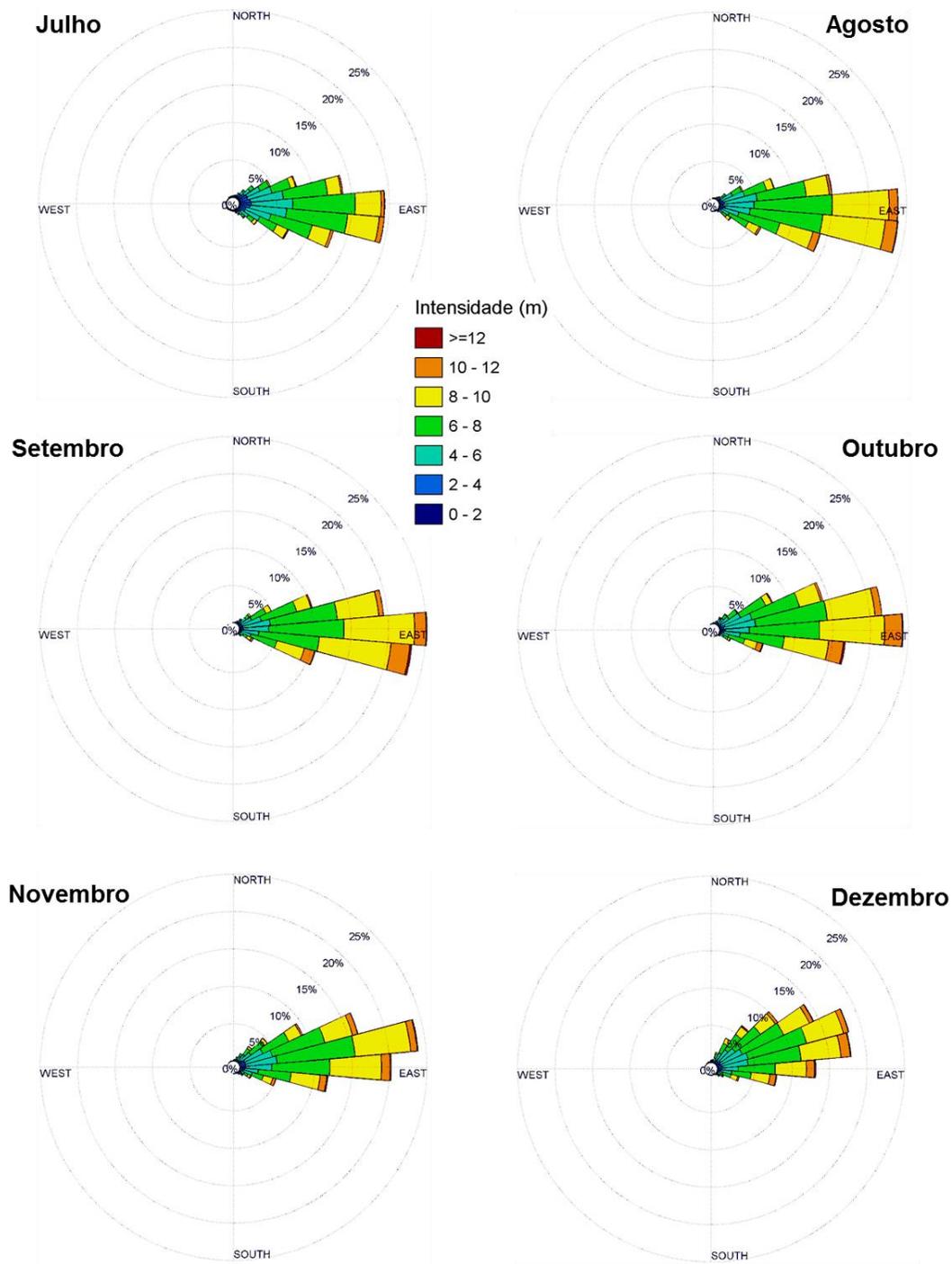


Figura II.5.1.1.2.G-5: Rosa dos ventos para o ponto de grade mais próximo dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, para os meses de Julho a Dezembro. Fonte NCEP (dados de 1979 a 2013).

A seguir apresentam-se os dados da estação automática do INMET de Turiçu-MA, possibilitando a análise de uma série temporal de dados de intensidade de vento com maior frequência amostral (dados horários).

Na **Figura II.5.1.1.2.G-6** pode ser observada a série temporal de intensidade de vento (acima) e sua respectiva análise espectral (abaixo).

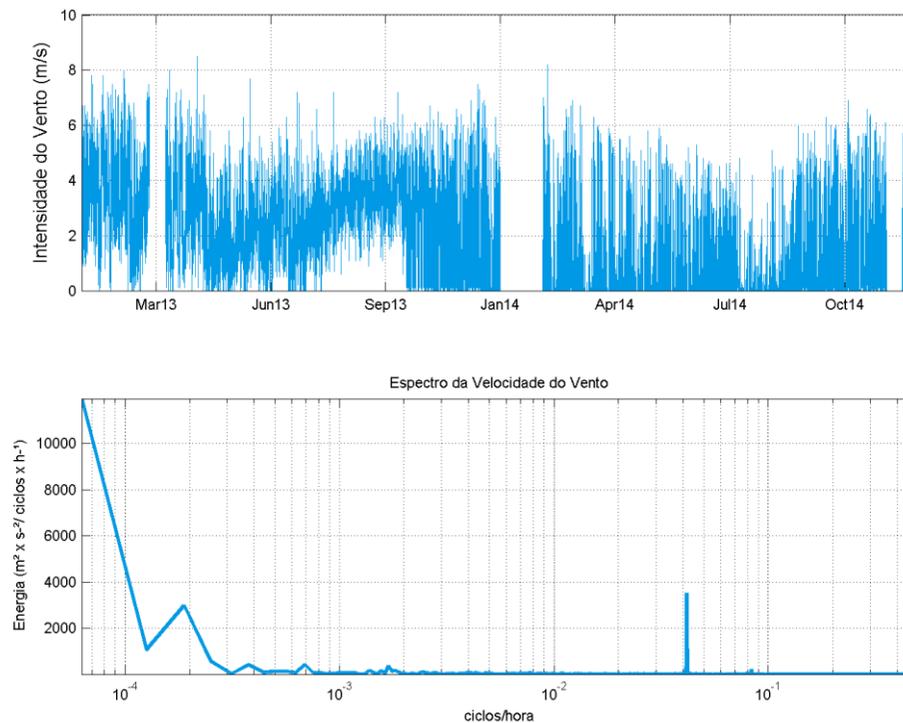


Figura II.5.1.1.2.G-6: Série temporal de intensidade do vento na estação de Turiçu - MA, para o período entre janeiro de 2013 e dezembro de 2014 (acima) e espectro no domínio da frequência (abaixo).

Nota-se um padrão sazonal com maiores intensidades nos meses de verão e menores no inverno. Este ciclo de variação com período próximo ao anual é o ciclo com maior energia associada, como evidencia o espectro de energia no domínio da frequência. Outros picos de energia encontram-se associados a ciclos de 24 (efeito de brisa) e 12 horas.

Apresenta-se, na **Tabela II.5.1.1.2.G-3** a estatística básica dos dados desta série.

Tabela II.5.1.1.2.G-3: Estatística básica dos dados de vento obtidos da estação meteorológica automática de Turiaçu-MA.

Fonte: INMET

Max (m/s)	Media (m/s)	Min (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
8,50	1,76	0	1,86

Os ventos na estação meteorológica de Turiaçu apresentaram-se menos intensos que os ventos na região dos blocos observados no dado da NCEP R2, devido a influência continental.

II.5.1.1.3 Caracterização dos fenômenos de microescala

Puderam ser identificados fenômenos de microescala nos dados da estação automática de Turiaçu (MA), pois esta série possui frequência amostral adequada.

Em quase todos os gráficos de espectro da estação automática do INMET puderam ser observados picos de energia associados ao período de 24 e 12 horas, diurno e semi-diurno, respectivamente.

Para a variável temperatura, o pico de energia no período diurno é relacionado com o ciclo de aquecimento e resfriamento da terra induzido pelo sol. Na variável precipitação, embora o ciclo com período anual seja o mais significativo, o ciclo diurno também apresenta um pico de energia bem definido, sendo, provavelmente, associado ao fato de que as chuvas acontecem em horários do dia bem definidos na região, e está relacionado também com o ciclo de temperatura do ar. Já o pico diurno na análise espectral da umidade relativa do ar pode ser explicado pela natureza desta variável – visto que o cálculo da umidade relativa leva em conta a temperatura do ar. Na série de vento, também pode ser observado um pico de energia no período de 24 horas, relacionado provavelmente ao efeito de brisa terrestre e marinha.

Além do efeito mais óbvio e descrito no parágrafo acima do ciclo diurno de temperatura do ar e suas implicações nas outras variáveis (vento, precipitação, umidade relativa), o pico de energia associado ao ciclo semidiurno (12 horas), pode ser explicado pelo efeito da maré atmosférica. Este efeito da maré atmosférica pode ser esperado nos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

II.5.1.1.4 Identificação de sazonalidade

Ao longo deste estudo, os parâmetros meteorológicos foram analisados através de médias mensais e mapas médios para verão, inverno, primavera e outono - separação sazonal astronômica, determinada pela data dos equinócios e solstícios. Porém, pode-se observar que para precipitação, umidade relativa, evaporação, insolação e ventos as estações podem ser agrupadas em “macro-estações”. Desta forma, as estações de verão e outono e as de inverno e primavera podem ser agrupadas por apresentarem padrões similares.

Esse ciclo tem como principal forçante a migração oscilatória da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Como foi exemplificado na Figura II.5.1.1.1-3, a ZCIT, em seu movimento oscilatório anual, passa sobre a região da Bacia Pará-Maranhão, influenciando fortemente a meteorologia local.

A 'macro-estação' verão-outono é caracterizada pela presença da ZCIT sobre a região, deixando o litoral exposto aos ventos do quadrante nordeste e causando maiores taxas de precipitação (319 mm/mês), umidade relativa (87%) e maior nebulosidade levando a baixa insolação (142 h/mês) e evaporação (66 mm). Esta estação é denominada comumente por período chuvoso.

A 'macro-estação' inverno-primavera por sua vez é caracterizada pelo afastamento da ZCIT expondo a região aos ventos predominantemente do quadrante Leste e pela entrada do sistema de alta pressão subtropical (Muehe, 2006) o que leva a uma maior insolação (242 horas/mês) e taxas de evaporação (102 mm/mes) e menor precipitação (62 mm/mês) e umidade relativa (82%), sendo denominada comumente de período seco.

Deve ser levado em consideração que a sazonalidade do regime de ventos é a mais importante a ser considerada nas modelagens hidrodinâmica e de dispersão de óleo. A sazonalidade do regime de ventos na região é marcada pela maior presença de ventos de NE entre dezembro e maio, e de ventos de E e ESSE entre junho e novembro.

Oscilações interanuais, como a ocorrência de El-Niño, podem perturbar essas características climatológicas sazonais.

II.5.1.1.5 Identificação de fenômenos meteorológicos extremos

Neste item buscou-se identificar a ocorrência de eventos extremos a partir das séries de dados observados na estação meteorológica do INMET de Turiaçu. A definição utilizada para evento extremo é a de evento raro. Desta forma, eventos extremos são aqueles que estão a uma distância da média de mais ou de menos duas vezes o desvio padrão. Esta definição segue conforme as recentes orientações do IBAMA, vide Termos de Referência emitidos recentemente (p.ex. Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA N°36/14).

Esta definição de evento extremo não é adequada para análise de algumas variáveis ambientais como a precipitação. Devido a grande quantidade de períodos de estiagem, esta análise estatística tenderia a subestimar eventos extremos de precipitação. Assim, de forma complementar, também foram retirados os percentis 99,99% e 0,01% como limites superiores e inferiores para consideração de eventos extremos.

Apresenta-se a seguir, na Tabela II.5.1.1.2.G-1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, uma síntese dos eventos extremos registrados. Para cada variável, podem-se observar os limiares positivos e negativos (duas vezes acima e abaixo da média, respectivamente), a frequência de ocorrência de ambos na série e os meses onde esses eventos extremos ocorreram mais vezes dentro das séries analisadas.

Tabela II.5.1.1.2.G-2: Tabela síntese de eventos extremos. Limiares superiores e inferiores, frequência de ocorrência acima e abaixo dos limiares e meses críticos para ocorrência.

Variável	Limiares		Frequência de ocorrência		Meses críticos	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Temperatura(°C)	31,5	22,4	3,4	0,15	Outubro	Fevereiro
Precipitação(mm/h)	3,2	-	1,6	-	Março	-
Umidade Relativa(%)	-	56,6	-	3,78	-	Outubro
Pressão Atmosférica(hPa)	1009,7	1002,6	2,3	1,9	Julho	Novembro
Ventos(m/s)	5,5	-	3,6	-	Janeiro	-

Tabela 3: Tabela síntese de eventos extremos na estação automática de Turiaçu (MA). Limiares superiores e inferiores e meses críticos para ocorrência. Os limites considerados para os limiares foram obtidos a partir dos percentis 0,01% e 99,99%. Fonte: INMET.

Variável	Mínimo	Limiares		Máximo	Meses críticos	
		Inferior	Superior		Inferior	Superior
Temperatura (°C)	21,80	21,85	34,30	34,50	Abril	Fevereiro
Precipitação (mm/h)	-	-	48,43	54,40	-	Fevereiro
Umidade Relativa (%)	39	41,28	97	97	Outubro	-
Pressão Atmosférica (hPa)	999,10	999,33	1012	1012	Novembro	Julho
Ventos (m/s)	-	-	8,14	8,50	-	Fevereiro

Ressalta-se que os ventos da estação automática de Turiçu (INMET) parecem subestimados quando comparados com os dados do NCEP para a região do bloco. Os dados do NCEP não possuem características adequadas para esse tipo de análise, contudo, ventos de até 20m/s podem ser esperados na região dos blocos.

II.5.1.1.6 Considerações finais

Foram analisados dados climatológicos, instantâneos, de reanálise e informações de fontes bibliográficas com o objetivo de retratar a meteorologia da região de interesse.

A região da Pará-Maranhão apresenta um clima quente e úmido, com marcada sazonalidade. A migração da Zona de Convergência Subtropical exerce grande influência em todas as componentes meteorológicas da região.

Nos meses de verão (janeiro a março) e outono (abril a junho), ao se deslocar para sul sobre a região de interesse, os ventos atuantes são os alísios de nordeste com uma intensidade média de 6m/s no verão e 5 m/s no outono, a precipitação média aumenta, chegando a quase 500mm p/ mês em abril, o ar fica mais úmido, com médias de umidade próximas a 90% em abril e maio e a insolação diminui devido a maior cobertura de nuvens.

Já nos meses de inverno e primavera, de julho a dezembro, a ZCIT se desloca para norte do bloco, deixando a região sob a influência dos ventos alísios de leste e leste/sudeste com intensidade média maior que 6m/s. Nesta estação a precipitação é baixa, atingindo valores mínimos, próximos à zero entre setembro e novembro, a umidade relativa é menor que no primeiro semestre do ano e a insolação é maior.

Foram observados fenômenos com período diurno e semidiurno, associados ao ciclo de aquecimento solar diário e à maré atmosférica (sinal semidiurno). A pressão atmosférica apresenta maior amplitude de variação diária do que anual. Ventos de até 20m/s foram observados na região dos blocos e o mês com maior ocorrência de ventos classificados como extremos (acima da média mais dois desvios padrão) foi janeiro.

II.5.1.2 Oceanografia

Este capítulo aborda os aspectos oceanográficos mais relevantes da Bacia Pará-Maranhão, mais precisamente, nas proximidades dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

Para tanto, foram pesquisadas informações secundárias de bases regionais e globais, e analisados através de procedimentos estatísticos, de forma a atender às exigências do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA).

Os parâmetros abordados no estudo são: temperatura, salinidade e densidade da água do mar, massas d'água, regime de correntes, regime de ondas e marés.

II.5.1.2.1. Caracterização dos Fenômenos de Macroescala

A região da Bacia Pará-Maranhão sofre a influência direta da Corrente Norte do Brasil (CNB). Essa corrente é formada a partir da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul-Equatorial (CSE), que flui para oeste em direção ao cabo de São Roque (ponto mais a leste da América do Sul), dividindo-se em duas partes: a Corrente Norte do Brasil (CNB) e a Corrente do Brasil (CB) (STRAMMA, 1991).

Na Figura II.5.1.2.1-1 são apresentados mapas esquemáticos das principais correntes no Atlântico Tropical em superfície, entre 0 e 100 metros, e em subsuperfície (100 e 500 metros). Esses mapas foram adaptados de Stramma & Schott (1999), que fizeram uma descrição da circulação do Atlântico tropical a partir de revisão bibliográfica e observações hidrográficas.

A circulação superficial do Atlântico Tropical, segundo PICKARD & EMERY (1982), é formada pelas seguintes correntes:

- Corrente Norte Equatorial (CNE), fluindo para Oeste, a norte de 10° N, com velocidade média de 10-15 cm/s;
- Contra-corrente Norte Equatorial (CCNE), fluindo para Leste entre 8° N e 3° N, com velocidades médias de ~40 cm/s;
- Corrente Sul Equatorial (CSE) fluindo para Oeste a sul de 3° N, com velocidade média ente 10 e 20 cm/s.

Atualmente, a CSE é subdividida em 3 ramos distintos, por apresentar uma estrutura muito complexa: um mais ao norte (Corrente Sul Equatorial ramo Norte - CSEN), um central (Corrente Sul Equatorial ramo Central - CESC) e um

ao sul (Corrente Sul Equatorial ramo Sul - CSES) (STRAMMA & SCHOTT, 1999). Esses ramos são separados, respectivamente, pela Corrente Sul Equatorial Subsuperficial (CSESS) que flui entre 3° S e 5° S e pela Contra-corrente Sul Equatorial (CCSE) que flui para Leste entre 7° S e 9° S (MENEZES, 1999).

Próximo à costa do Brasil, a sul de 10° S, a CSES ramifica-se formando a Corrente do Brasil (CB) que flui para Sul e a Corrente Norte do Brasil (CNB), fluindo para norte. Em 2° N, a CNB une-se à CSEN, fluindo próximo à costa na direção Noroeste (STRAMMA, 1991). Devido à complexa estrutura da CSE no lado Oeste da bacia atlântica, a localização exata da origem da CNB não é bem definida (SILVEIRA et al., 1994 apud MENEZES, 1999).

Na segunda metade do ano, tipicamente de julho a setembro, a CNB divide-se próximo a 8° N e 50° W: uma parte continua para Norte próximo à costa, primeiro como Corrente das Guianas (CGG) e depois como Corrente do Caribe (CC); outra parte inflete-se para fora da costa, alimentando a CCNE (SILVEIRA *et al.*, 1994 apud MENEZES, 1999). Este processo é conhecido como a retroflexão da CNB. Segundo JOHNS *et al.* (1990 apud MENEZES, 1999), a separação da CNB é um processo fortemente estratificado, isto é, a camada superficial da CNB alimenta a CCNE; a camada da termoclina alimenta a Corrente Equatorial Subsuperficial (CESS); e a camada sub-termoclina, que é permanentemente retro-refletida entre 3° N e 5° N, alimenta a Corrente Norte Equatorial Subsuperficial (CNESS). A CESS flui para Leste, entre 50 e 300 metros de profundidade.

Na **Figura II.5.1.2.1-1-A** e na **Figura II.5.1.2.1-2-B** são apresentadas diversas siglas para ilustrar as correntes que compõem a circulação do oceano atlântico tropical. As correntes referentes a cada sigla são apresentadas em seguida, na **Tabela II.5.1.2.1-1**.

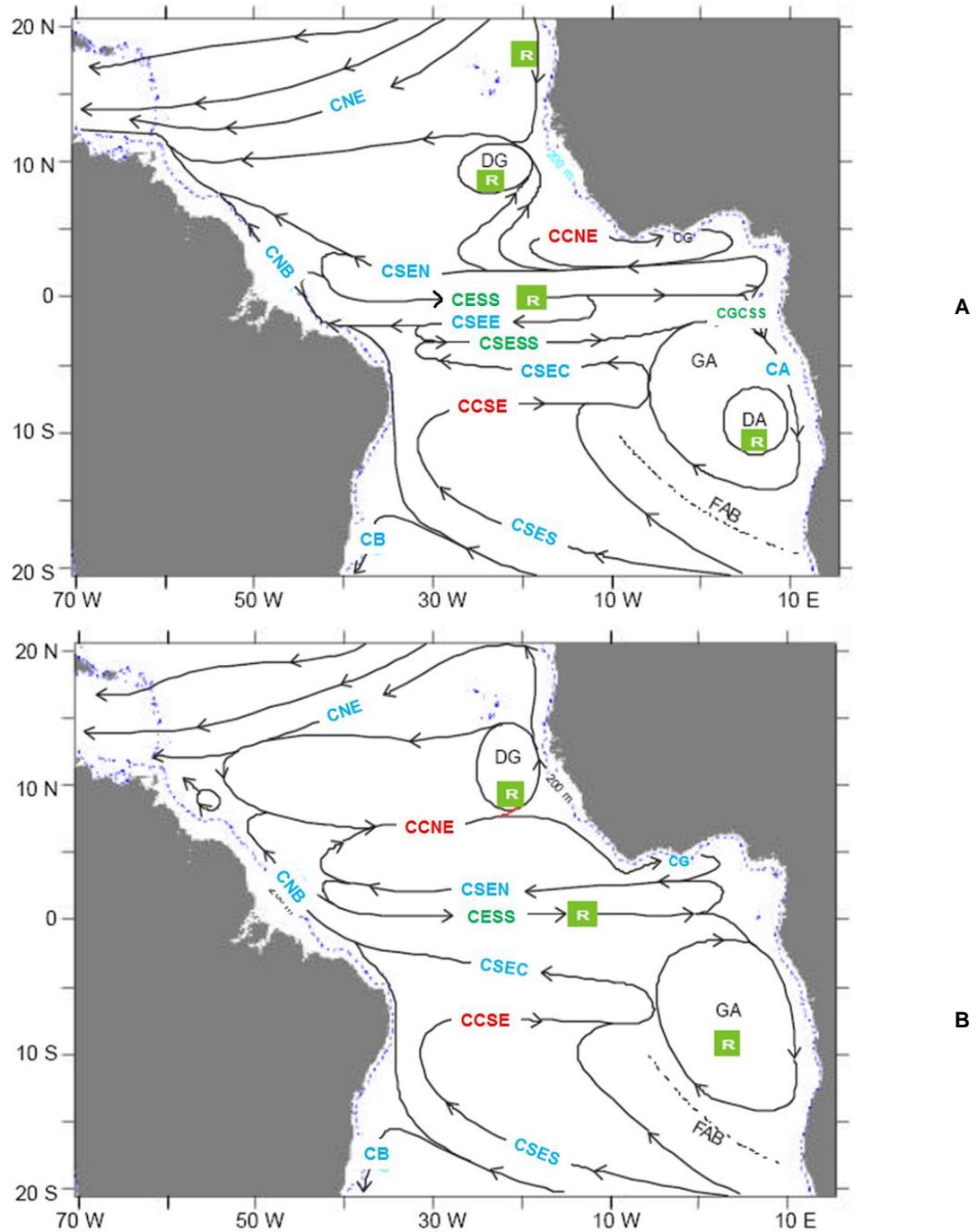


Figura II.5.1.2.1-1: Distribuição esquemática das principais correntes encontradas na camada superficial (entre 0 e 100 m) do Atlântico Tropical: (a) situação típica de outono/HS (março, abril e maio) e (b) situação típica de primavera/HS (setembro, outubro e novembro). Os pontos azuis representam a batimétrica de 200 m. Fonte: Menezes (1999).

Tabela II.5.1.2.1-1- Correntes que compõem a circulação superficial do oceano Atlântico.

Sigla	Corrente	Sentido de Fluxo	Latitude
CA	Corrente de Angola	S	0-10°S
CB	Corrente do Brasil	SSW	10°S – 30°S
CCNE	Contra-corrente Norte Equatorial	E	8°N
CCSE	Contra-corrente Sul Equatorial	E	5°S – 10°S
CESS	Corrente Equatorial Subsuperficial	E	0 – 5°N
CG	Corrente da Guiné	E	5°N
CGCSS	Corrente do Gabão-Congo Subsuperficial	S	0 – 5°S
CNB	Corrente Norte do Brasil	NW	5°S – 8°N
CNE	Corrente Norte Equatorial	W	10°N – 20°N
CSEC	Corrente Sul Equatorial ramo equatorial	W	0°
CSEN	Corrente Sul Equatorial ramo norte	W	2°N
CSES	Corrente Sul Equatorial ramo sul	W	15°S
CSESS	Corrente Sul Equatorial Subsuperficial	E	2°S
DA	Domo de Angola	Giro ciclônico	10°S
DG	Domo da Guiné	Giro ciclônico	10°N
FAB	Frente Angola-Benguela	WNW	15°S
GA	Giro da Guiné	Giro ciclônico	0 - 15°S
R	Áreas de provável ressurgência	-	-

Na região da Bacia do Ceará, além da influência da circulação da CNB descrita anteriormente, ainda existe a influência direta da maré, sendo esta, talvez, o principal mecanismo forçante para as correntes costeiras ali presentes. Essa região possui grandes amplitudes de maré. Tal fato é causado pela distribuição da variação da maré global no oceano, que naquela região possui grandes oscilações, em contraste com regiões influenciadas por pontos anfidrômicos, como as costas sudeste e sul do Brasil.

A **Figura II.5.1.2.1-2** mostra a distribuição das amplitudes e fases da principal componente de maré (M_2) no Oceano Atlântico. Pode-se notar um núcleo de grandes amplitudes na região da Bacia do Ceará e adjacências.

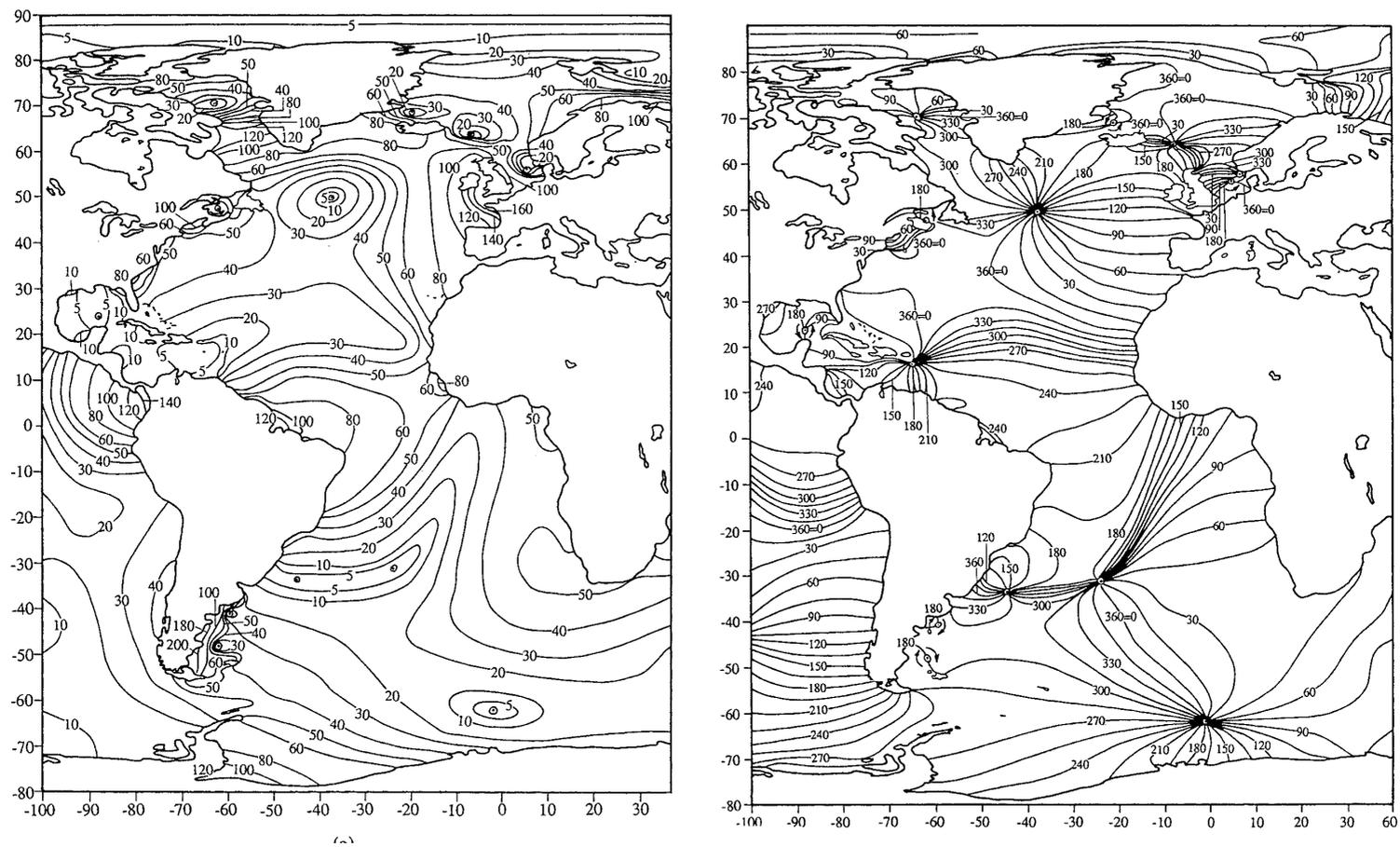


Figura II.5.1.2.1-2: Distribuição das amplitudes (cm) e fases (graus) da componente M2 da maré no Oceano Atlântico. Fonte: Schwerdski (1979).

II.5.1.2.2. Caracterização dos fenômenos de mesoescala

A abordagem adotada na caracterização dos fenômenos de mesoescala apresentada neste estudo parte de uma caracterização regional da Bacia Pará-Maranhão e, sempre que possível, apresenta as características particulares das proximidades dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Para tanto, foram utilizados dados de diversas fontes, citadas a seguir, além de referências bibliográficas sobre a oceanografia local:

- Dados de temperatura e salinidade disponíveis no *National Oceanographic Data Center* (NODC).
 - Perfis de temperatura e salinidade fornecidos pela QGEP para elaboração deste estudo. Os dados foram coletados em campanha de *baseline* com CTD, em 8 estações na região dos blocos, para o período entre os dias 7 e 14 de maio de 2015.
 - Dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*).
 - Dados de onda provenientes de modelagem numérica fornecidos pelo projeto ERA-Interim.
 - 1 ano de dados de correntes provenientes da Análise Global do produto MyOcean, e 1 ano de dados do modelo *Regional Ocean Modeling System* (ROMS), resultantes de uma modelagem regional elaborada pela PROOCEANO. A descrição completa dessa base é encontrada no item 2 do Relatório de Modelagem Hidrodinâmica e de Dispersão de Óleo apresentado neste estudo.
 - Dados de derivadores do *Global Drifter Program* (GDP).
 - Dados de corrente fornecidos pela QGEP para elaboração deste estudo.
 - obtidos do programa *World Circulation Experiment* (WOCE). Os dados foram coletados por um ADCP na região da plataforma continental e talude da Bacia Pará-Maranhão entre os dias 7 e 14 de maio de 2015.
 - Dados de corrente fornecidos pela QGEP para a elaboração deste estudo. Os dados foram coletados em campanha de *baseline* por um ADCP na região da plataforma continental e talude da Bacia Pará-Maranhão entre os dias 6 e 14 de maio de 2015.
 - Dados do modelo global de marés TPX07 contendo a fase e a amplitude das principais constituintes de maré.
 - Dados da estação maregráfica da FEMAR da Ilha dos Irmãos.
-

A **Tabela II.5.1.2.2-1** apresenta um resumo com as fontes de dados utilizadas no estudo, e as suas respectivas localizações.

Tabela II.5.1.2.2-1: Localização das fontes de dados utilizadas.

Fontes	Coordenadas		Parâmetros	Período
	latitude	longitude		
NODC	0,625°N	44,875°W	T, S e D	1773-2013
NODC (Área)	3°S – 3°N	41,5°W – 49°W	T, S, D	1773-2013
OSTIA (área)	3°S – 3°N	42°W – 49°W	TSM	01/01/2013 31/12/2013
ERA Interim	0,75°N	44,25°W	Ondas	01/01/2004 - 31/12/2013
CAMPANHA DE <i>BASELINE</i> (QGEP)	0,75°S – 0,75°N	42°W - 48°W	T, S, Correntes	07/05/2015 – 14/05/2015
FEMAR	1,07°S	45,90°W	Maré	-
TPX07	3°S – 3°N	48°W – 42°W	Maré	-
MyOcean	3°S – 3°N	50°W – 41,5°W	Correntes	01/01/2013 31/12/2013
GDP	3°S – 3°N	49°W – 42°W	Correntes	1997 – 2013
ROMS (talude)	0,50°N	44,88°W	Correntes	01/01/2013 31/12/2013
ROMS (bacia)	1,31°N	44,31°W	Correntes	01/01/2013 31/12/2013
ROMS (plataforma)	0,44°S	45,44°W	Correntes	01/01/2013 31/12/2013

Legenda: T = Temperatura; S = Salinidade; D = Densidade.

II.5.1.2.2.A. *Temperatura, salinidade e densidade*

Para avaliar a variação vertical de temperatura, salinidade e densidade, na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 foram utilizados os dados da climatologia sazonal WOA13 (*World Ocean Atlas 13*) do NODC e os dados obtidos durante a campanha de baseline realizada na região dos blocos.

Os campos que compõem a base de dados da climatologia WOA13 consistem da análise objetiva dos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos, em navios de pesquisa e de oportunidade. Esta análise objetiva utilizar dados irregularmente espaçados, gerando uma grade global com resolução espacial de 1/4°. Estes campos são tridimensionais e os dados são interpolados em 102 profundidades padrão desde a superfície até 5.500 m de profundidade. Temporalmente, esta climatologia consiste na média realizada para o período compreendido entre os anos de 1773 e 2013. Os dados da climatologia WOA13 podem ser

obtidos através da sua página na internet (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA13/>). Maiores informações sobre a bases climatológicas do WOA13 podem ser obtidas em Locarnini *et al.* (2013) and Zweng *et al.* (2013).

Os dados utilizados foram extraídos de um ponto de grade nas proximidades dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, localizado em 0,625°S e 44,875°W, conforme apresentado na **Figura II.5.1.2.2.A-1**. Os perfis de temperatura, salinidade e densidade para as quatro estações do ano são apresentados da **Figura II.5.1.2.2.A-2** a **Figura II.5.1.2.2.A-4**. Nestes perfis, consideram-se os seguintes meses para cada estação: verão (janeiro março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro), e primavera (outubro a dezembro).

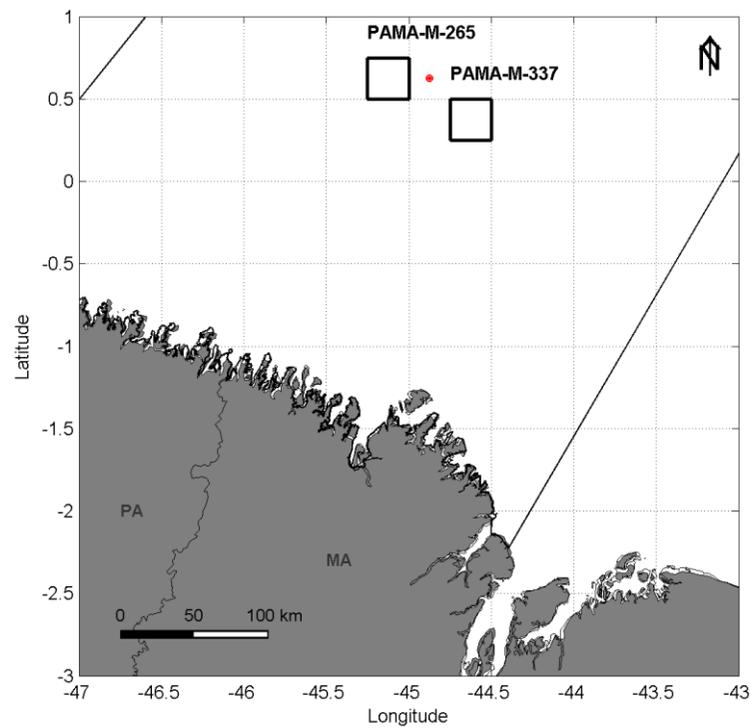


Figura II.5.1.2.2.A-1: Localização do ponto de grade do WOA13 (ponto vermelho) de onde foram retirados os dados de temperatura, salinidade e densidade.

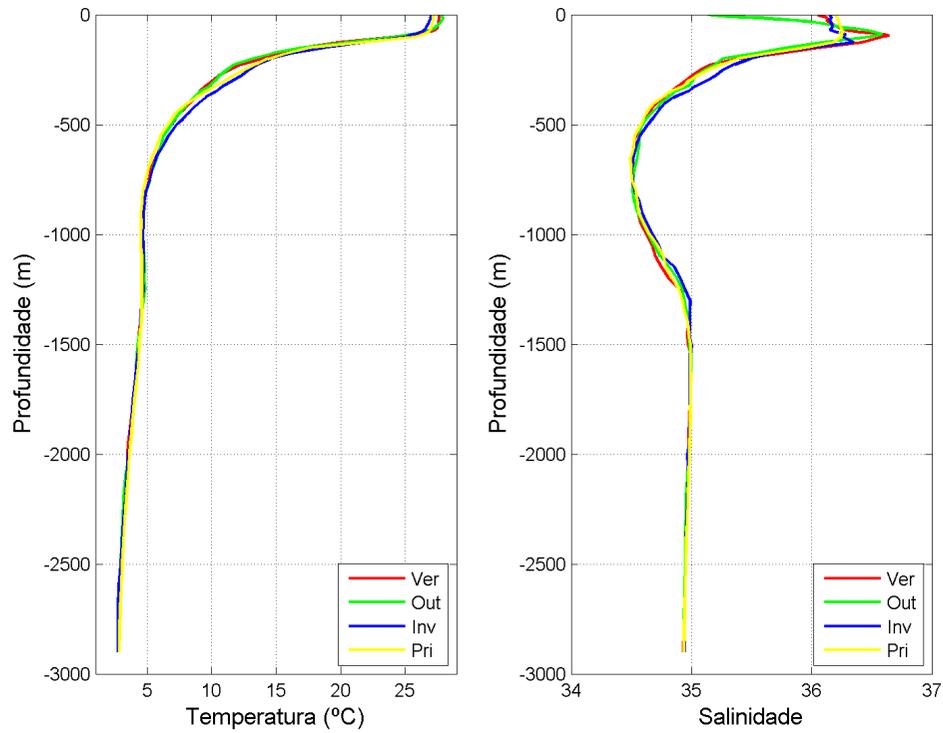


Figura II.5.1.2.2.A-2: Perfis de temperatura (esquerda) e salinidade (direita) para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.

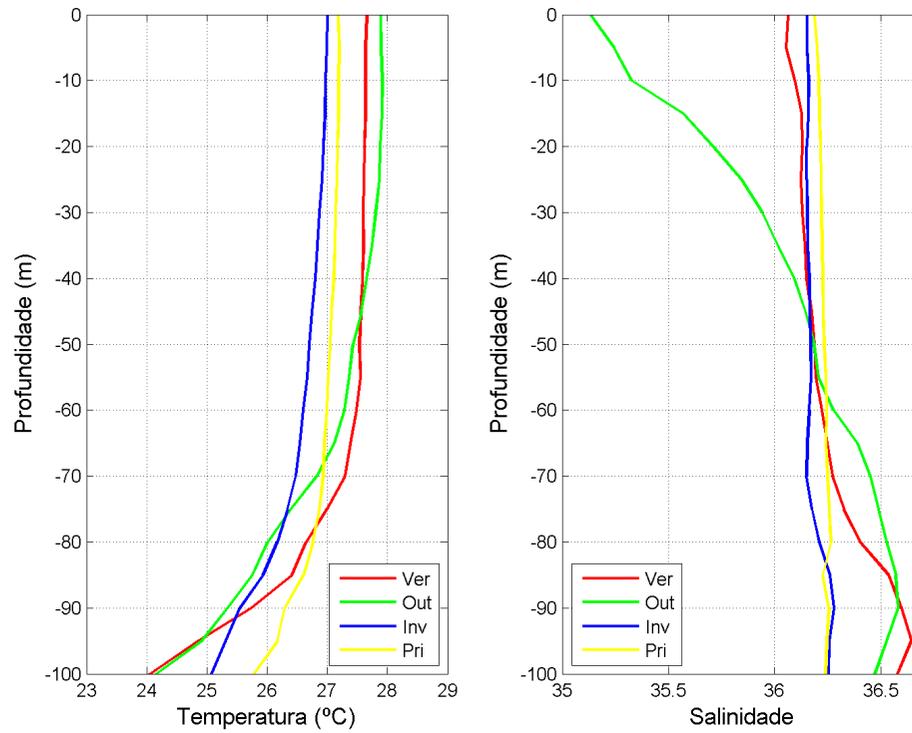


Figura II.5.1.2.2.A-3: Detalhamento para os primeiros 100 metros de coluna d'água dos perfis de temperatura (esquerda) e salinidade (direita) para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.

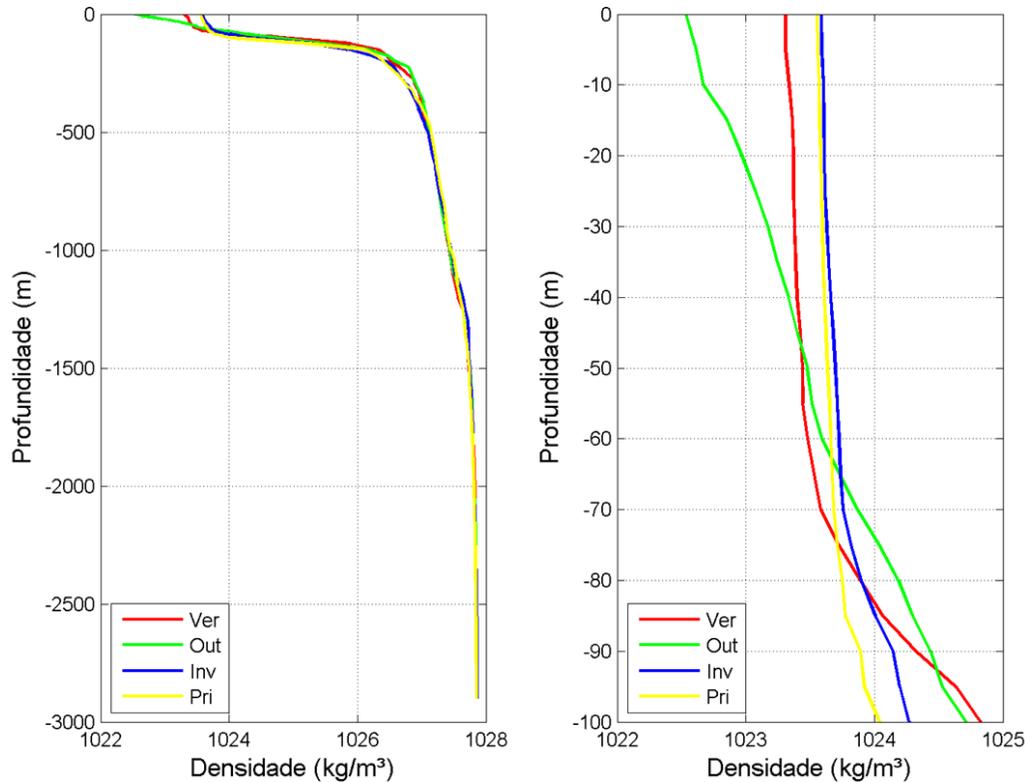


Figura II.5.1.2.2.A-4: Perfis de densidade (esquerda) para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. A figura da direita apresenta o detalhamento para os 100 primeiros metros da coluna d'água. Fonte: WOA13.

Ao analisar os perfis apresentados acima, verifica-se que a camada de mistura na região possui aproximadamente 80m de espessura. Logo abaixo desta camada, até aproximadamente 800m de profundidade, é verificado um acentuado gradiente de temperatura, salinidade e densidade, caracterizando a termoclina, haloclina e pycnoclina da região.

A sazonalidade é evidenciada nos primeiros 100 m, na camada de mistura. Nesta porção superficial, as águas são mais quentes e menos salinas no período de verão e outono. Este padrão pode ser explicado pelo fato de que a região é influenciada diretamente pela CNB, que é originada em regiões mais ao sul do Atlântico Sul e que se apresenta mais aquecida nesta época. A salinidade mais baixa (principalmente no outono) é decorrente, provavelmente, da maior pluviosidade verificada na região entre março e maio.

Os perfis de densidade apresentam padrão inverso ao de temperatura, pois são influenciados de forma mais efetiva por este parâmetro, uma vez que as variações de salinidade no oceano são muito menores.

Na campanha de baseline realizada na região dos blocos, as perfilagens de CTD foram realizadas em toda a coluna d'água, da superfície até próximo ao fundo, nas 8 estações previstas no projeto de caracterização, com quatro estações primeiras localizadas dentro do bloco PAMA-M-265 e quatro estações localizadas no PAMA-M-337, conforme ilustrado na **Figura II.5.1.2.2.A-5**. Estes dados foram coletados entre os dias 7 e 13 de maio de 2015.

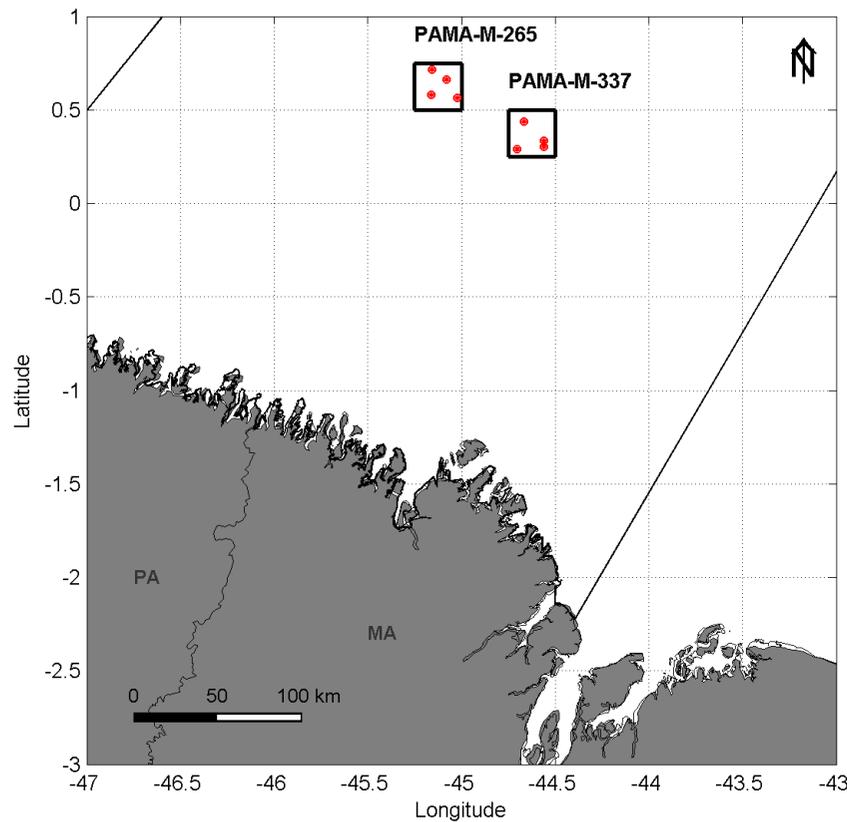


Figura II.5.1.2.2.A-5: Localização das estações de coleta de CTD.

Da **Figura II.5.1.2.2.A-6** a **Figura II.5.1.2.2.A-11** são apresentados os perfis de temperatura, salinidade e densidade coletadas na área do PAMA-M-265 e PAMA-M-337, além de seus respectivos detalhamentos para os primeiros 150 m da coluna d'água. Para a eliminação de dados espúrios, os dados foram agrupados em camadas de 10 m, e valores abaixo e acima da média ± 2 vezes o desvio padrão foram eliminados.

Como foram coletados em um curto intervalo de tempo (menos de um mês) e em uma área restrita, os perfis das diferentes estações apresentam muita similaridade entre si. Nos perfis de temperatura nota-se uma maior diferença, nos primeiros 150 m da coluna d'água, com a camada de mistura mais profunda na região do PAMA-M-265 (~110 m de profundidade) do que na do PAMA-M-337 (~70 m de profundidade).

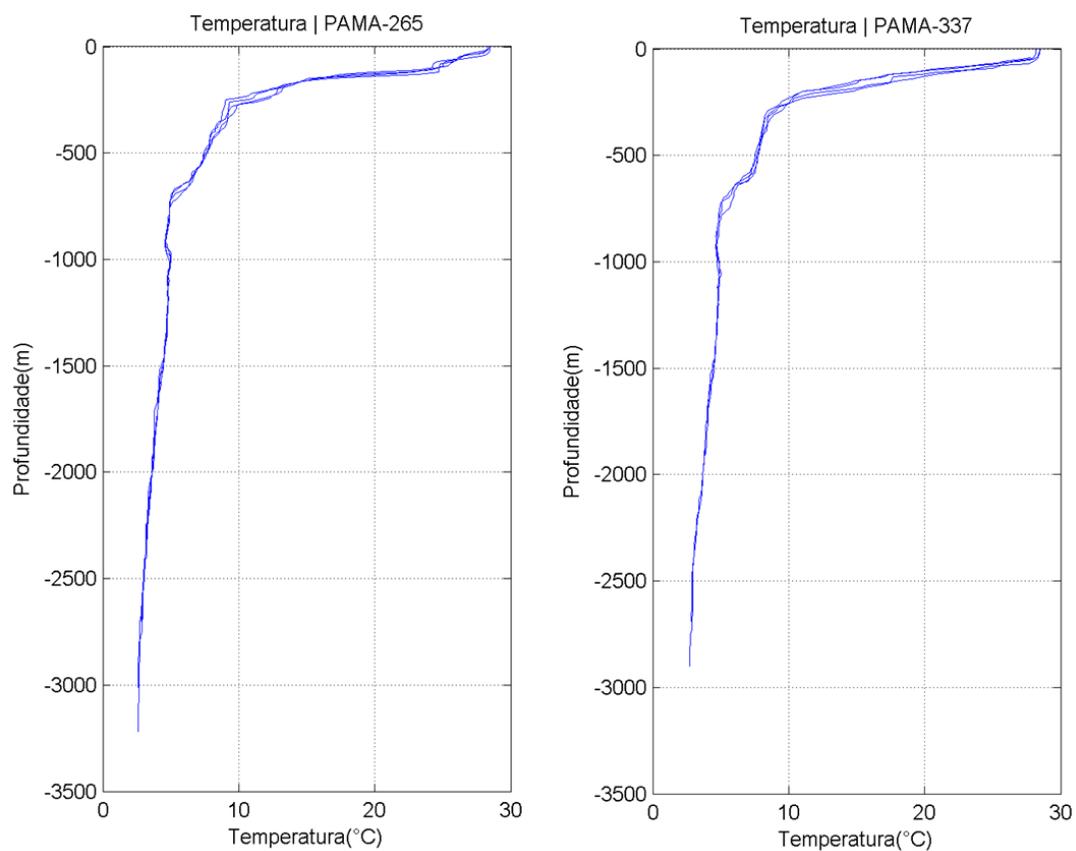


Figura II.5.1.2.2.A-6: Perfis de temperatura para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das oito estações realizadas na região.

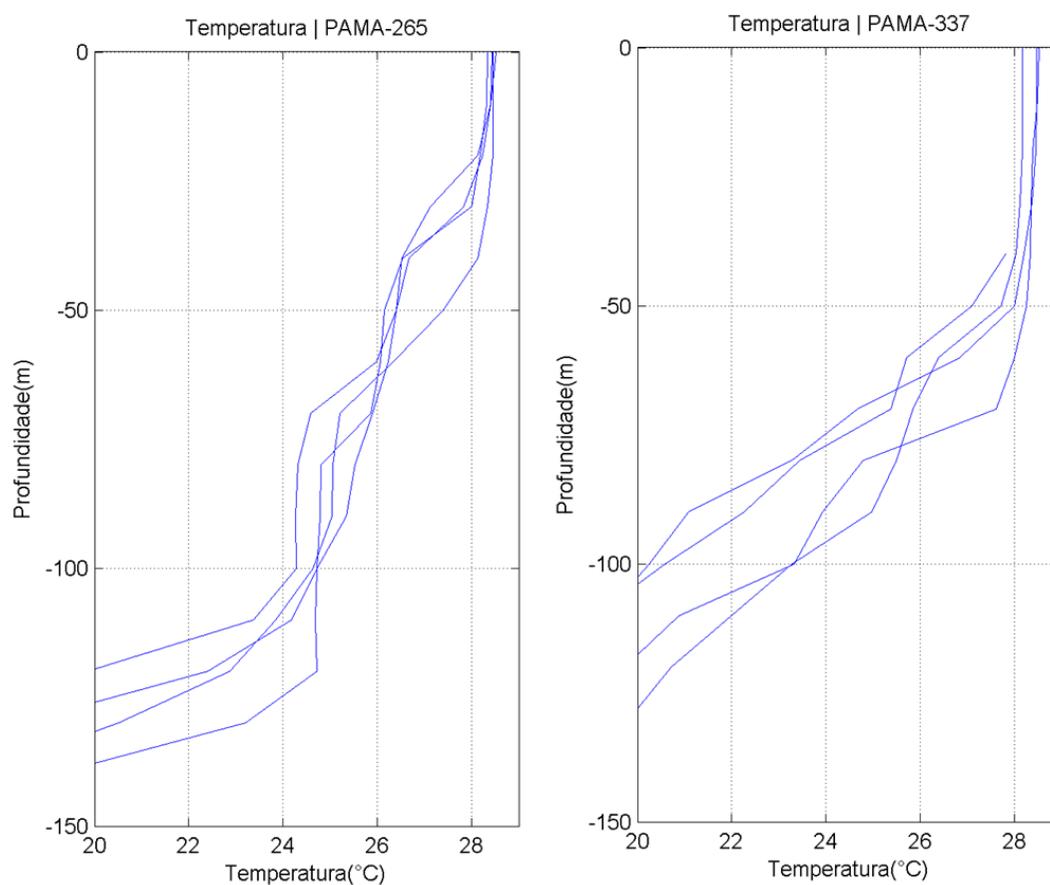


Figura II.5.1.2.2.A-7: Perfis de temperatura para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das 8 estações realizadas na região com um zoom nos primeiros 150 metros da coluna d'água.

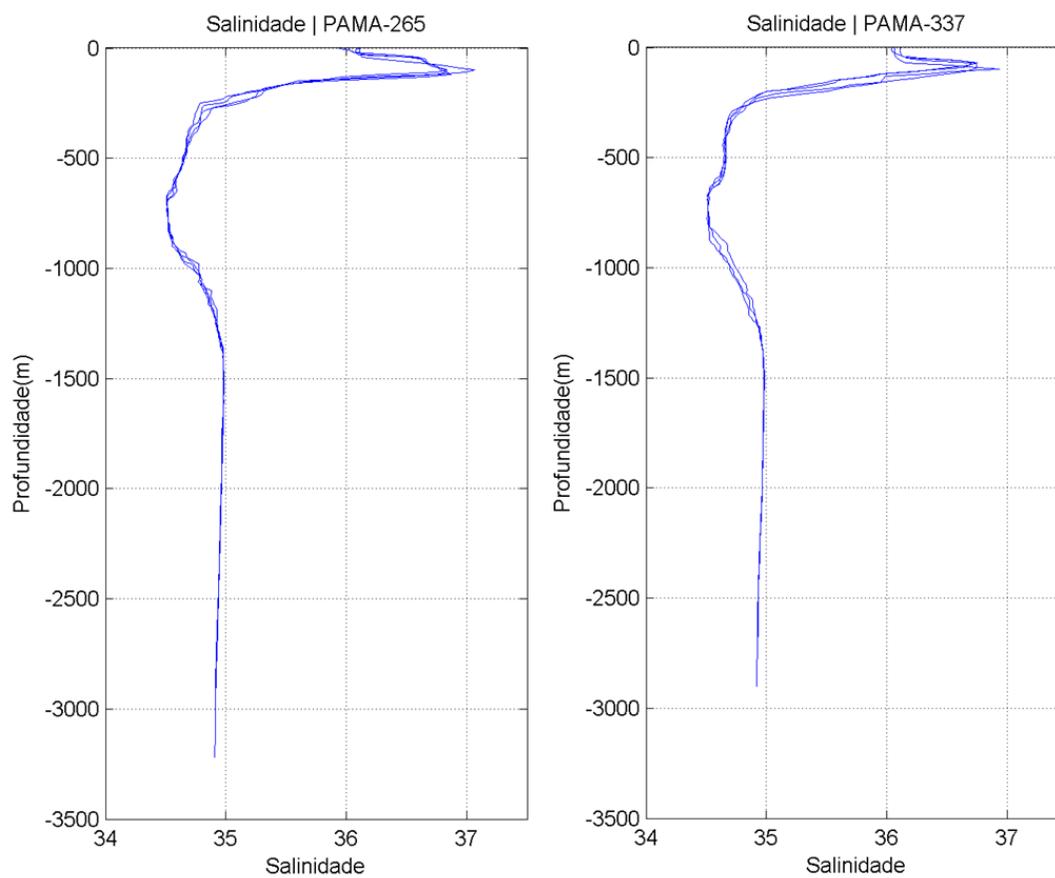


Figura II.5.1.2.2.A-8: Perfis de salinidade para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das oito estações realizadas na região.

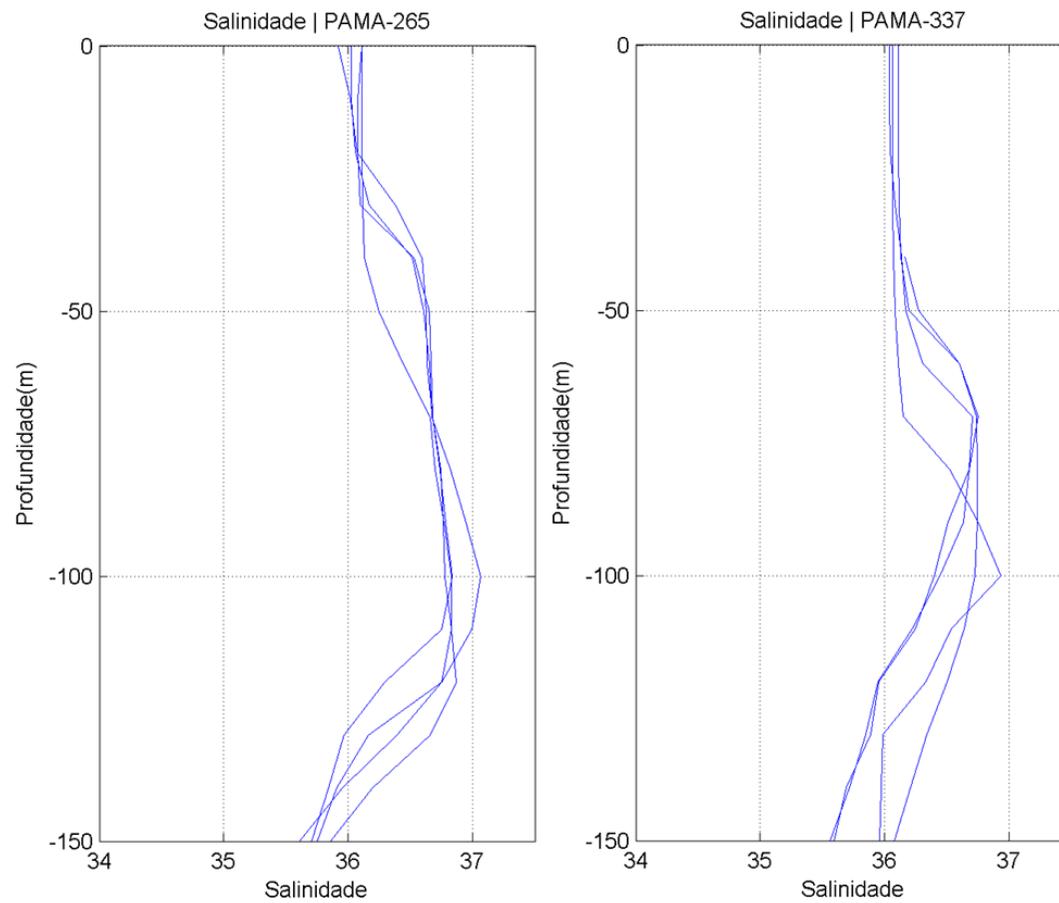


Figura II.5.1.2.2.A-9: Perfis de salinidade para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das 8 estações realizadas na região com um zoom nos primeiros 150 metros da coluna d'água.

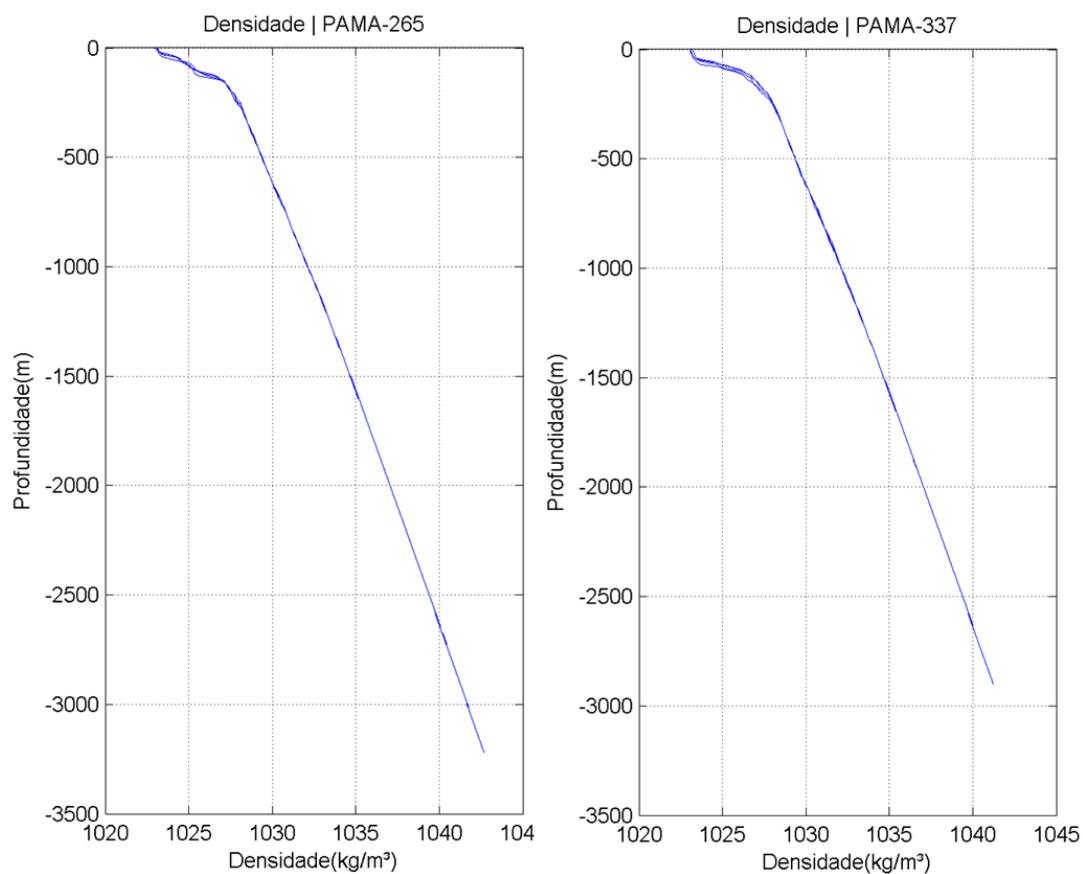


Figura II.5.1.2.2.A-10: Perfis de densidade para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das oito estações realizadas na região.

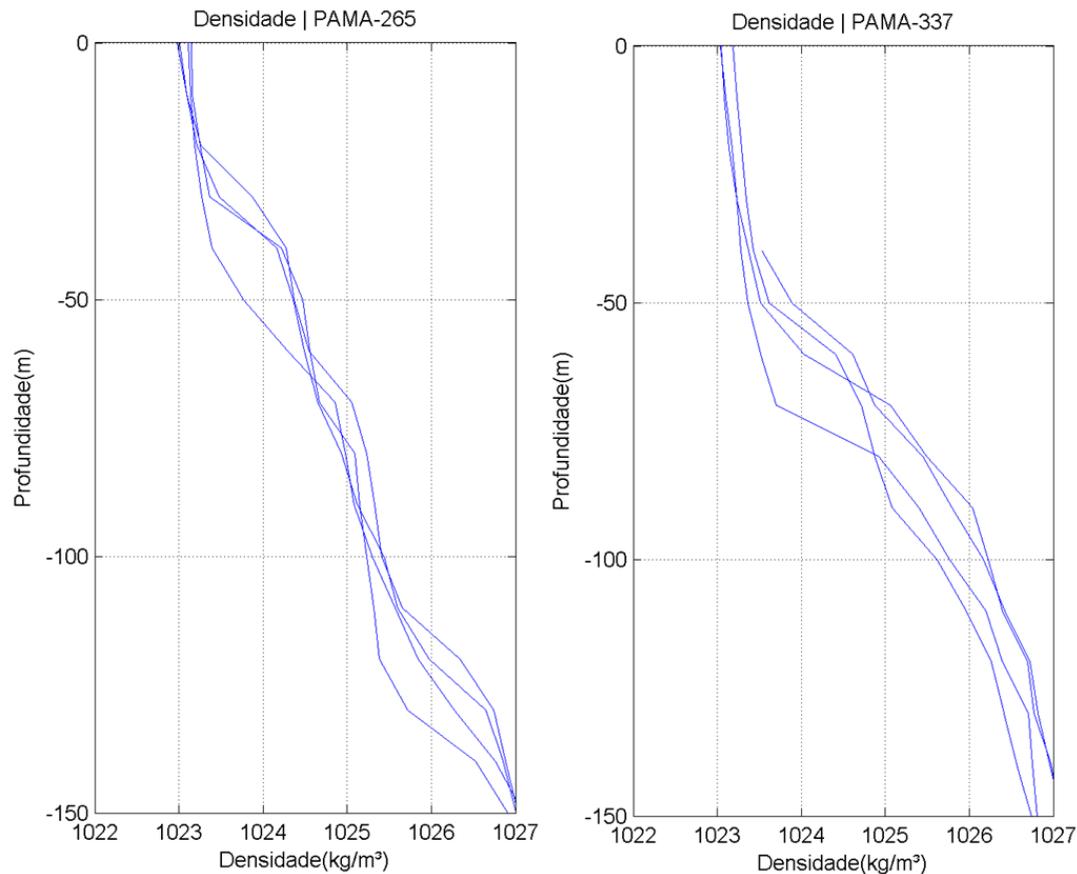


Figura II.5.1.2.2.A-11: Perfis de densidade para a região do PAMA-M-265 (esquerda) e PAMA-M-337 (direita), obtidos das 8 estações realizadas na região com um zoom nos primeiros 150 metros da coluna d'água.

Para a análise da variação espacial e sazonal dessas variáveis na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, são apresentados mapas de temperatura (**Figura II.5.1.2.2.A-12** à **Figura II.5.1.2.2.A-16**), salinidade (**Figura II.5.1.2.2.A-17** à **Figura II.5.1.2.2.A-21**) e densidade (**Figura II.5.1.2.2.A-22** à **Figura II.5.1.2.2.A-26**), para as quatro estações do ano, nas profundidades de 0, 100, 500, 1000 e 2000 m. Tais figuras foram geradas a partir dos dados do WOA13, armazenados no NODC. A ausência de dados na região do bloco, mesmo em algumas profundidades compreendidas por este é decorrente, da resolução dos dados do WOA13, e da variação abrupta de profundidades na área do talude continental. Entretanto, deve-se ressaltar que os dados apresentados são suficientes para a caracterização da Bacia Pará-Maranhão, e entorno dos blocos PAMA-M-265 Ee PAMA-M-337.

Assim como demonstrado pelos perfis verticais, nota-se que a sazonalidade é bastante presente nos primeiros 100 m da coluna d'água. Em superfície, no período de verão e outono, são observadas águas mais quentes e menos

salinas. Destaca-se a presença da pluma de baixa salinidade a oeste da Bacia Pará-Maranhão, formada pela descarga do Rio Amazonas.

Nos mapas de temperatura, salinidade e densidade a 100 m de profundidade é ressaltada a presença de águas mais frias e densas no período de verão. Isto ocorre devido à camada de mistura ser mais rasa neste período, fazendo com que em 100 m de profundidade, sejam verificadas águas da porção superior da termoclina.

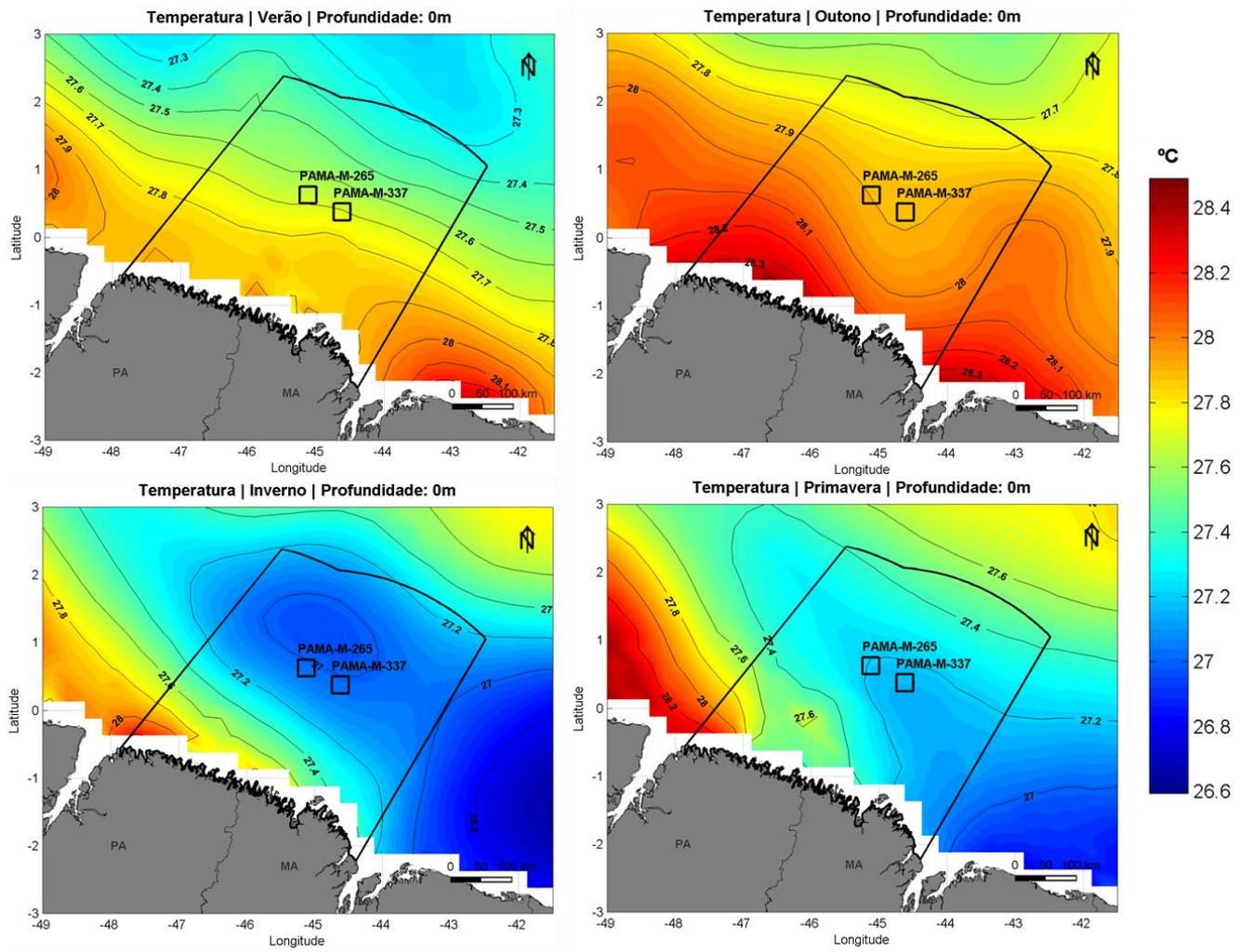


Figura II.5.1.2.2.A-12: Seção horizontal de temperatura em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

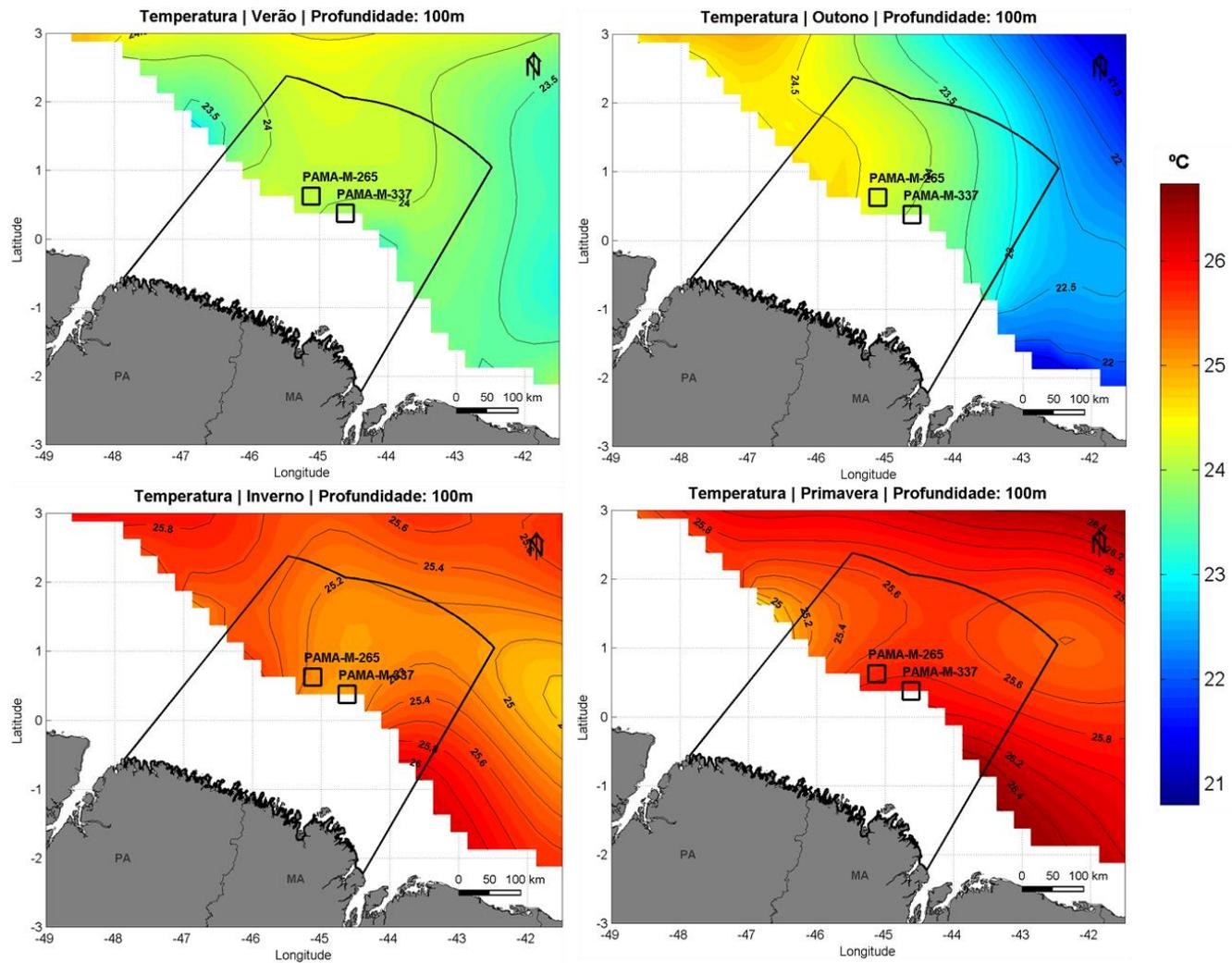


Figura II.5.1.2.2.A-13: Seção horizontal de temperatura em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

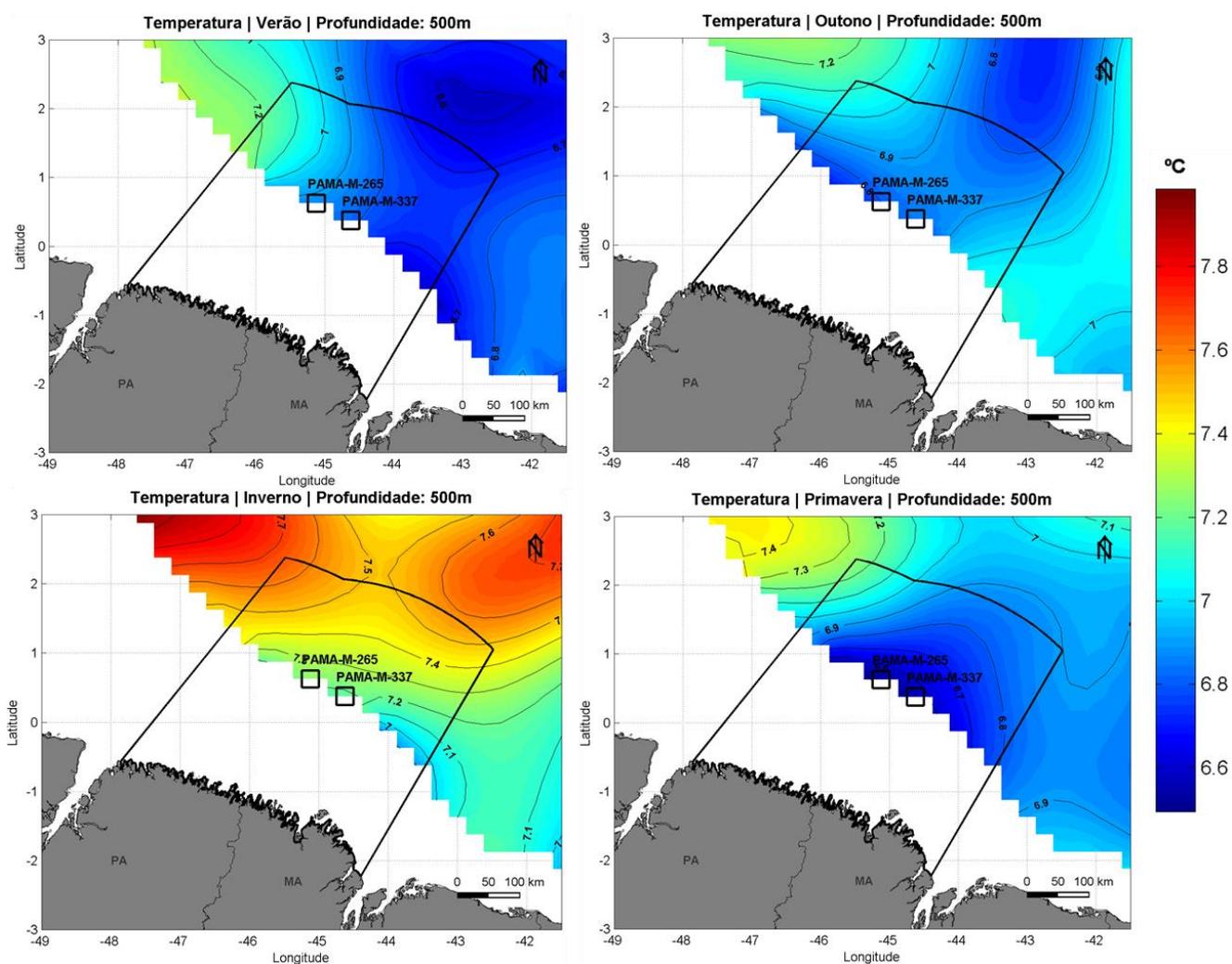


Figura II.5.1.2.2.A-14: Seção horizontal de temperatura em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

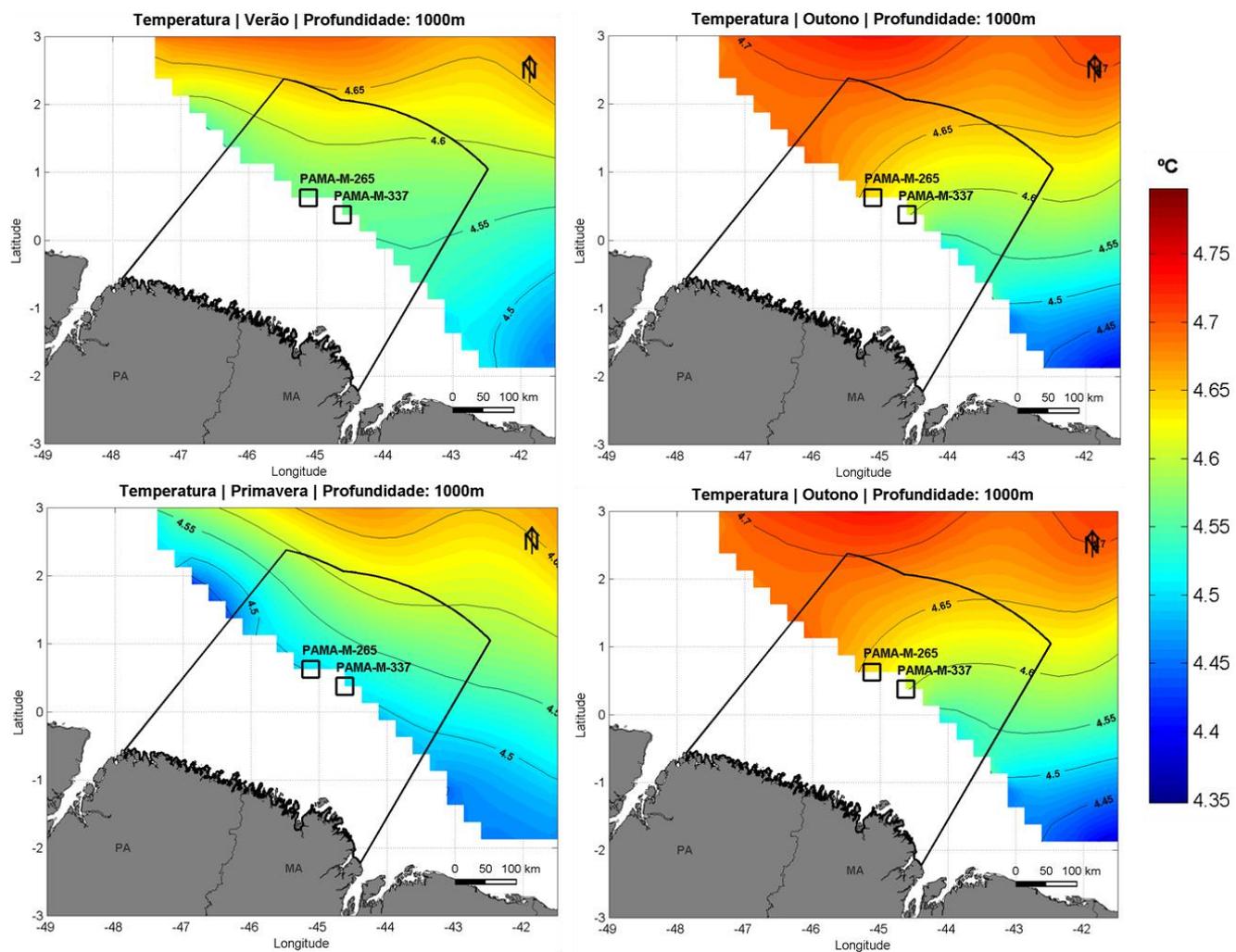


Figura II.5.1.2.2.A-15: Seção horizontal de temperatura em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

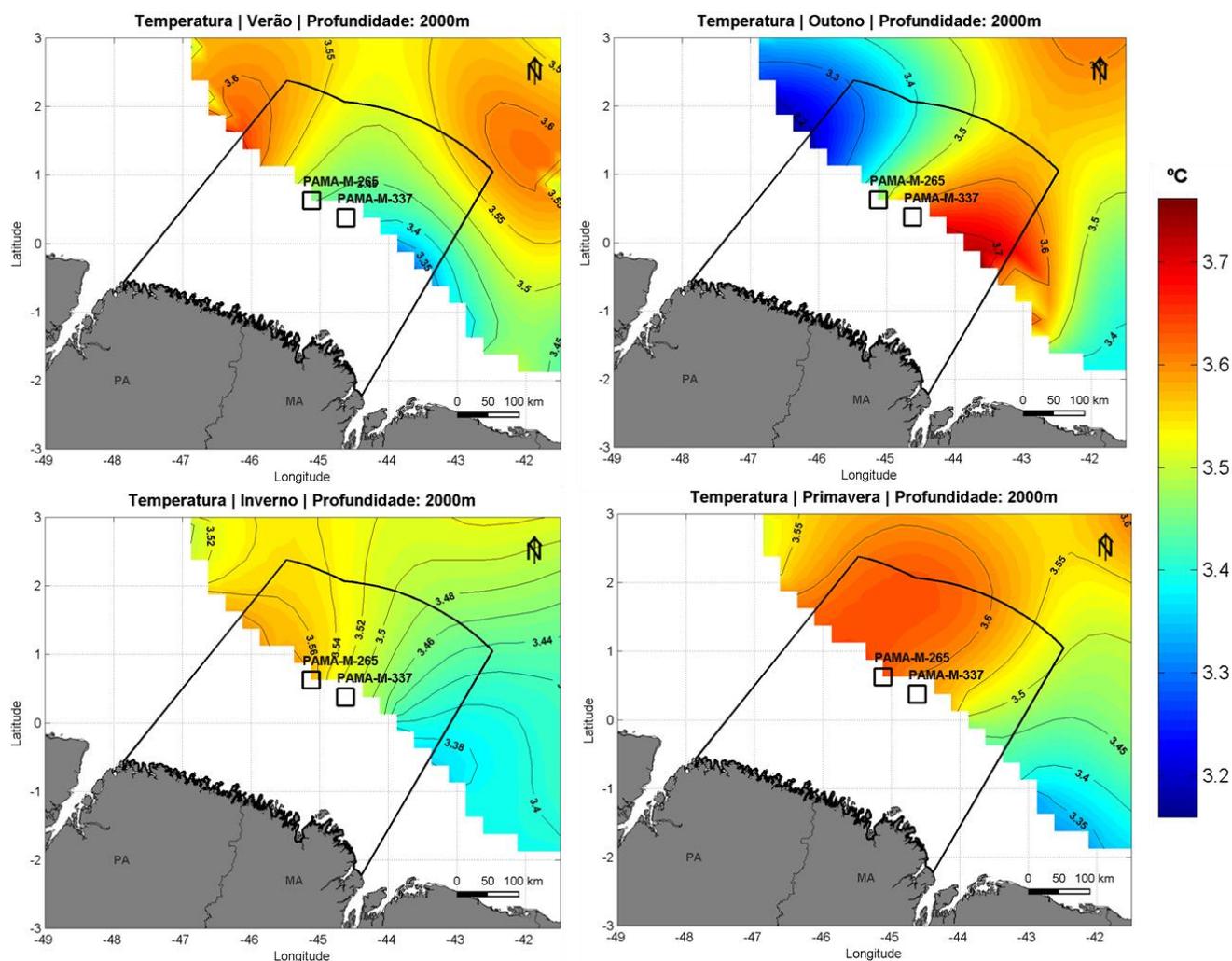


Figura II.5.1.2.2.A-16: Seção horizontal de temperatura em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

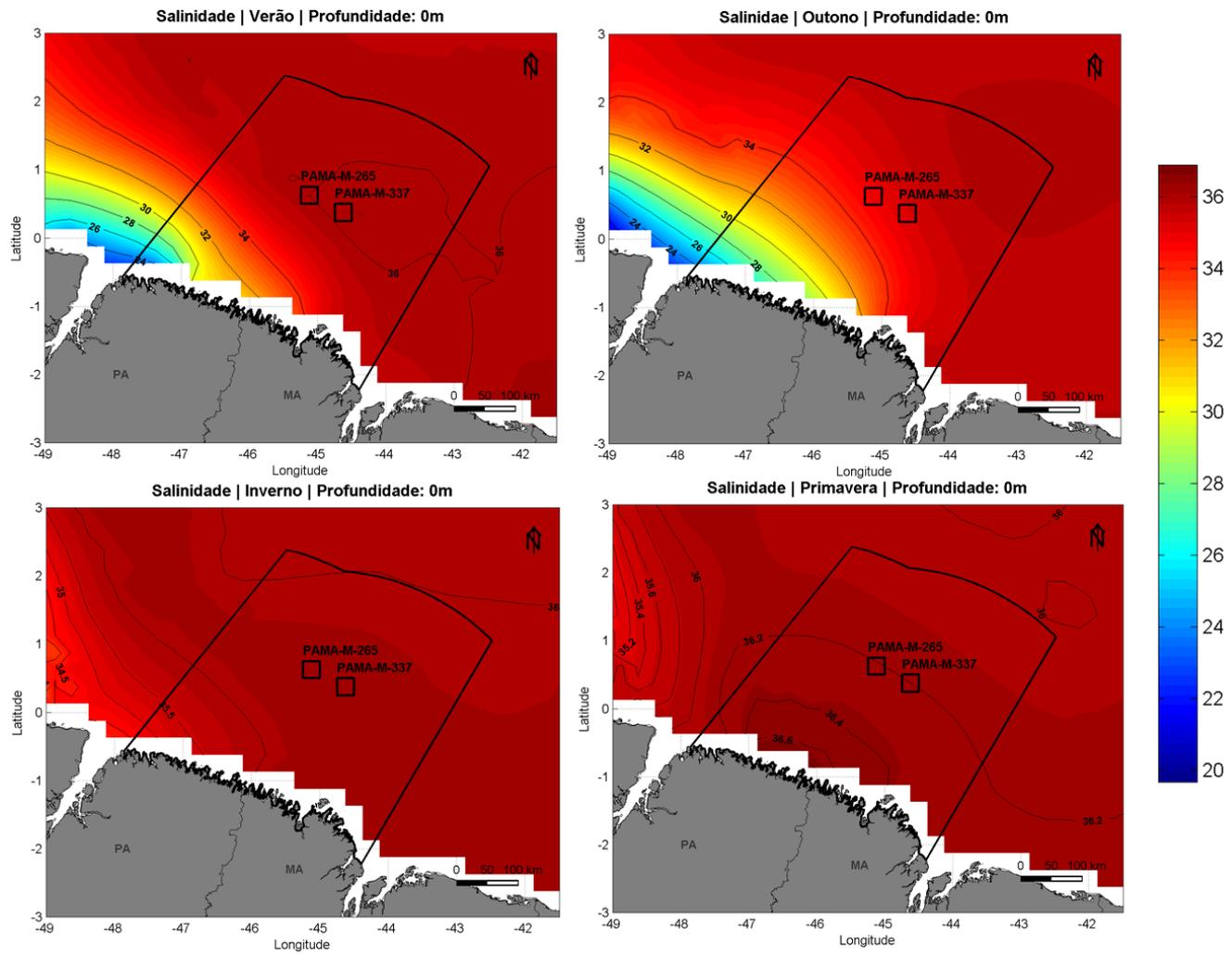


Figura II.5.1.2.2.A-17: Seção horizontal de salinidade em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

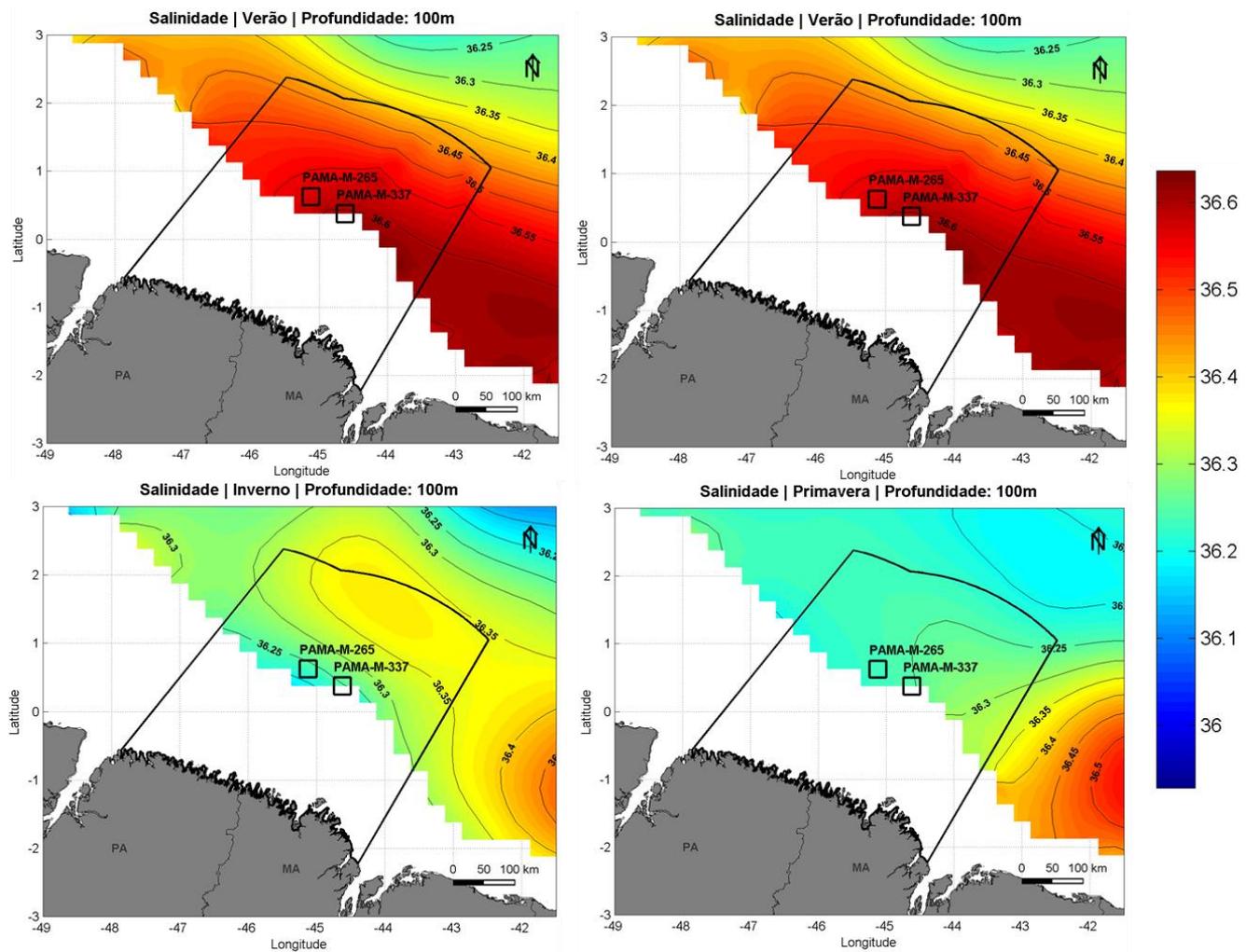


Figura II.5.1.2.2.A-18: Seção horizontal de salinidade em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

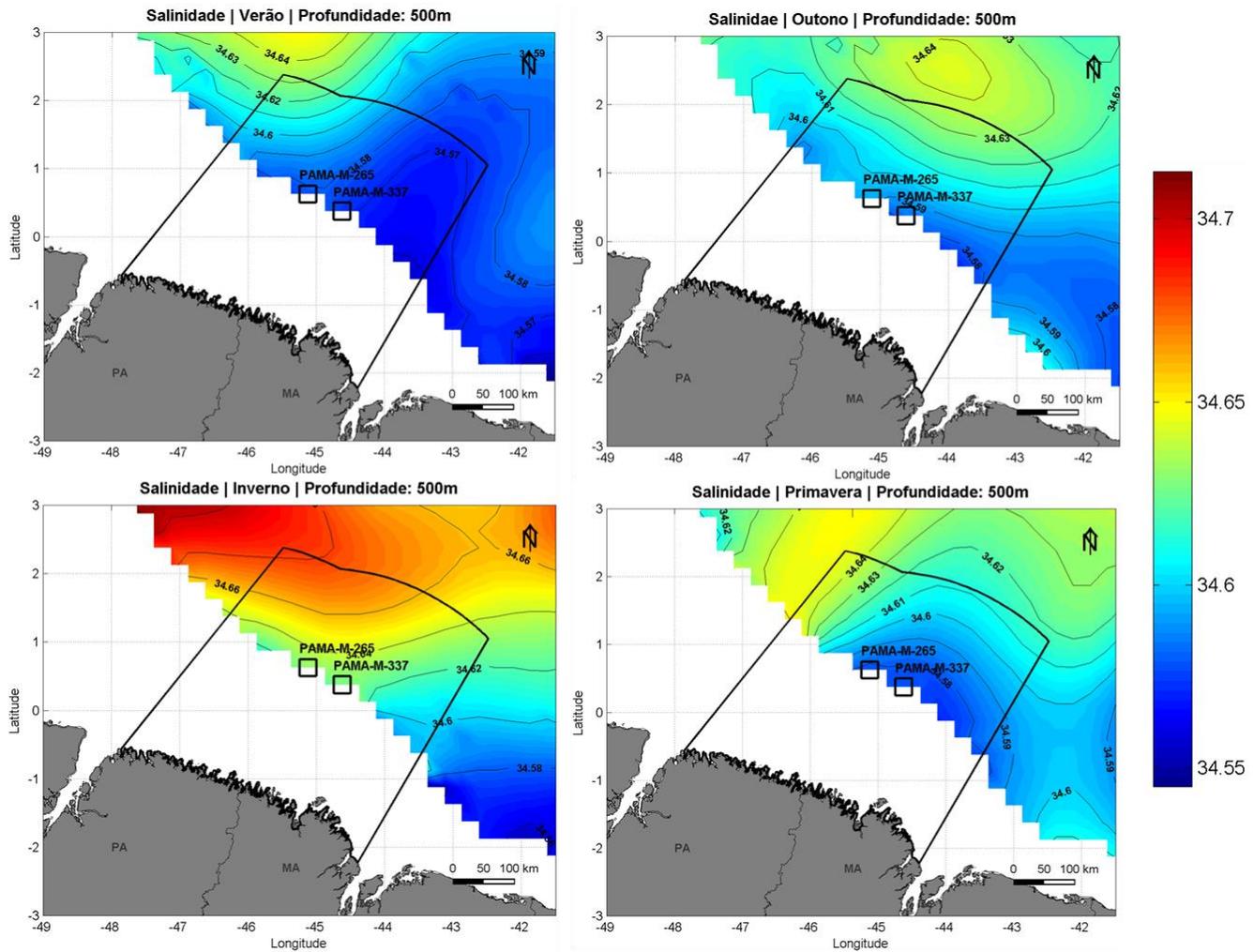


Figura II.5.1.2.2.A-19: Seção horizontal de salinidade em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

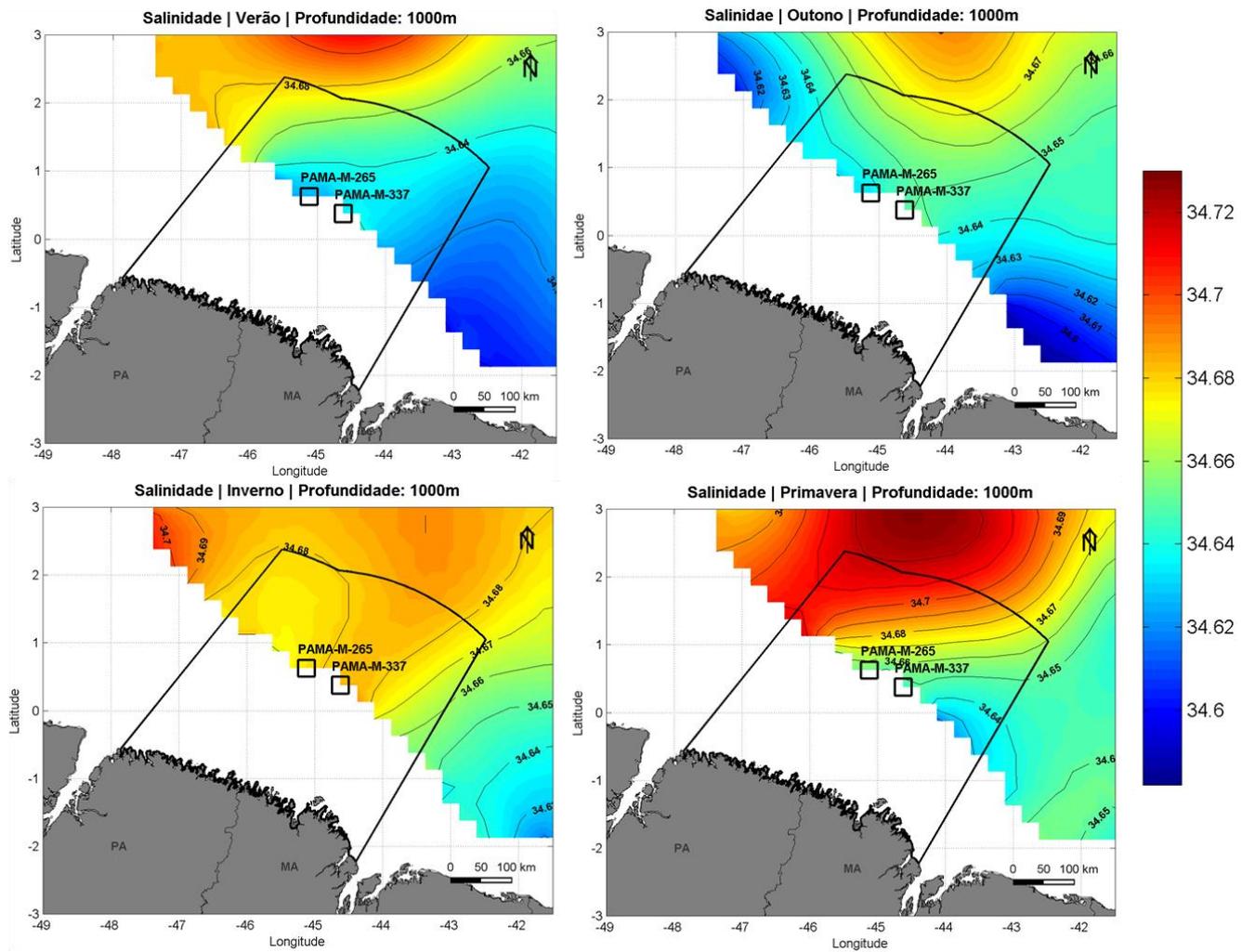


Figura II.5.1.2.2.A-20: Seção horizontal de salinidade em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

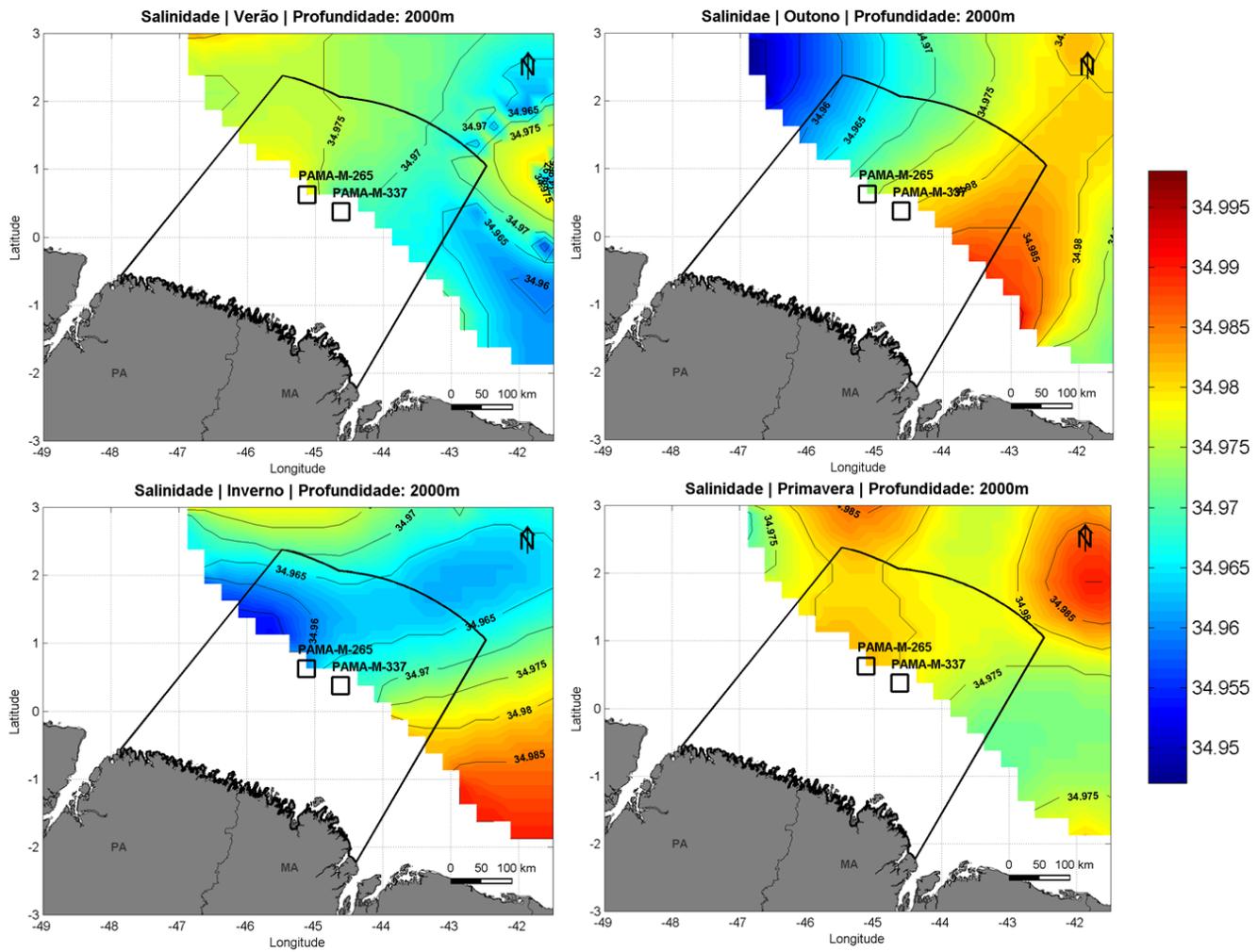


Figura II.5.1.2.2.A-21: Seção horizontal de salinidade em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

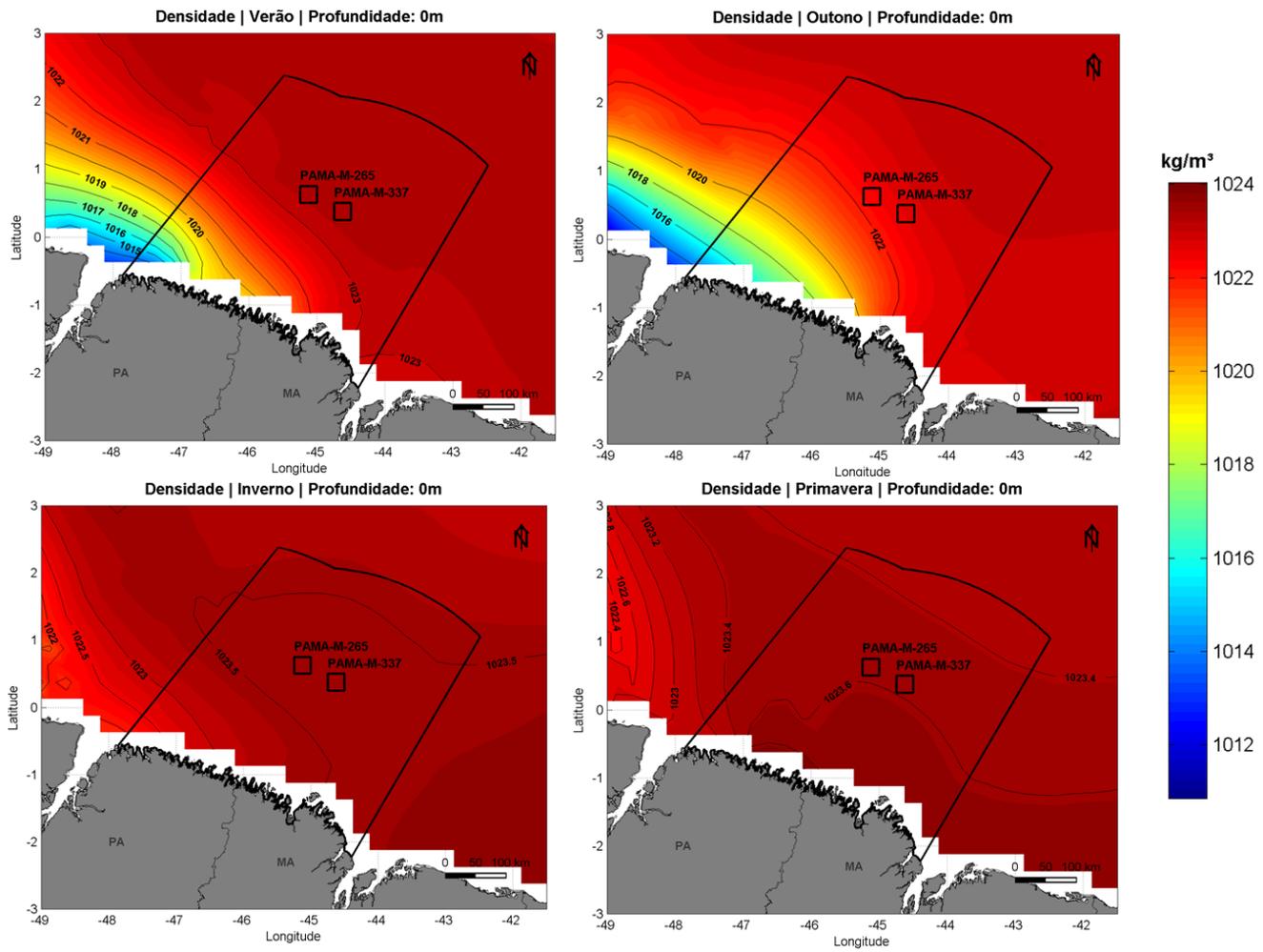


Figura II.5.1.2.2.A-22: Seção horizontal de densidade em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

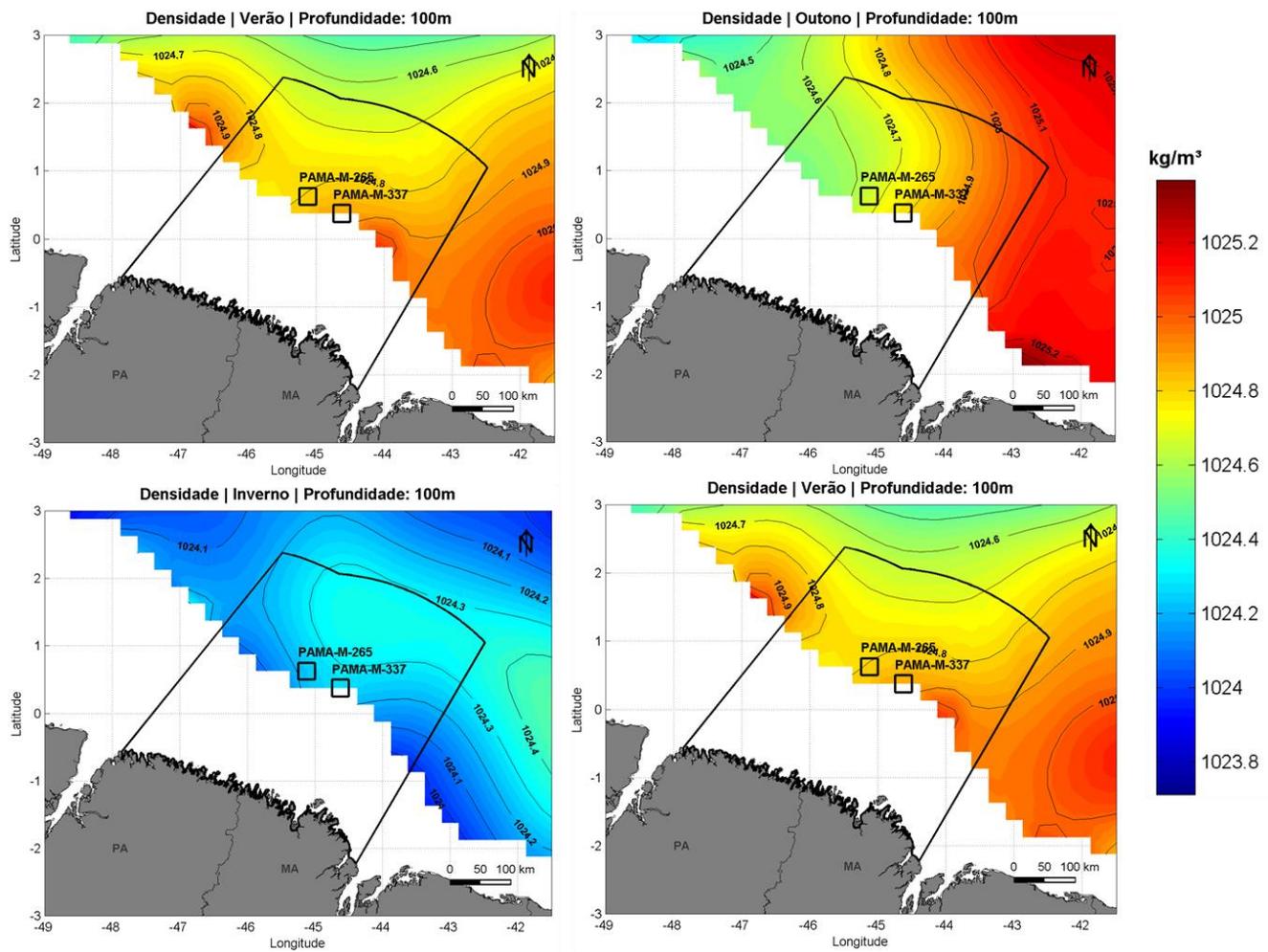


Figura II.5.1.2.2.A-23: Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

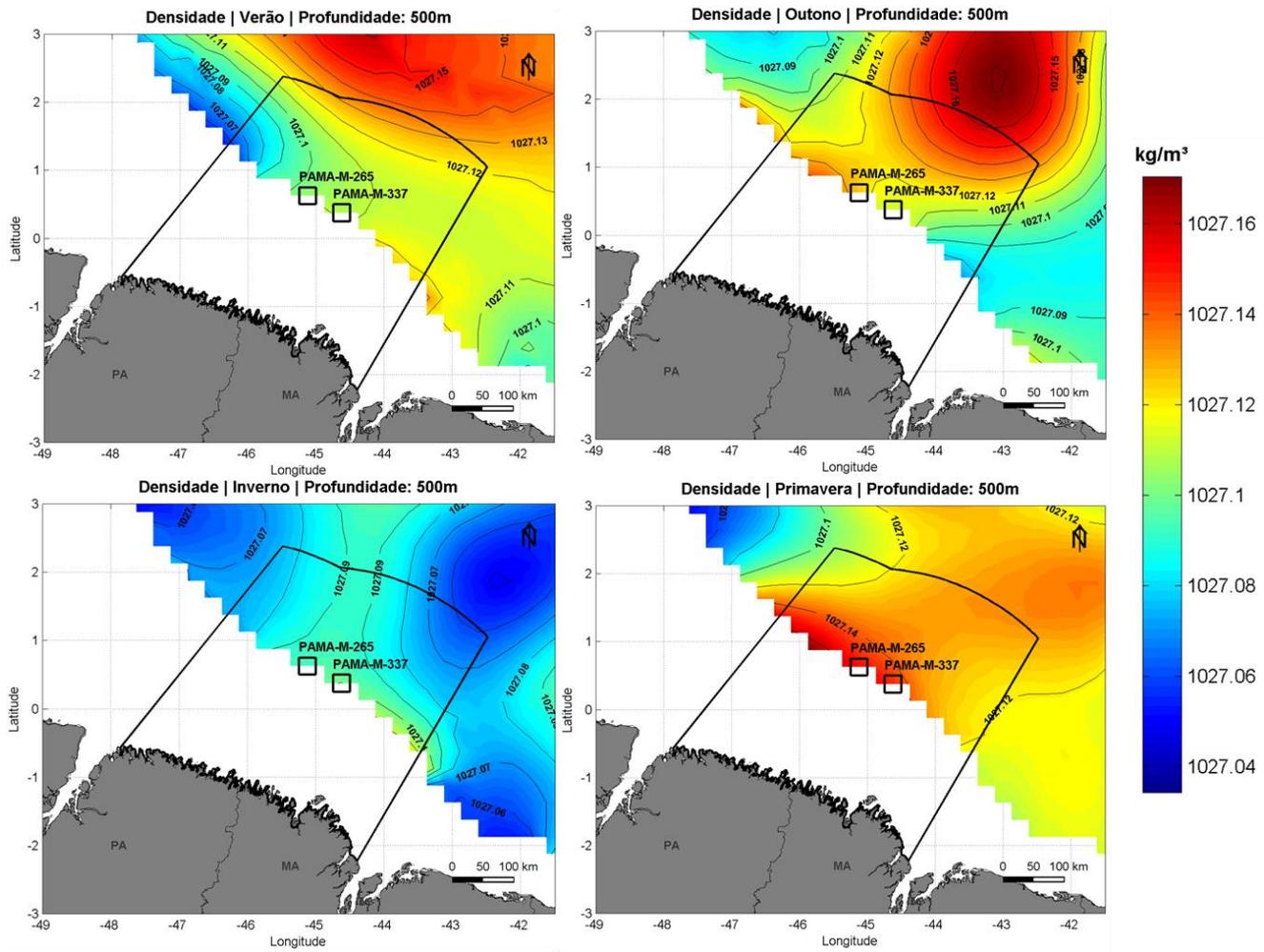


Figura II.5.1.2.2.A-24: Seção horizontal de densidade em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

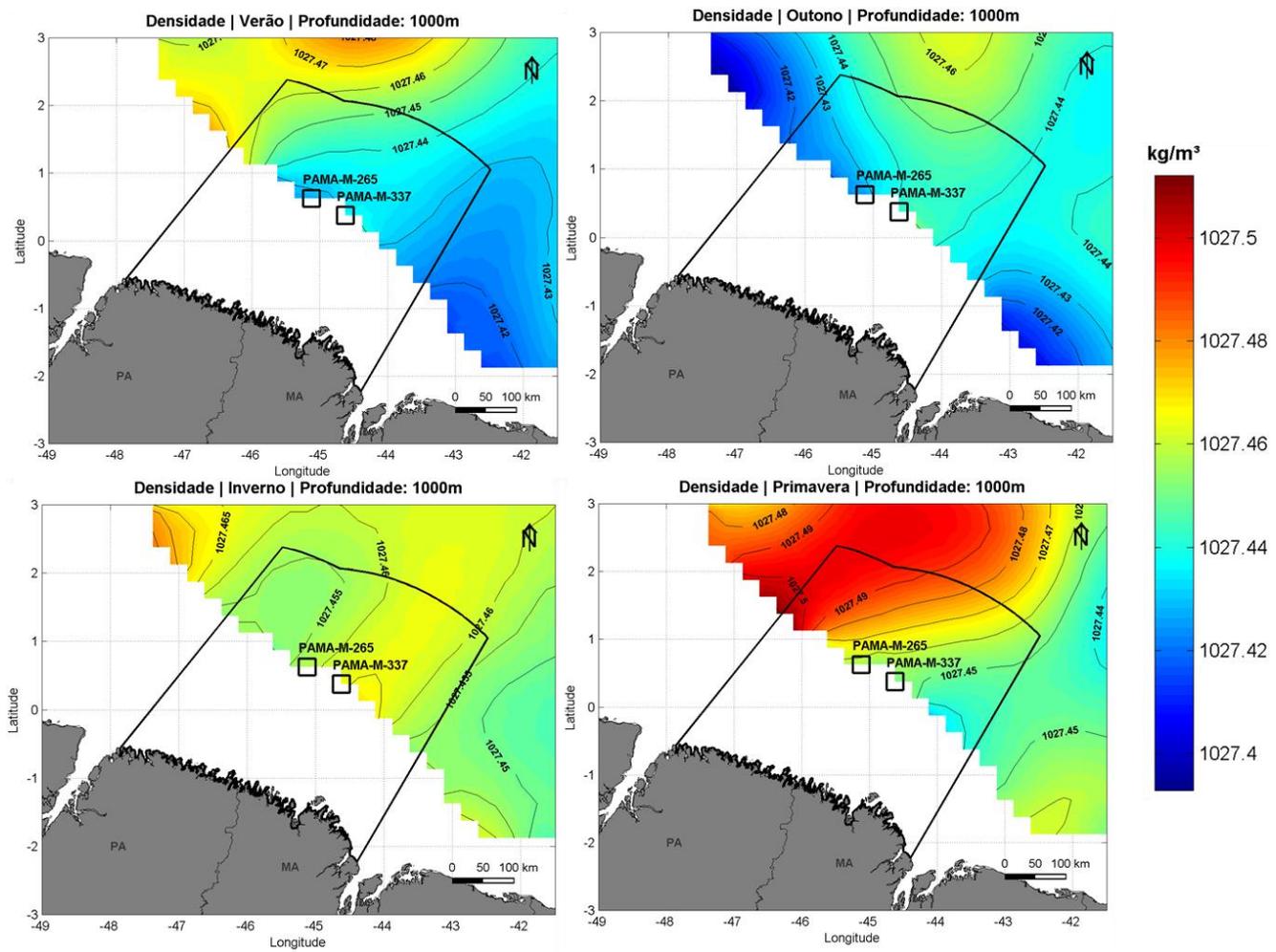


Figura II.5.1.2.2.A-25: Seção horizontal de densidade em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

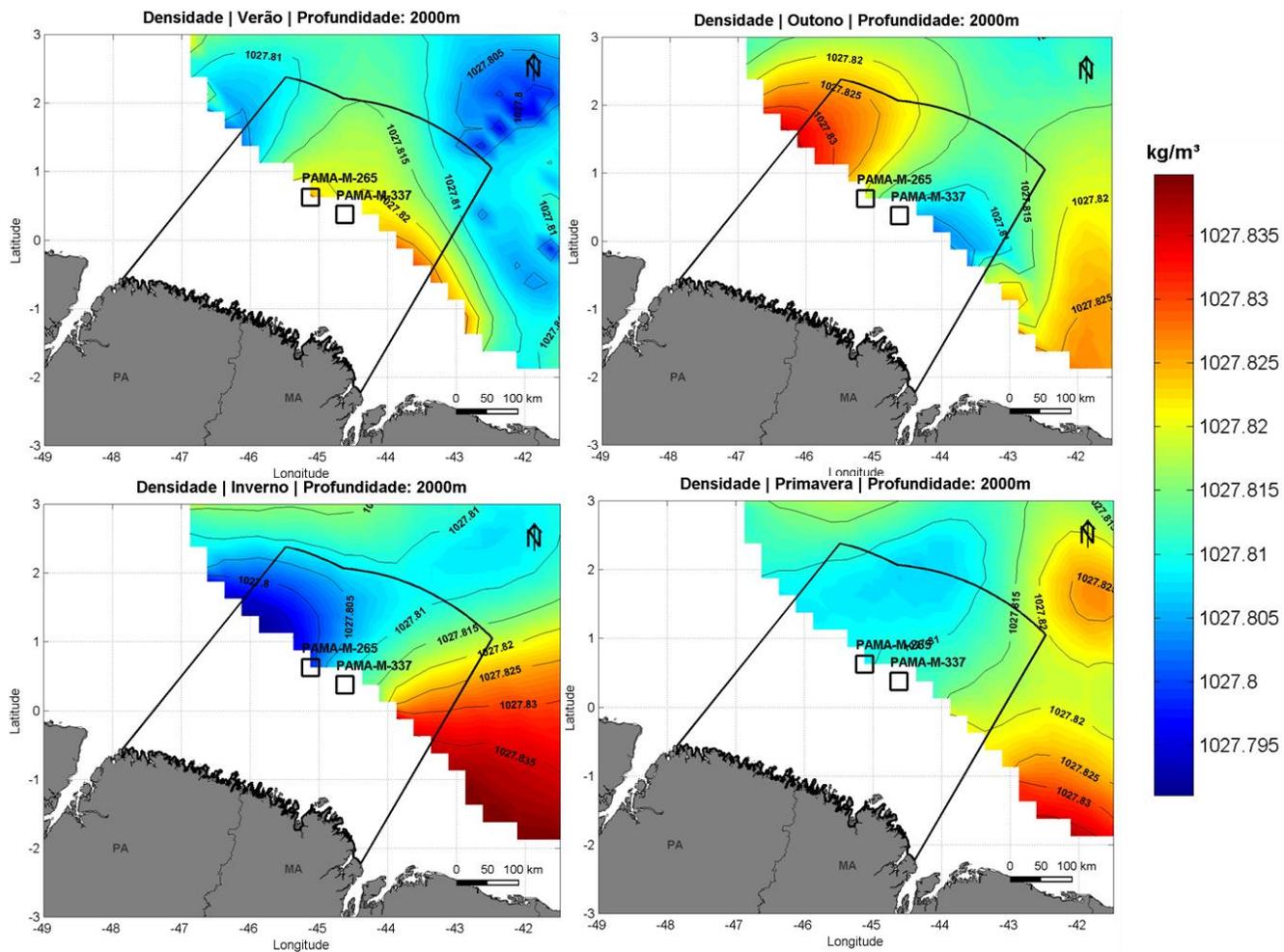


Figura II.5.1.2.2.A-26: Seção horizontal de densidade em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: WOA13.

Conforme solicitação do Termo de Referência (TR) nº 36/14, devem ser apresentados mapas de temperatura, salinidade e densidade elaborados com os dados utilizados na modelagem hidrodinâmica. A seguir, da **Figura II.5.1.2.2.A-27** à **Figura II.5.1.2.2.A-41** são apresentados mapas horizontais com dados de temperatura, salinidade e densidade obtidos dos resultados do modelo do projeto MyOcean. Estes dados foram utilizados como condição inicial e de contorno na modelagem hidrodinâmica desenvolvida para o bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

O projeto *MyOcean* disponibiliza diariamente os resultados da análise global do estado dos oceanos, com resolução de 1/12°. O sistema de previsão utiliza o modelo NEMO (*Nucleus for European Models of the Ocean*) versão 3.1, forçado pelos campos atmosféricos obtidos da Análise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather*

Forecasts). O modelo assimila dados de correntes, elevação da superfície e TSM obtidos de satélites, além de dados de temperatura e salinidade obtidos *in situ*.

Assim como verificado nos dados do WOA13, a ausência de dados na região dos blocos, mesmo em algumas profundidades compreendidas por estes é decorrente, da resolução dos resultados do MyOcean, e da variação abrupta de profundidades na área do talude continental. Entretanto, deve-se ressaltar que os dados apresentados são suficientes para caracterização da Baía Pará-Maranhão, e entorno dos Blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

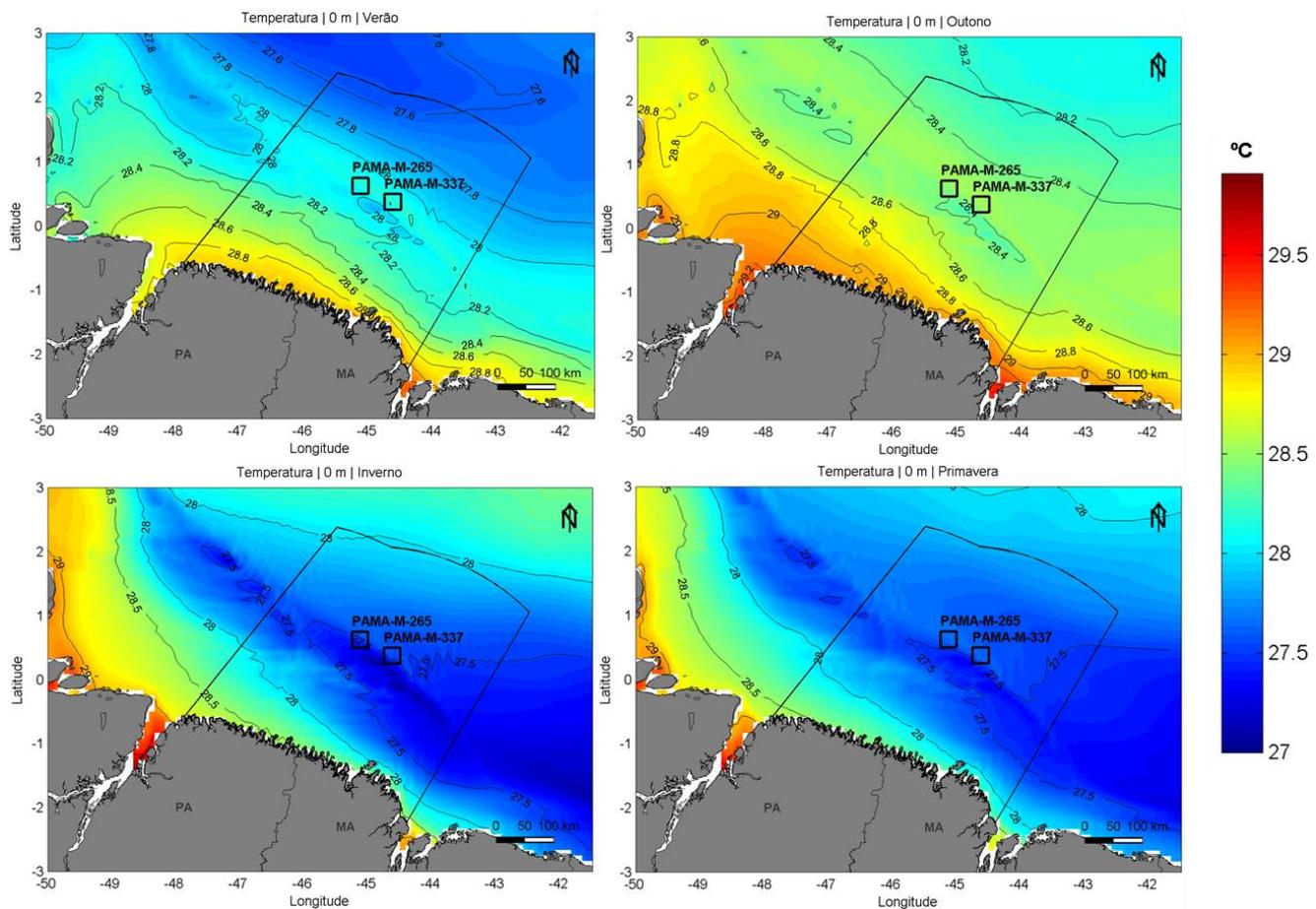


Figura II.5.1.2.2.A-27: Seção horizontal de temperatura em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

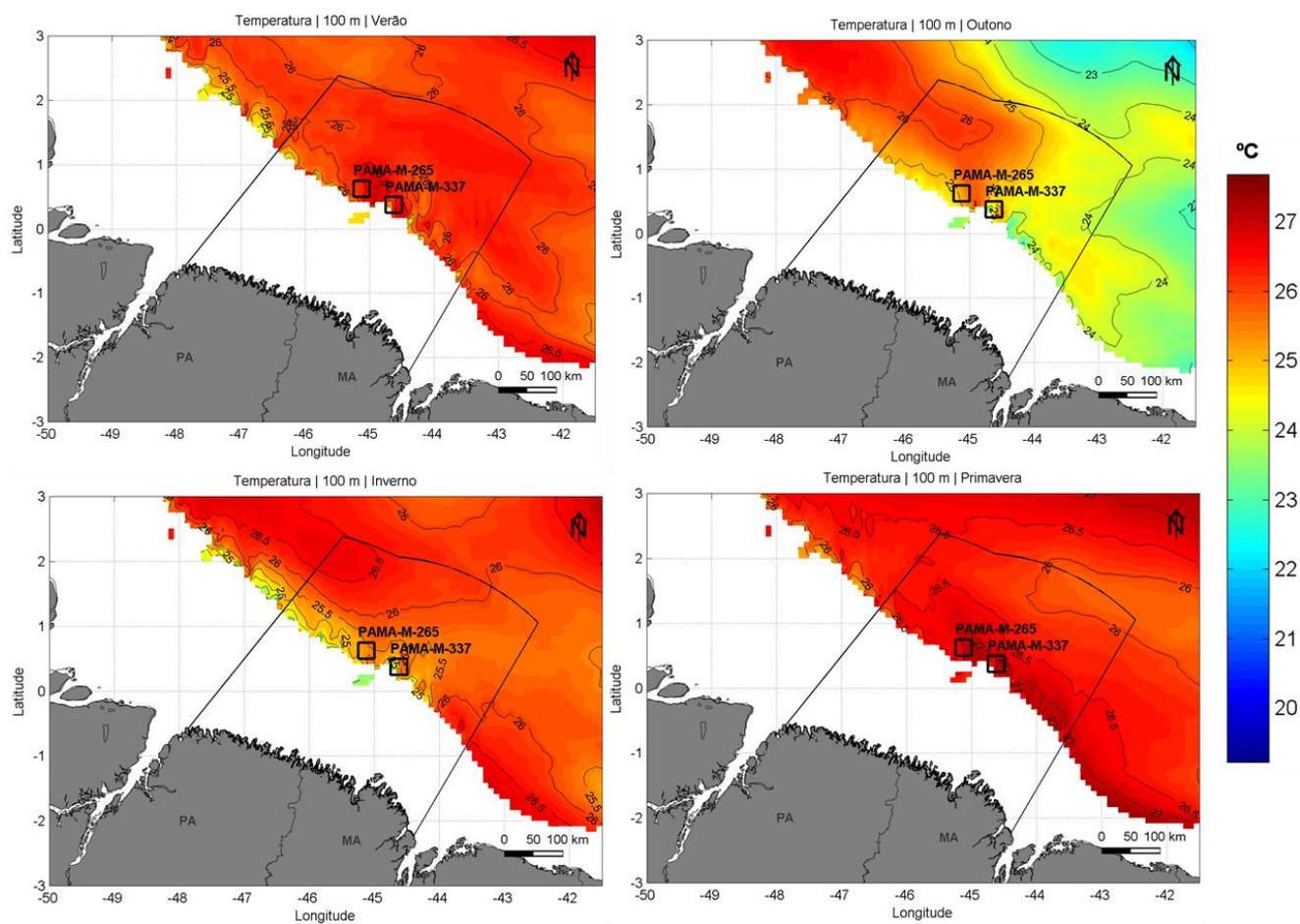


Figura II.5.1.2.2.A-28: Seção horizontal de temperatura em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano.

Fonte: MyOcean.

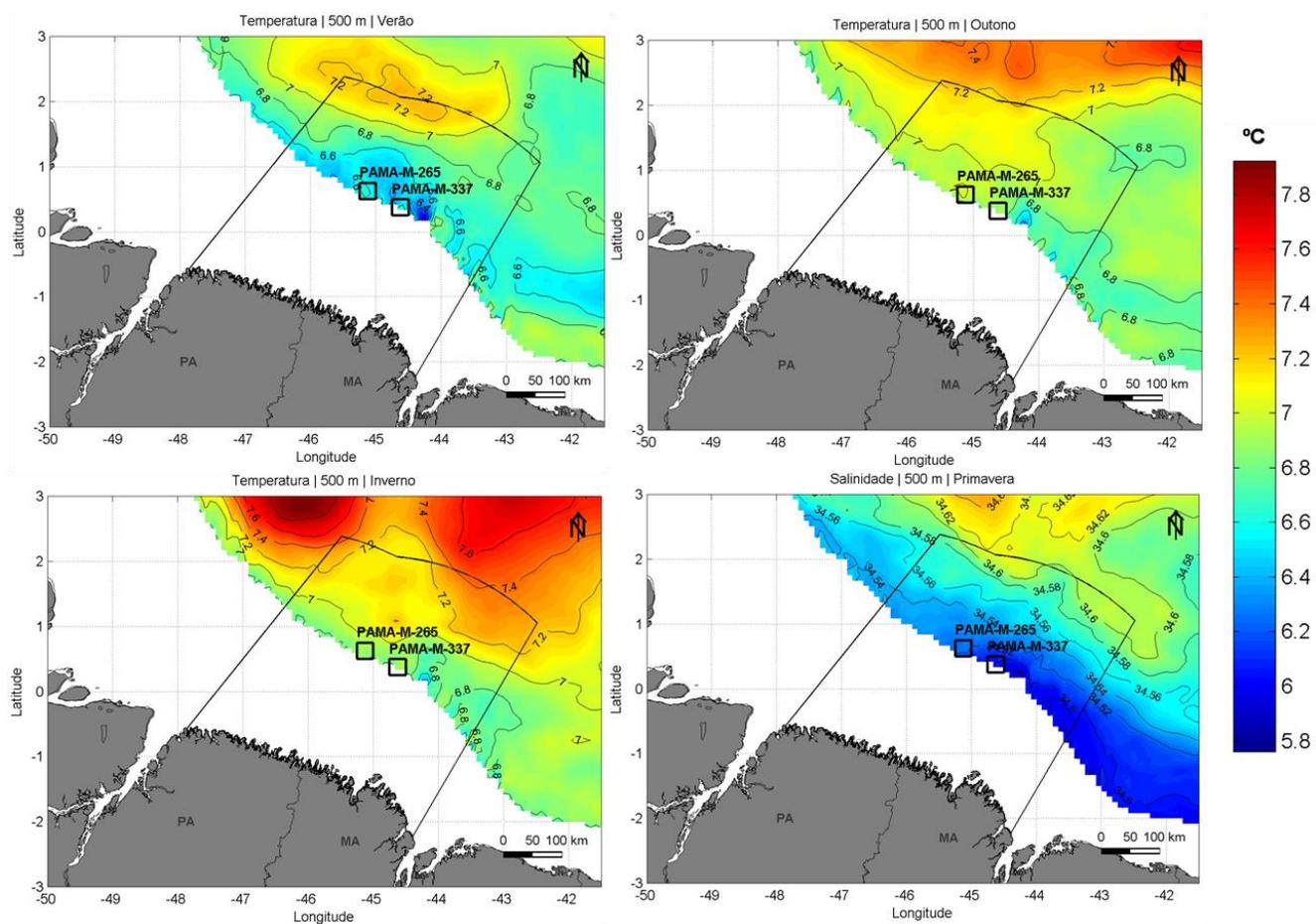


Figura II.5.1.2.2.A-29: Seção horizontal de temperatura em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

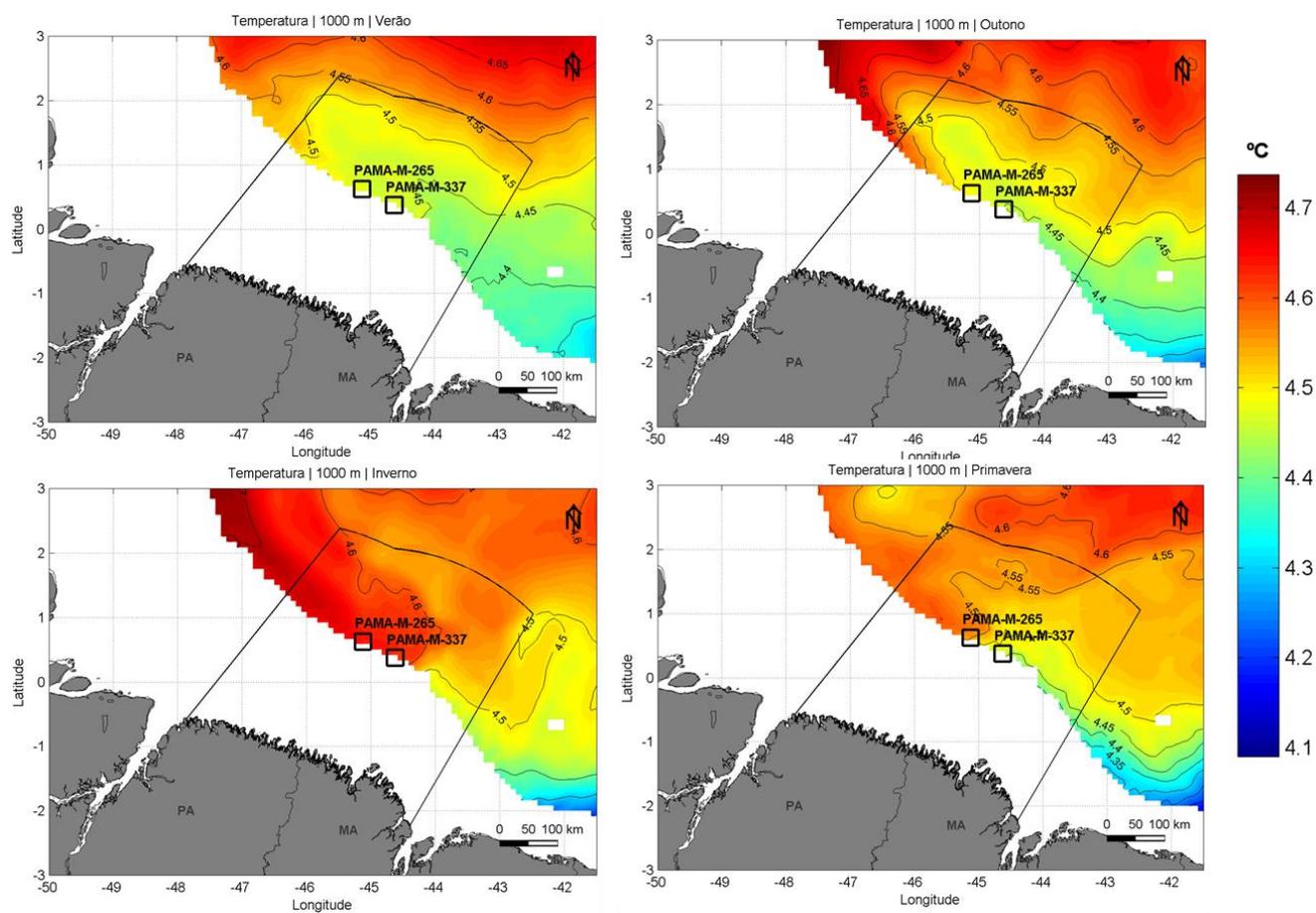


Figura II.5.1.2.2.A-30: Seção horizontal de temperatura em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano.

Fonte: MyOcean.

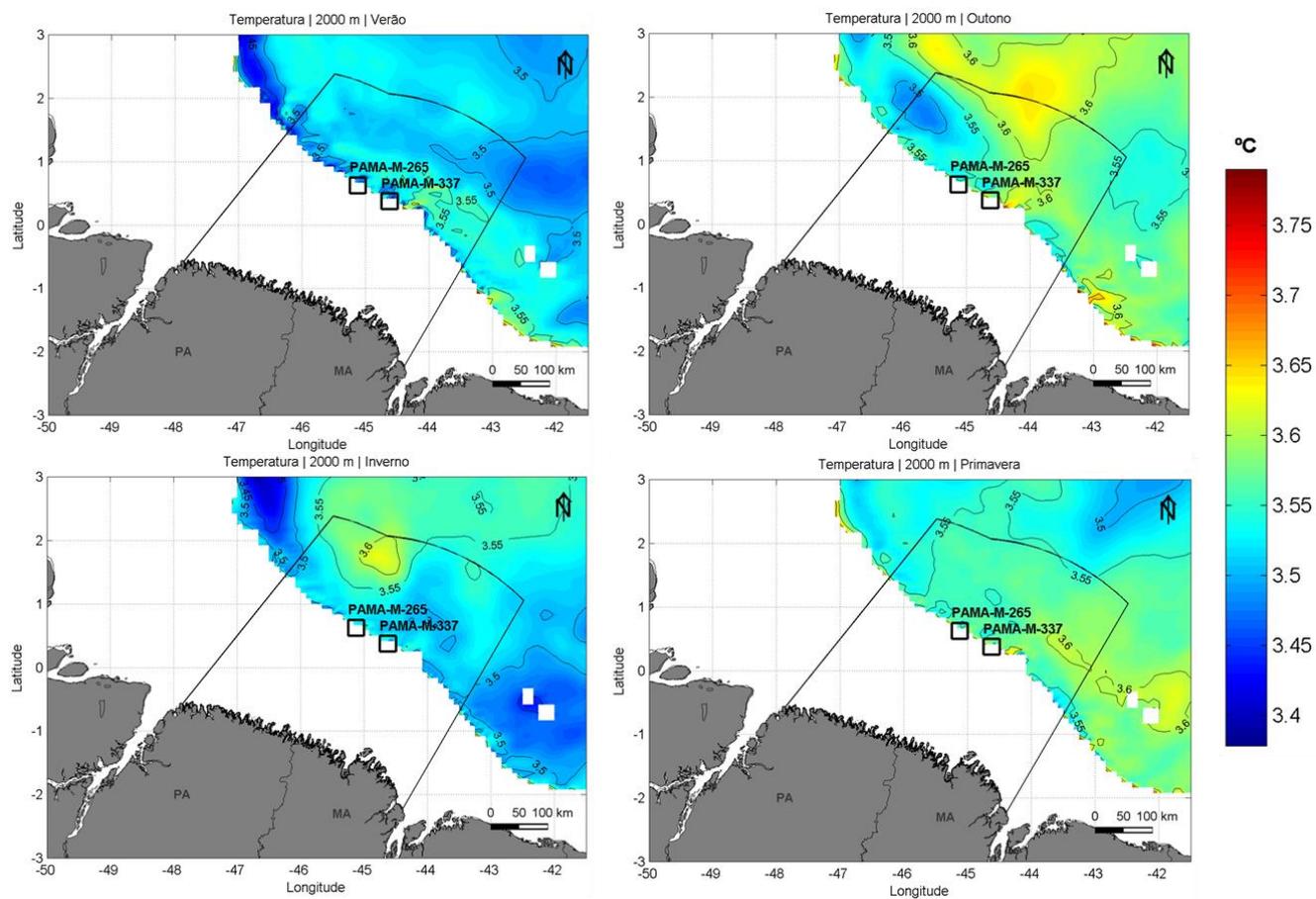


Figura II.5.1.2.2.A-31: Seção horizontal de temperatura em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano.

Fonte: MyOcean.

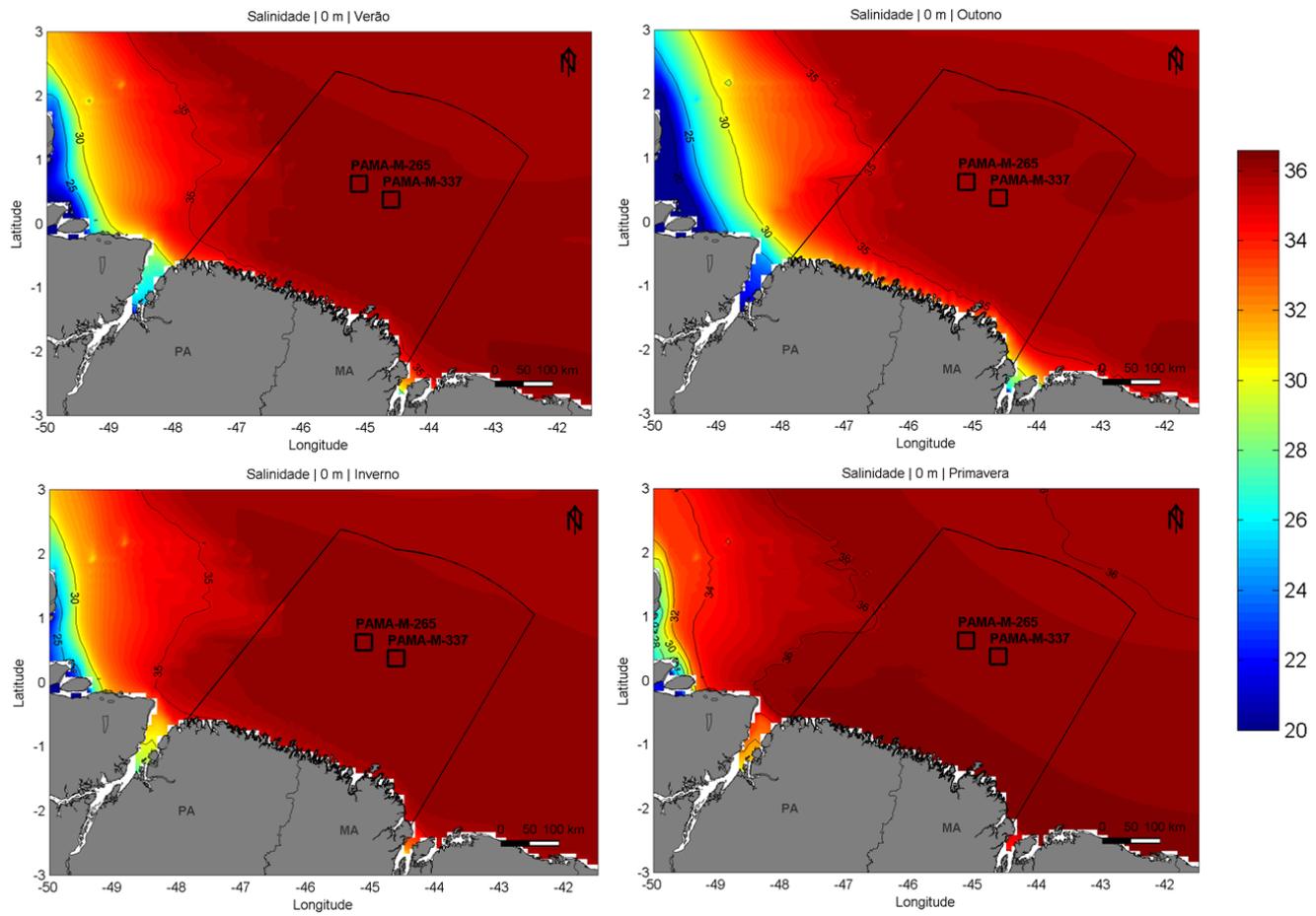


Figura II.5.1.2.2.A-32: Seção horizontal de salinidade em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

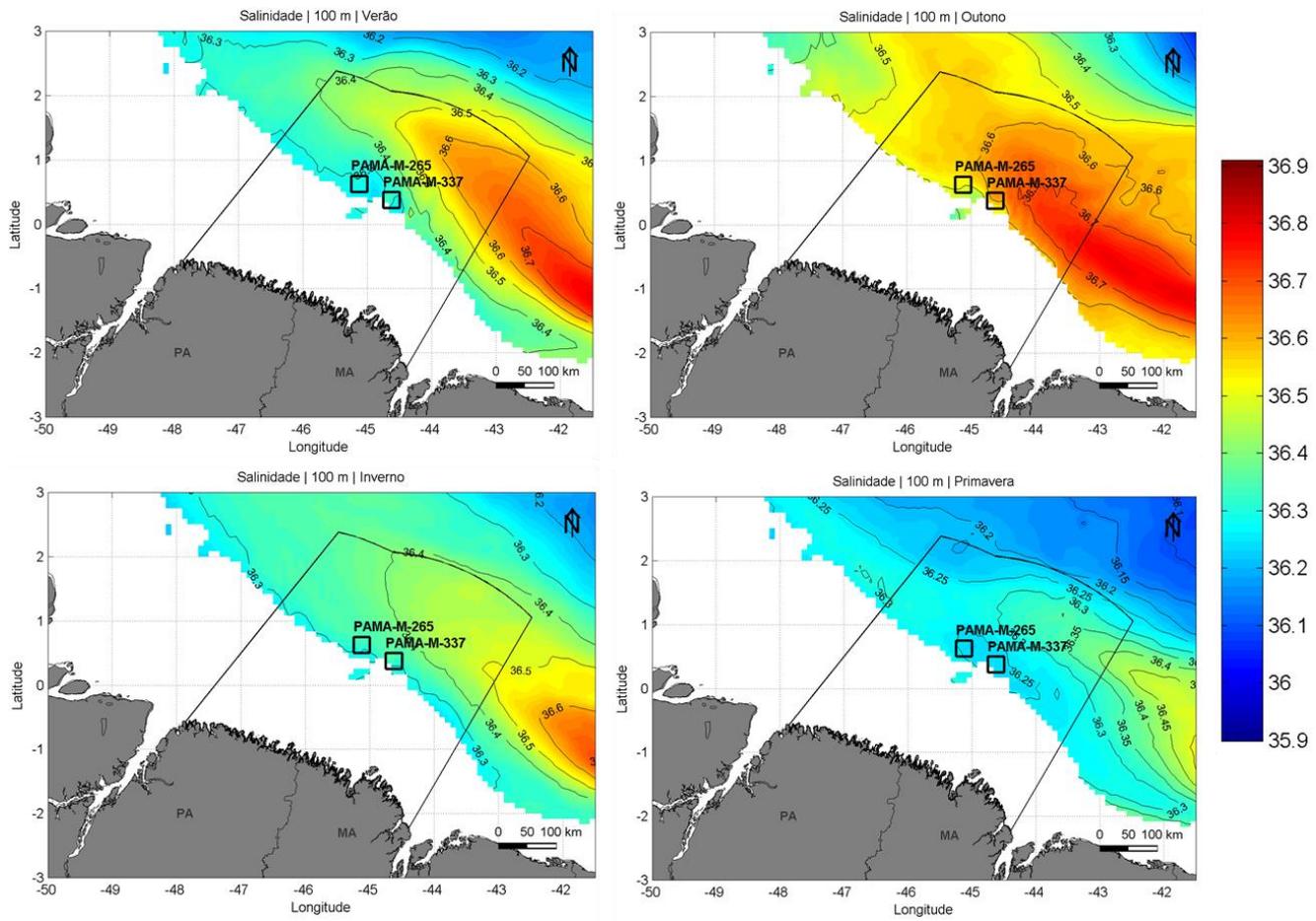


Figura II.5.1.2.2.A-33: Seção horizontal de salinidade em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

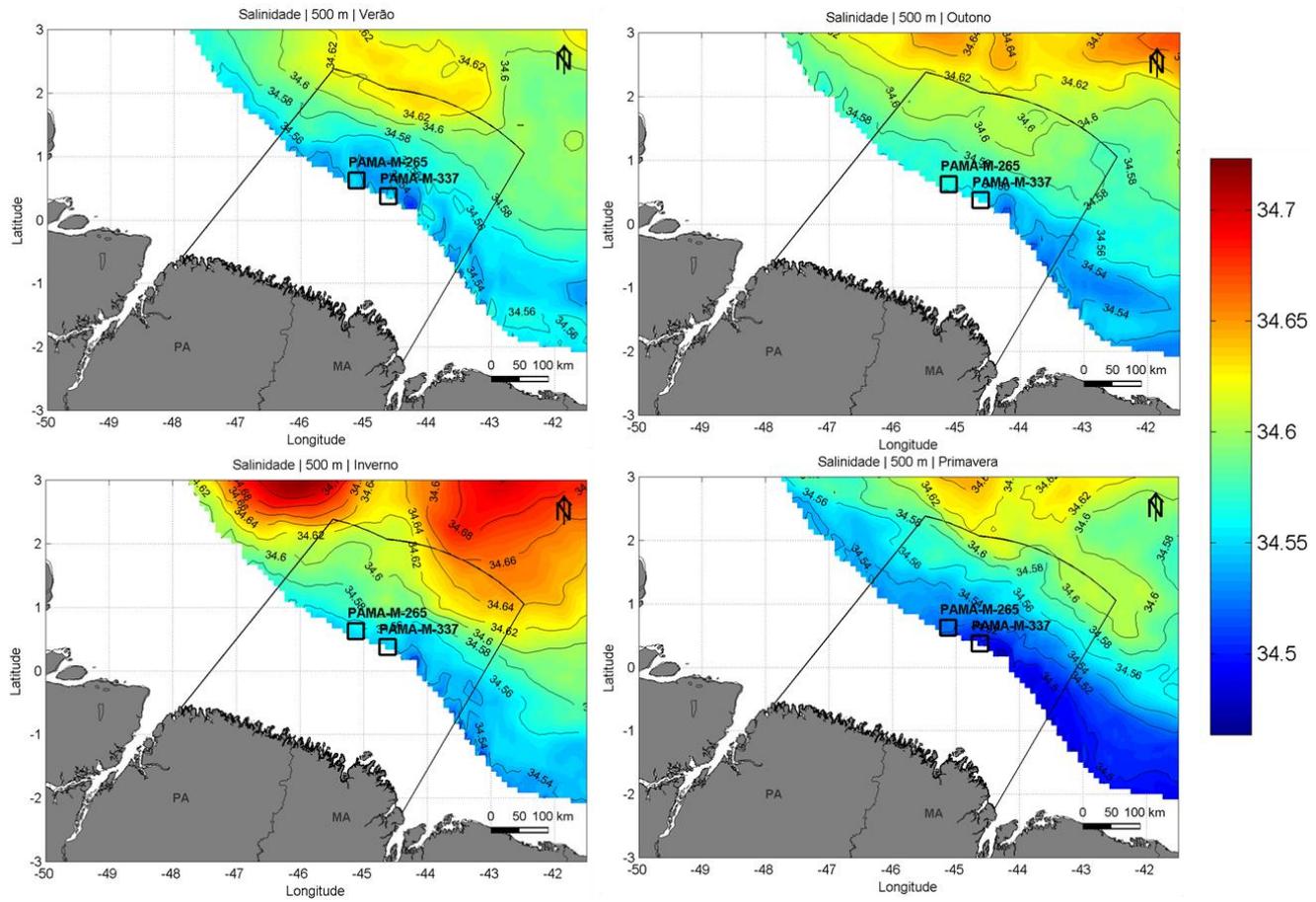


Figura II.5.1.2.2.A-34: Seção horizontal de salinidade em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

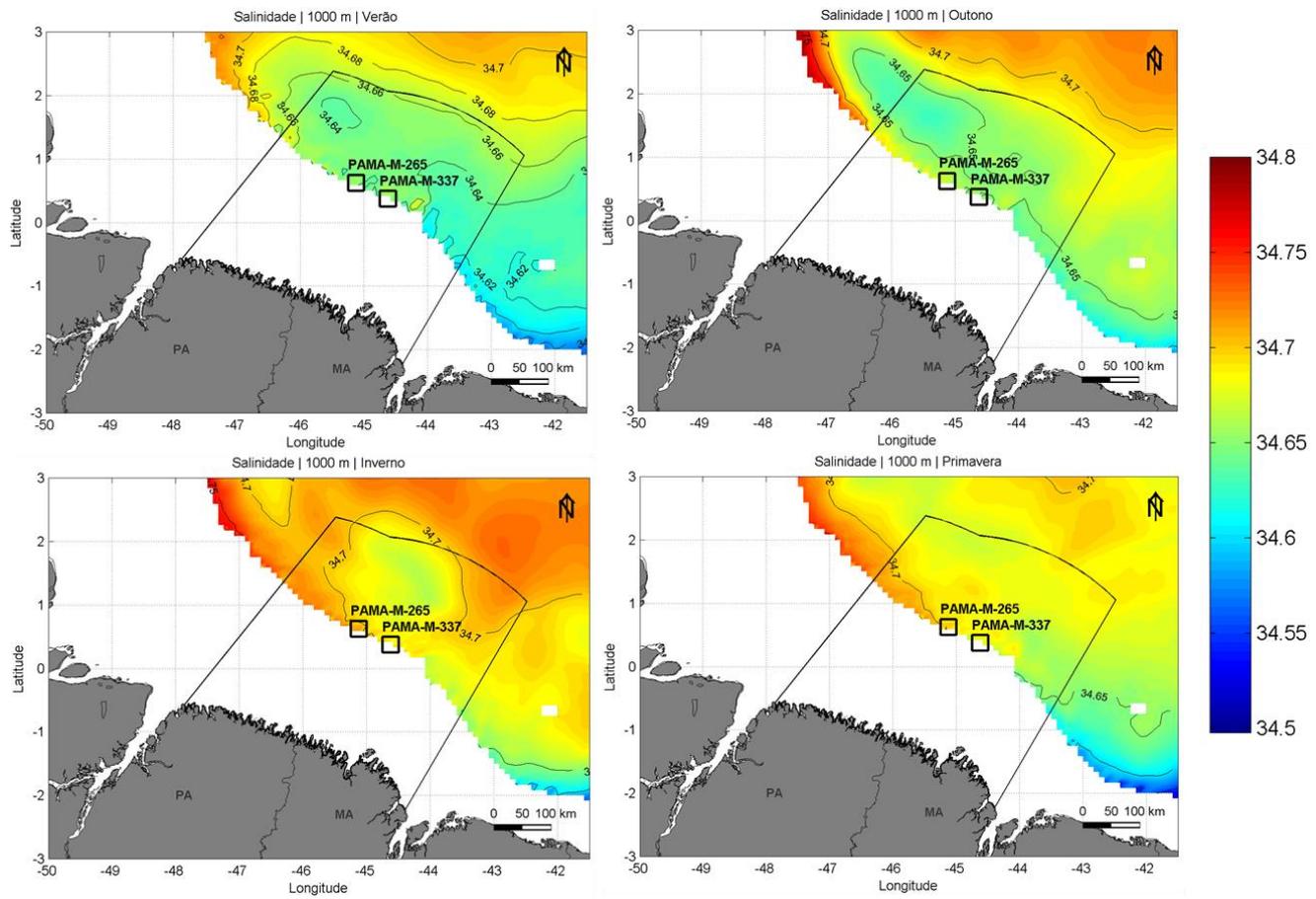


Figura II.5.1.2.2.A-35: Seção horizontal de salinidade em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

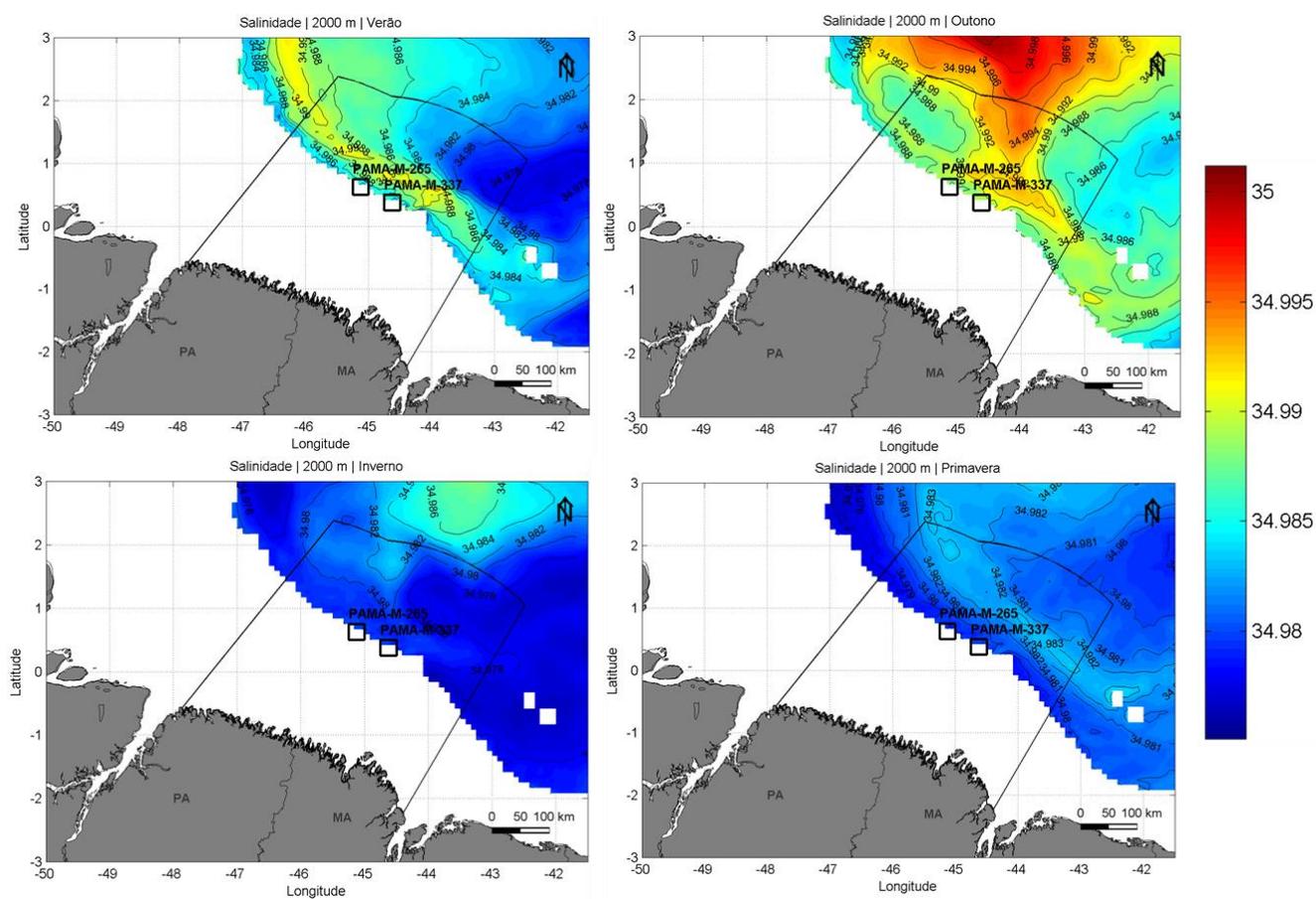


Figura II.5.1.2.2.A-36: Seção horizontal de salinidade em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

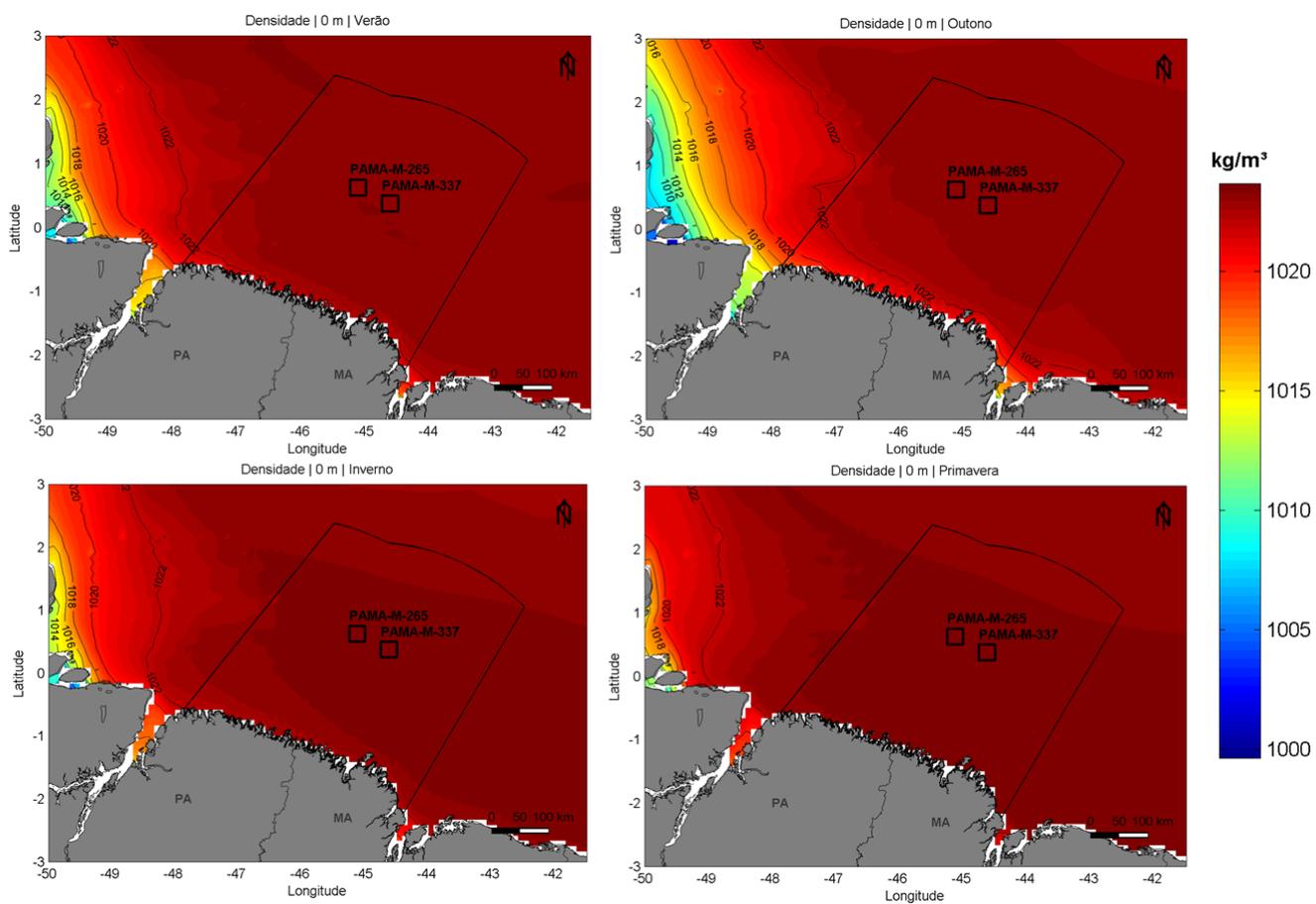


Figura II.5.1.2.2.A-37: Seção horizontal de densidade em superfície, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

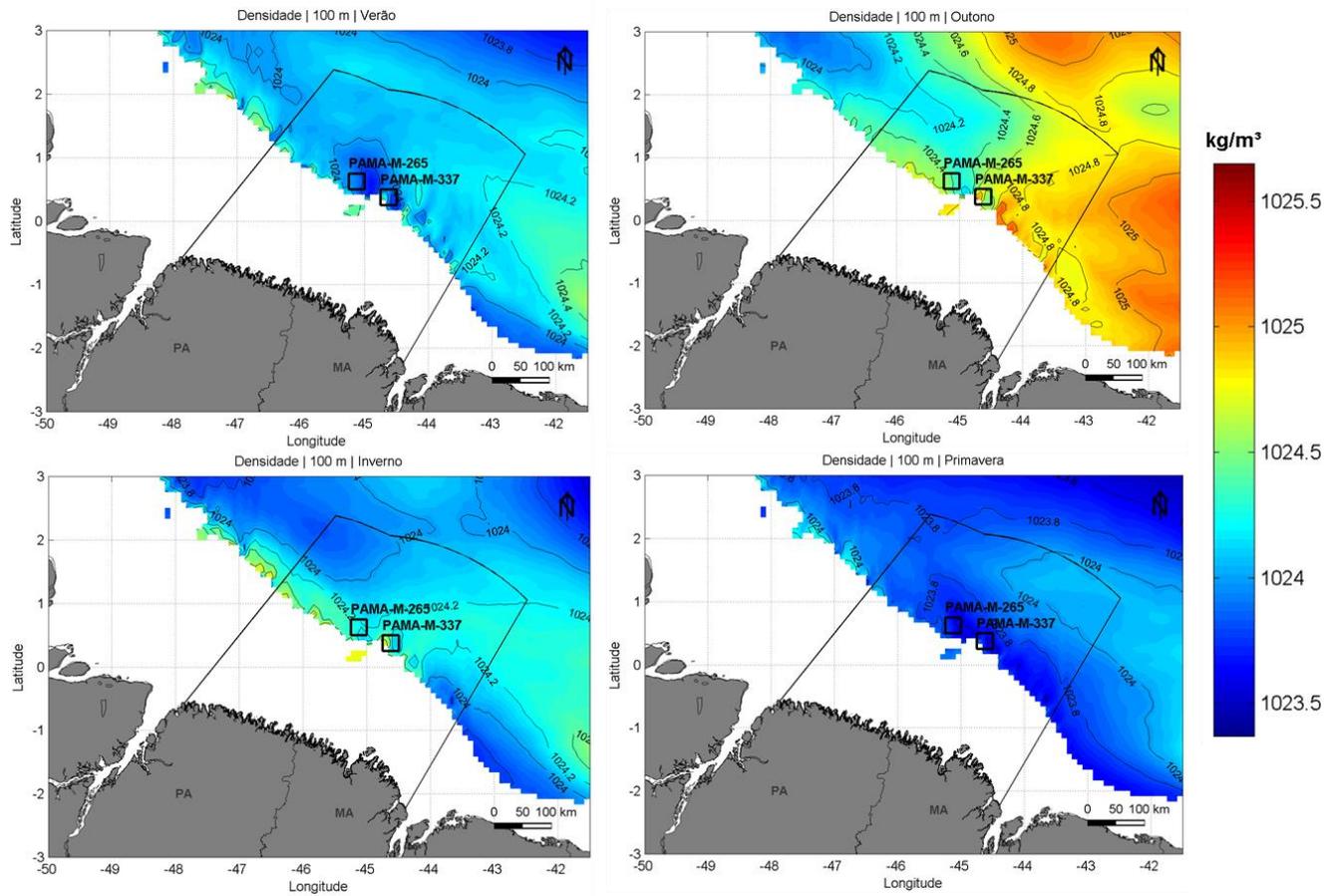


Figura II.5.1.2.2.A-38: Seção horizontal de densidade em 100 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

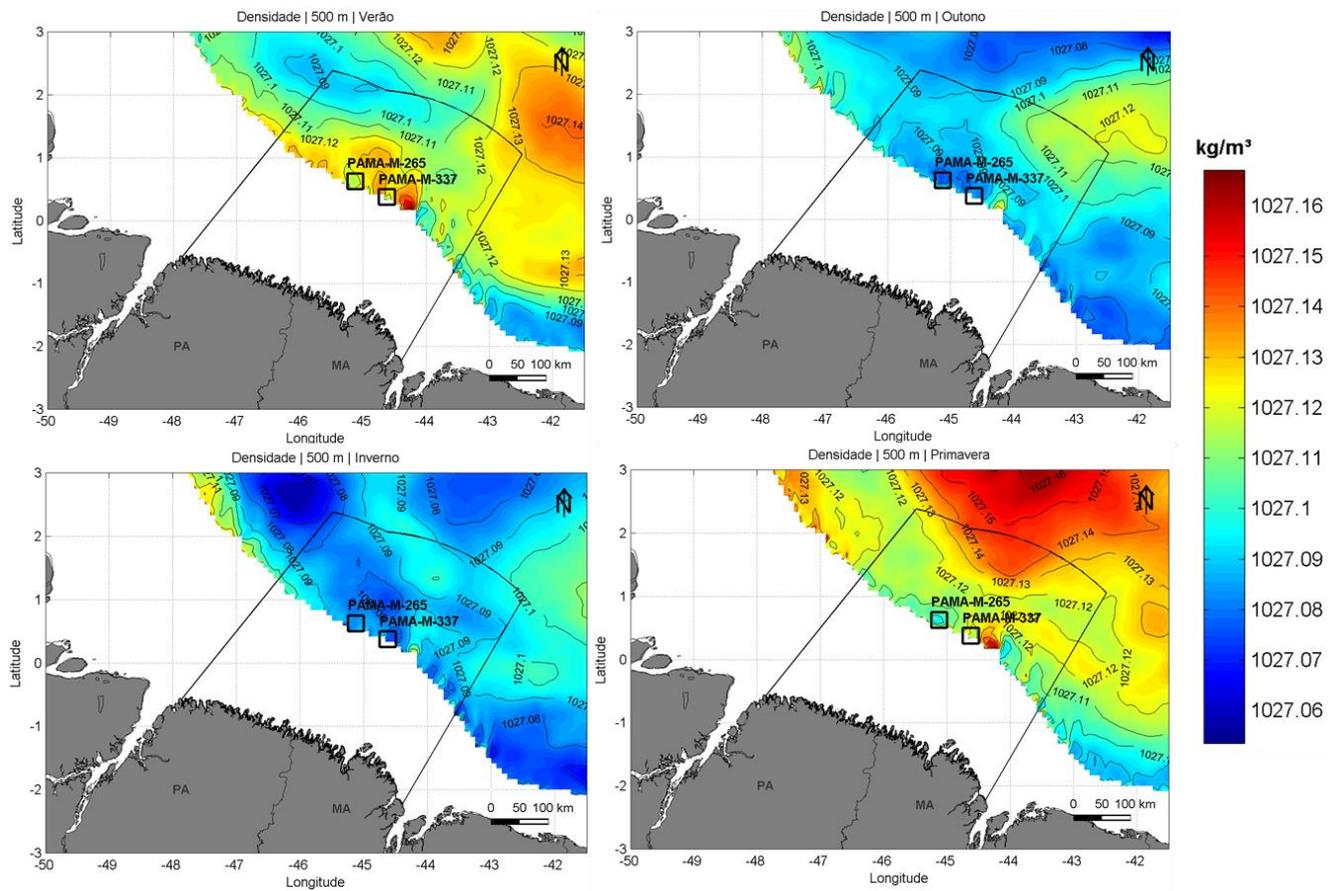


Figura II.5.1.2.2.A-39: Seção horizontal de densidade em 500 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

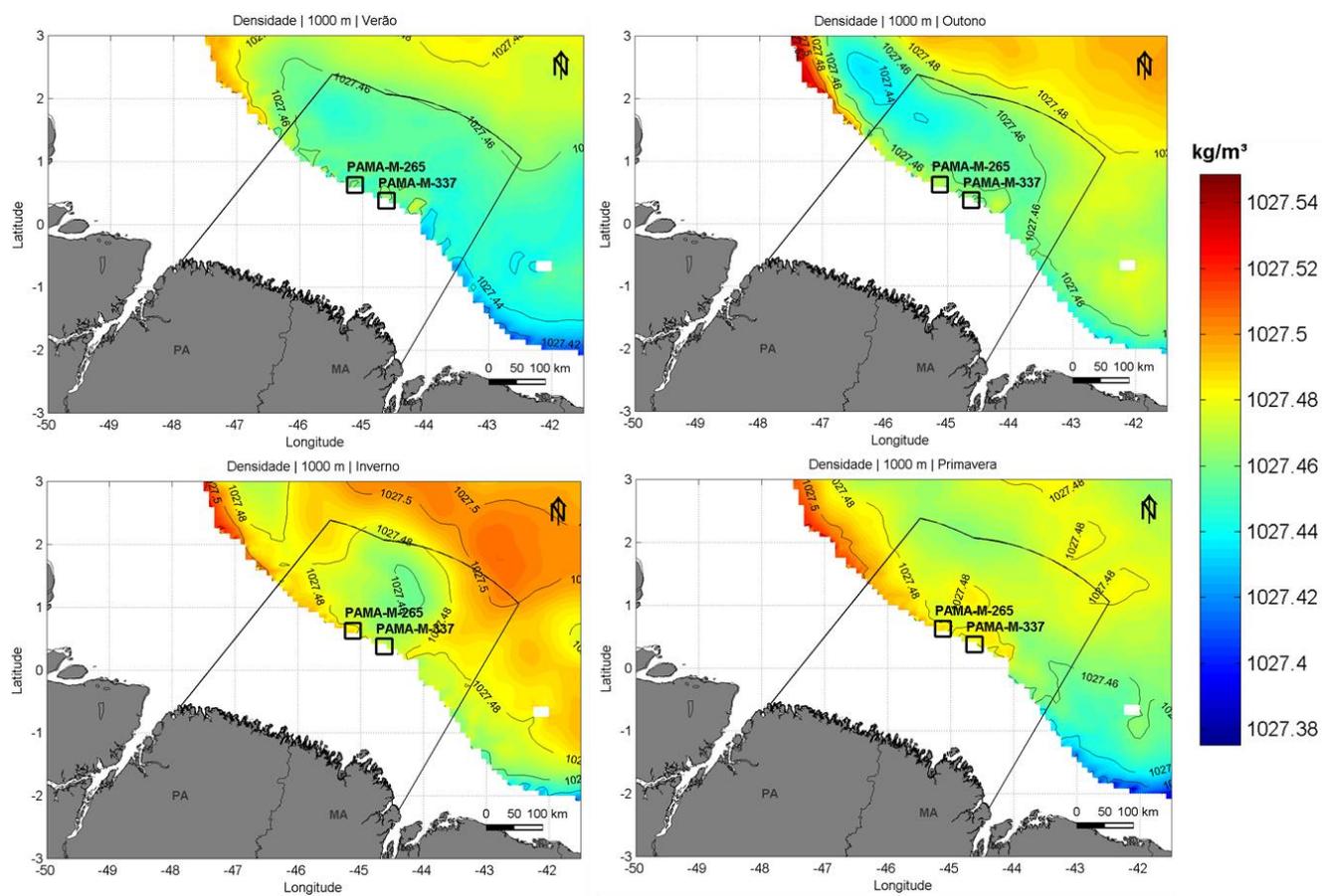


Figura II.5.1.2.2.A-40: Seção horizontal de densidade em 1000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

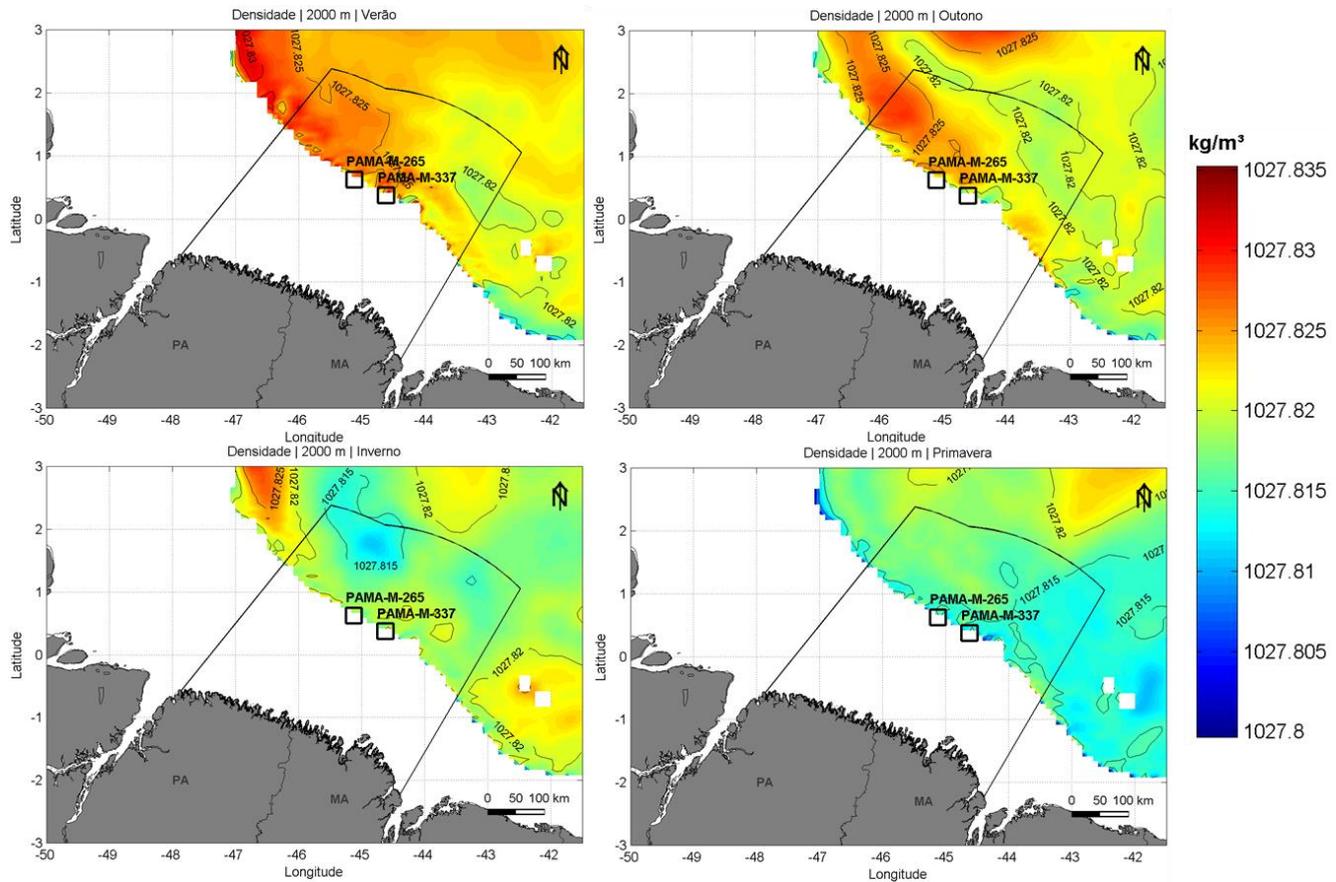


Figura II.5.1.2.2.A-41: Seção horizontal de densidade em 2000 m de profundidade, para as quatro estações do ano. Fonte: MyOcean.

A seguir, da Figura II.5.1.2.2.A-42Erro! Fonte de referência não encontrada. a Figura II.5.1.2.2.A-44Erro! Fonte de referência não encontrada., são apresentadas as seções verticais de temperatura, salinidade e densidade para os períodos de verão e inverno, elaboradas a partir dos dados do WOA13. Essas seções foram realizadas na longitude de 44,875°W passando pelo meio do bloco PAMA-M-265 E PAMA-M-337.

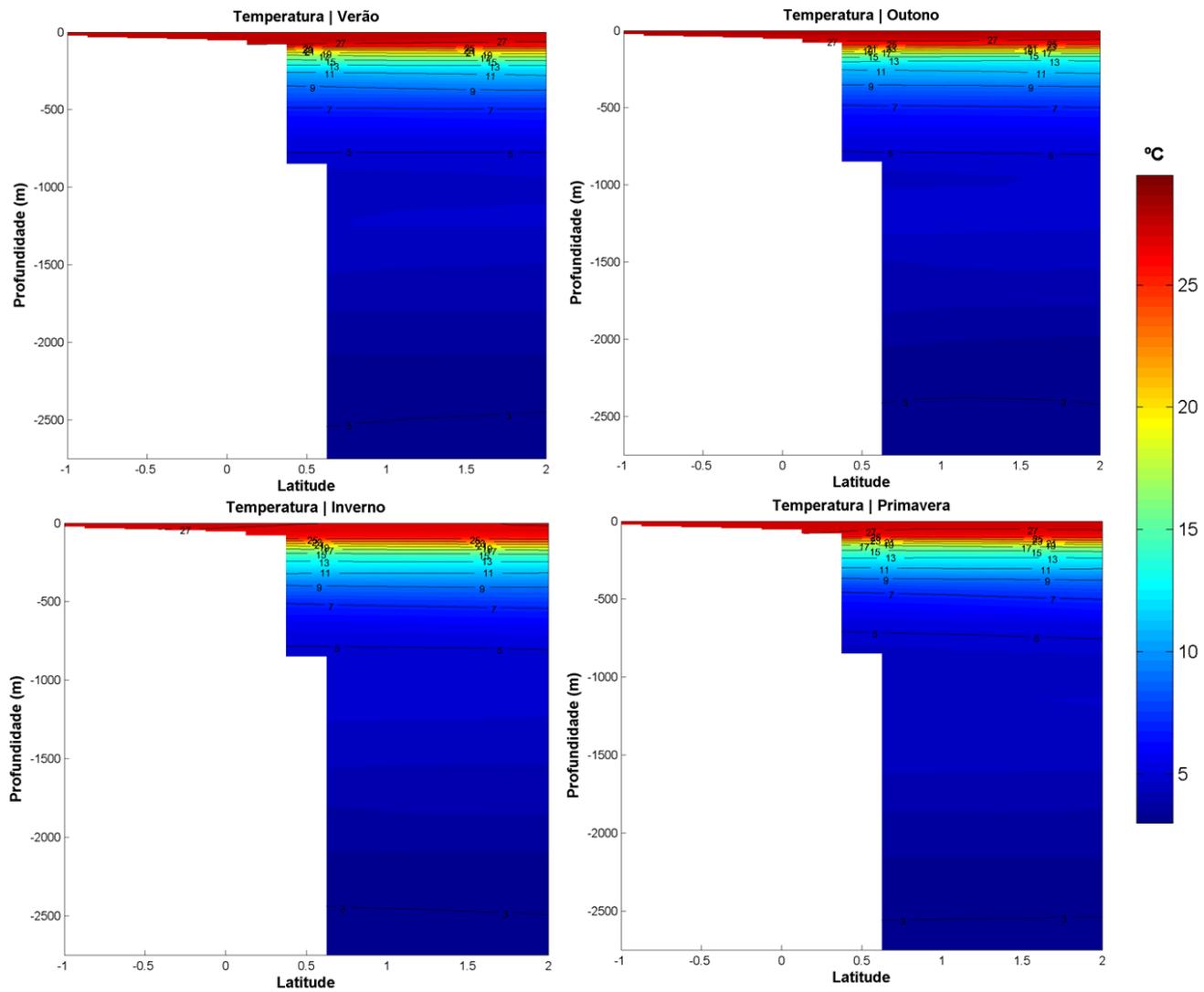


Figura II.5.1.2.2.A-42: Seção vertical de temperatura para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.

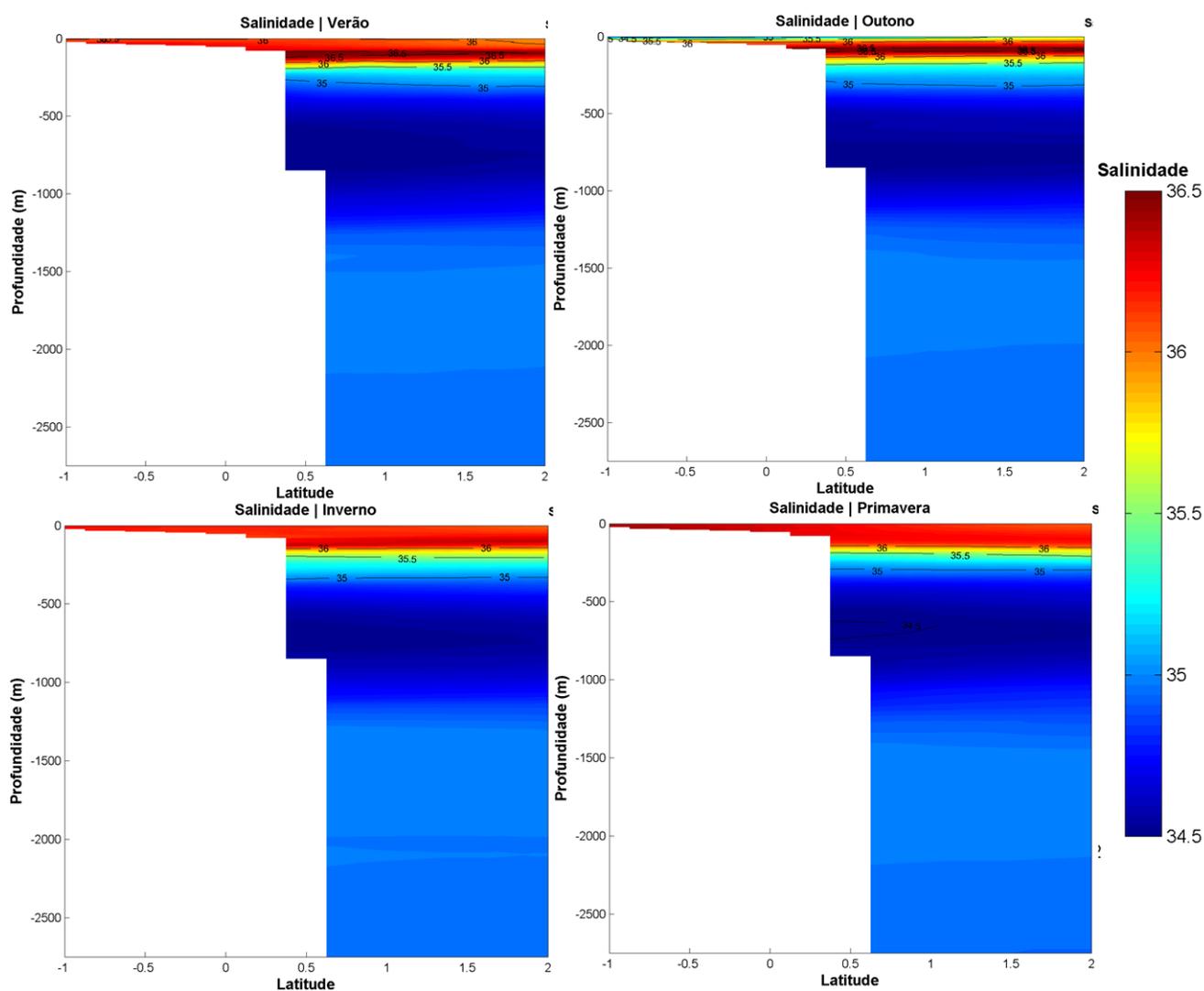


Figura II.5.1.2.2.A-43: Seção vertical de salinidade para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.

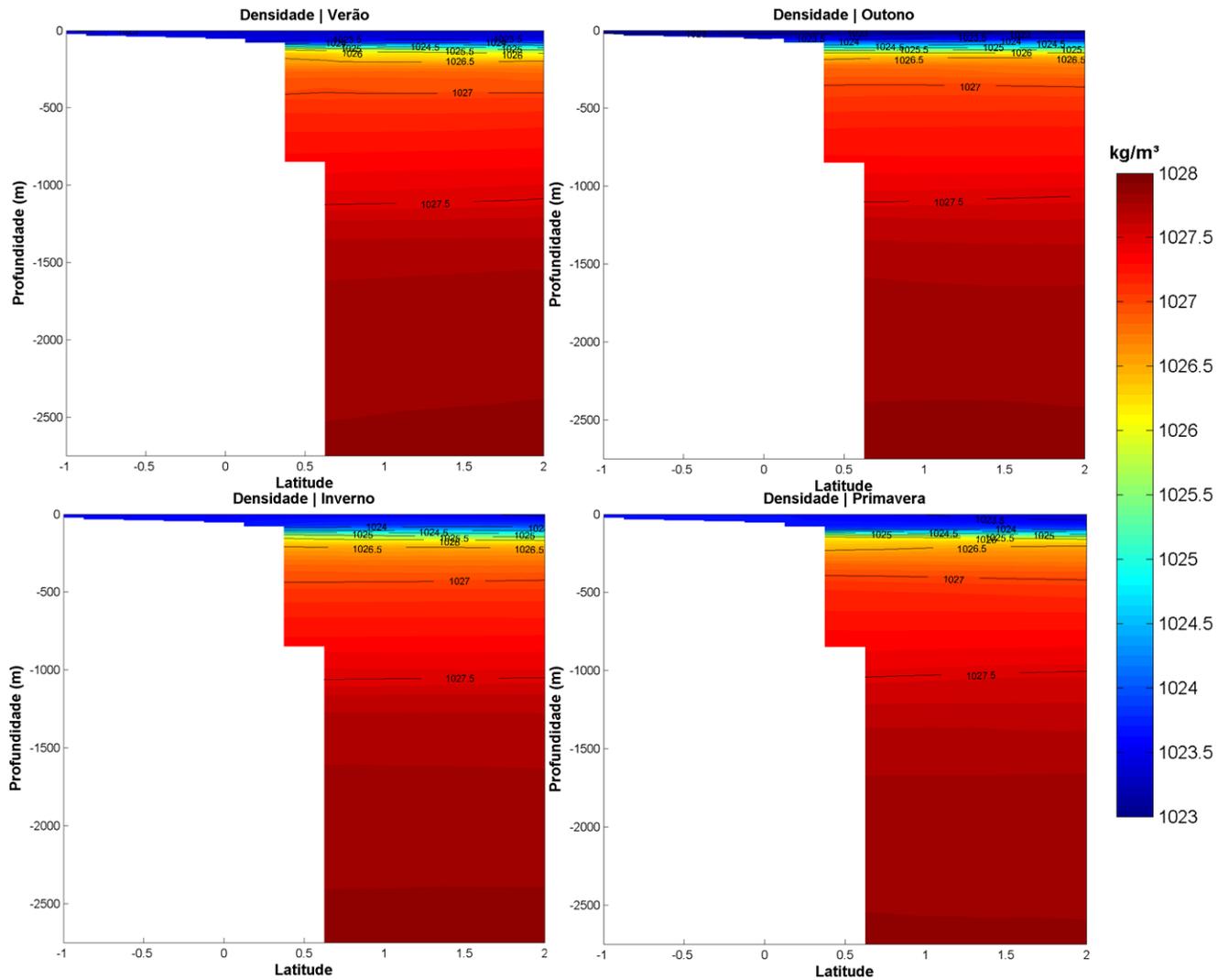


Figura II.5.1.2.2.A-44: Seção vertical de densidade para as quatro estações do ano na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337. Fonte: WOA13.

Através das seções verticais, verifica-se que não há uma sazonalidade expressiva na estrutura vertical termohalina da região. No período de outono destaca-se a presença de águas superficiais menos salinas, devido a maior descarga fluvial, e pluviosidade na região. Entre 500 e 1000 m de profundidade nota-se um núcleo de baixa salinidade associado à Água Intermediária Antártica (AIA).

Para o estudo da variabilidade sazonal da TSM foram utilizados dados satelitais disponibilizados pelo NCOF (*National Center for Ocean Forecast*) através do produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*). Este produto abrange todo o globo e possui alta resolução (~6 km). O produto é oferecido diariamente,

sendo resultado da combinação de diversos sensores infravermelhos e micro-ondas, além de dados *in situ* por meio de processo de Análise Objetiva. Este produto tem oferecido dados acurados de TSM, com um erro médio quadrático menor que 0,6°C, em alta resolução e disponibilizados em tempo quase real (STARK *et al.* 2007). A seguir, na Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura II.5.1.2.2.A-45, são apresentadas as médias sazonais para as quatro estações do ano, elaboradas a partir dos dados obtidos na região da Bacia Pará-Maranhão para o ano de 2013.

A grande vantagem da utilização do sensoriamento remoto para obtenção de dados de temperatura é que devido à elevada sensibilidade dos sensores que estão em operação, pequenas variações em áreas extensas podem ser capturadas, principalmente quando comparados a resultados obtidos a bordo de navios (SOUZA *et al.*, 2005).

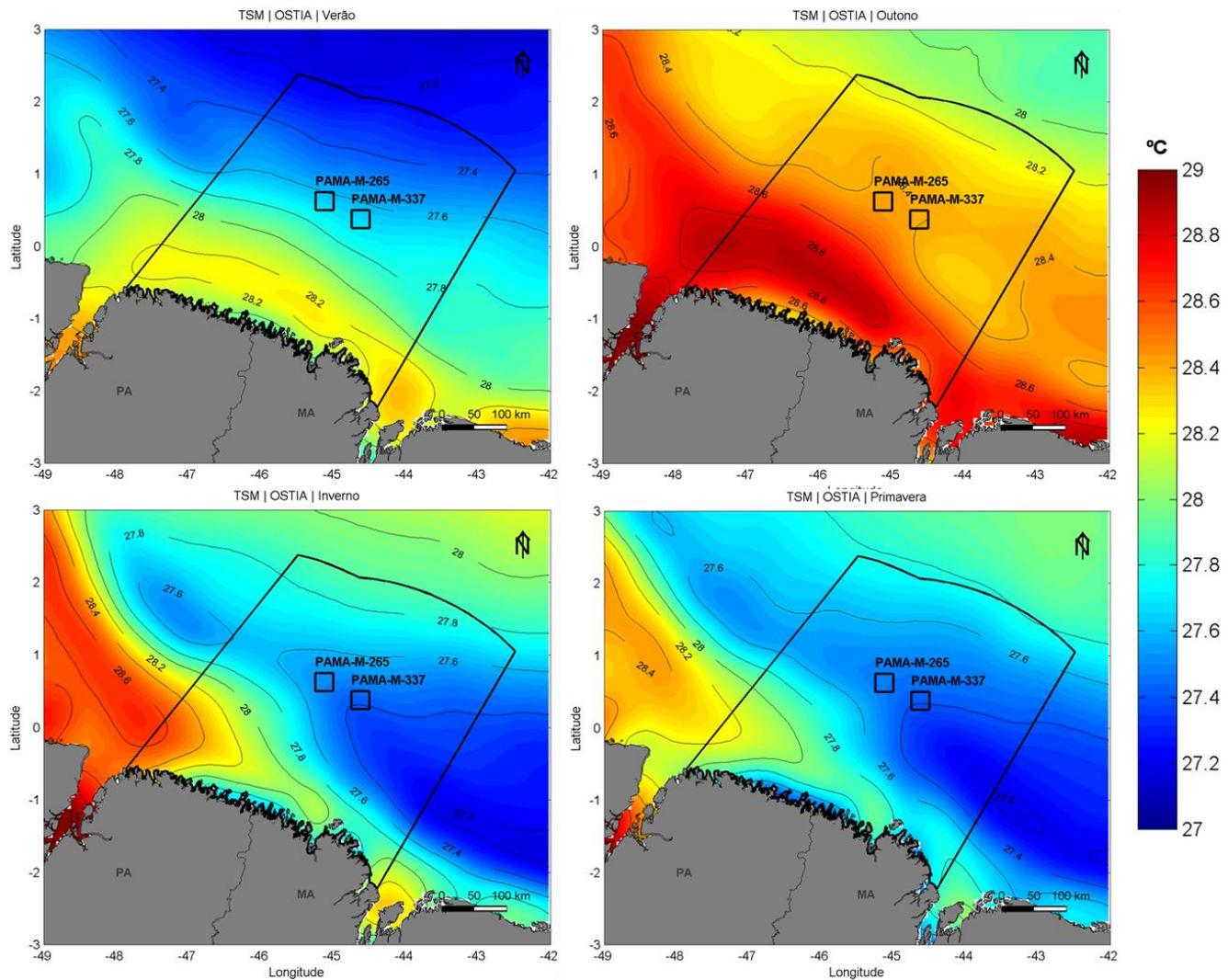


Figura II.5.1.2.2.A-45: TSM na região da Bacia Pará-Maranhão para as quatro estações do ano. Média para o ano de 2013.

Analisando as imagens observa-se que as maiores temperaturas na região da Bacia Pará-Maranhão, em média, são encontradas próximas à costa, e as águas mais frias em direção ao oceano. No período de outono, quando a ZCIT está mais próxima da região, são observados os maiores valores de TSM. A temperatura média na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 variou entre $-27,5$ na primavera e $28,5^{\circ}\text{C}$ no outono.

A variabilidade da TSM no Oceano Atlântico Tropical é caracterizada, principalmente, pelo ciclo sazonal associado à oscilação Norte-Sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), havendo também variações interanuais e decadais significativas. Destas variações interanuais, destacam-se eventos de aquecimento das águas na região equatorial do Atlântico, similares ao El Niño no Pacífico tropical (CLAUZET, 2001).

II.5.1.2.2.B. Massas d'água

Segundo Stramma & Schott (1999) e Castro & Miranda (1998), que realizaram uma descrição preliminar das massas d'água presentes na costa norte brasileira, espera-se encontrar as seguintes massas de água na região:

- Água Costeira (AC) – água de salinidade abaixo de 33 devido à influência que sofre do continente.
- Água Tropical (AT) – formada pela mistura de camadas do Tropical Atlântico, apresentando temperaturas em torno de 27°C .
- Água de Mistura (AM) – apresenta salinidade variando entre 33 e 36 e valores de temperatura acima de 18°C . Massa d'água proveniente da mistura entre AST e AC;
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS) – apresenta um mínimo de temperatura de 6°C e um máximo de 18°C ; e a salinidade oscila entre 34,5 e 36. Massa d'água situada entre a Água Superficial Tropical (AST) e a Água Intermediária Antártica (AIA). É formada na Convergência Subtropical. Chega ao Equador através da Corrente Norte do Brasil (CNB) e Contra Corrente Norte do Brasil (CCNB).
- Água Intermediária Antártica (AIA) – apresenta valores de temperatura entre $2,75^{\circ}\text{C}$ e 5°C e de salinidade entre 34,1 e 34,5. É proveniente da Convergência Antártica direcionando-se ao Atlântico Norte. Apresenta um mínimo de salinidade entre 700 e 1.100 m de profundidade.
- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) – apresenta valores de temperatura variando de 2°C a 3°C , sua salinidade oscila entre 34,7 e 35,5. Formada na região Ártica é observada entre 1.000 e 2.500 m de profundidade.

No estudo realizado por Molleri *et al.* (2006) foram apontadas zonas de transição entre as massas d'água. Os autores apresentam uma zona de transição entre a AC e a AT chamada de ZACAT, que representa a mistura entre a Água Costeira e a Água Tropical, e outra entre a AT e a ACAS, denominada ZATACAS.

Na **Figura II.5.1.2.2.B-1** são apresentados mapas do Oceano Atlântico mostrando em quais profundidades (**Figura II.5.1.2.2.B-1-a**) são encontrados valores mínimos de salinidade (**Figura II.5.1.2.2.B-1-b**), que indicam a presença da Água Intermediária Antártica.

É apresentada, na **Figura II.5.1.2.2.B-2**, uma seção vertical de salinidade variando com a latitude e a profundidade. Esta seção é indicada por um traço contínuo na **Figura II.5.1.2.2.B-1-a**.

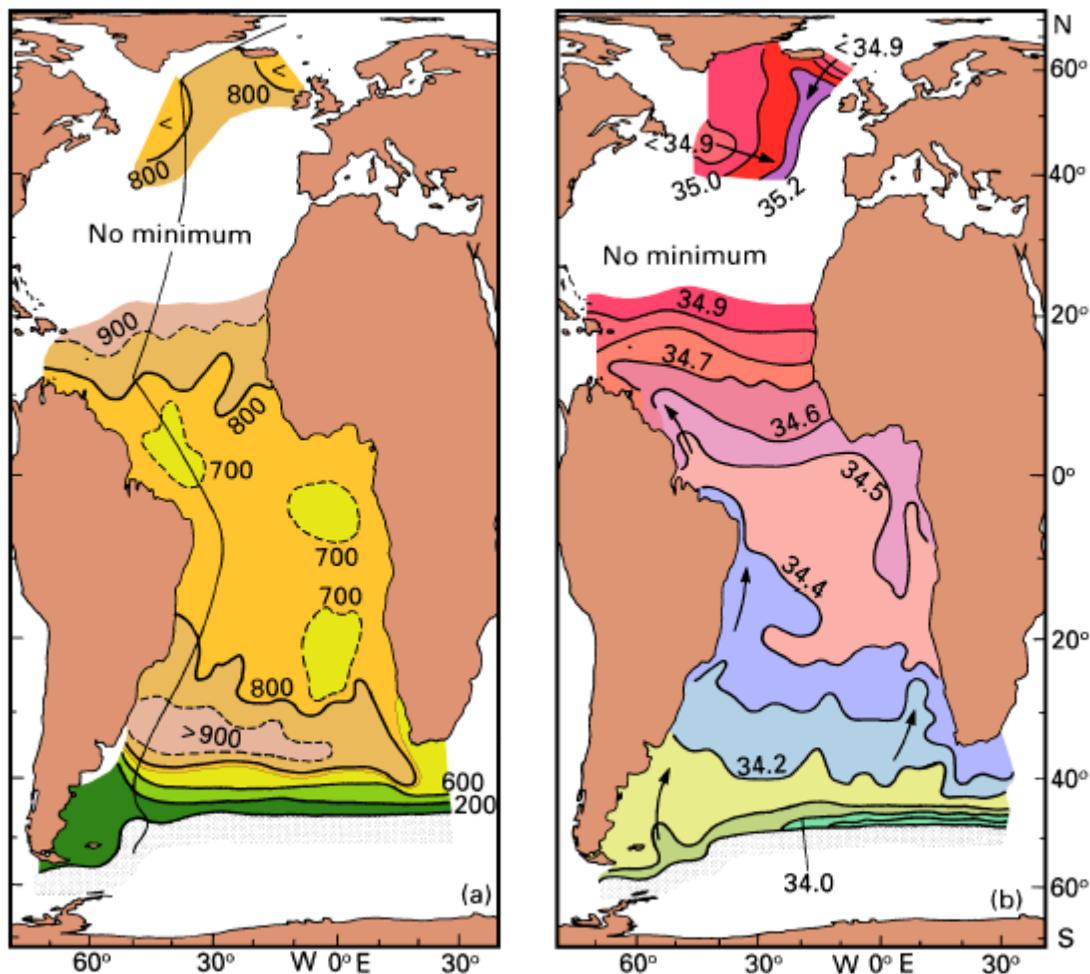


Figura II.5.1.2.2.B-1: Mapa dos valores mínimos de salinidade provocados pela Água Intermediária. (a) profundidade da mínima; (b) salinidade na profundidade mínima. Fonte: Tomczak & Godfrey, 1994.

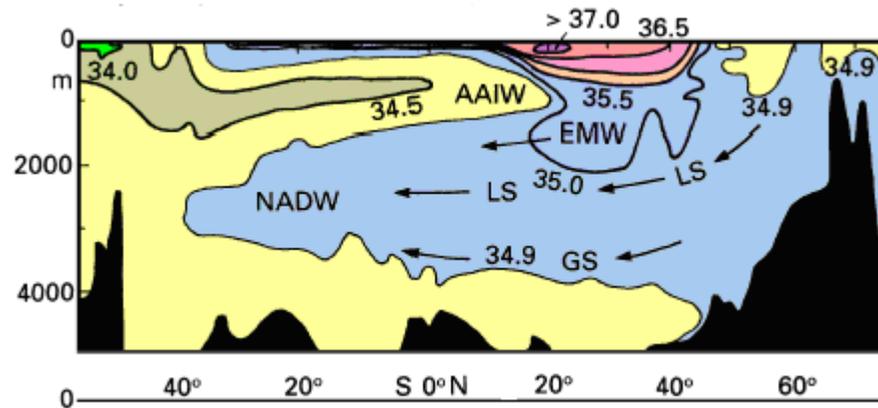


Figura II.5.1.2.2.B-2: Seção vertical de salinidade através da bacia oeste do Oceano Atlântico. AIA – Água Intermediária Antártica (AAIW), APAN - Água Profunda do Atlântico Norte (NADW), Mar do Labrador (LS), Mar da Groenlândia (GS), AME - Água Mediterrânea Eurafricana (EMW). Fonte: Tomczak & Godfrey, 1994.

Na figura acima é possível notar, para a latitude da Bacia Pará Maranhão (entre 2°S e 3° N), a presença da AIA e da APAN, além das águas mais superficiais com maiores valores de salinidade.

A avaliação das massas d’água presentes na região de interesse é feita a partir da análise de dados primários de temperatura e salinidade, coletados nas 8 estações da campanha de baseline na área dos blocos (Figura II.5.1.2.2.A-5).

Os dados obtidos foram tratados e observações com valores inferiores ou superiores a três vezes o desvio padrão para cada profundidade foram descartadas.

Nota-se que ambas as fontes apontam a presença das seguintes massas d’água na Pará-Maranhão, listadas na Tabela II.5.1.2.2.B-1: Água Tropical (AT), encontrada de 0 a 400 metros; Água Central do Atlântico Sul (ACAS), encontrada na região de 100 a 1000 metros; Água Intermediária Antártica (AIA), encontrada 400 a 1000 metros e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), encontrada a partir de 1000 metros de profundidade.

Baseado nos resultados obtidos a partir dos dados da campanha de baseline, também se observa a presença da Água de Mistura (AM) na região dos Blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

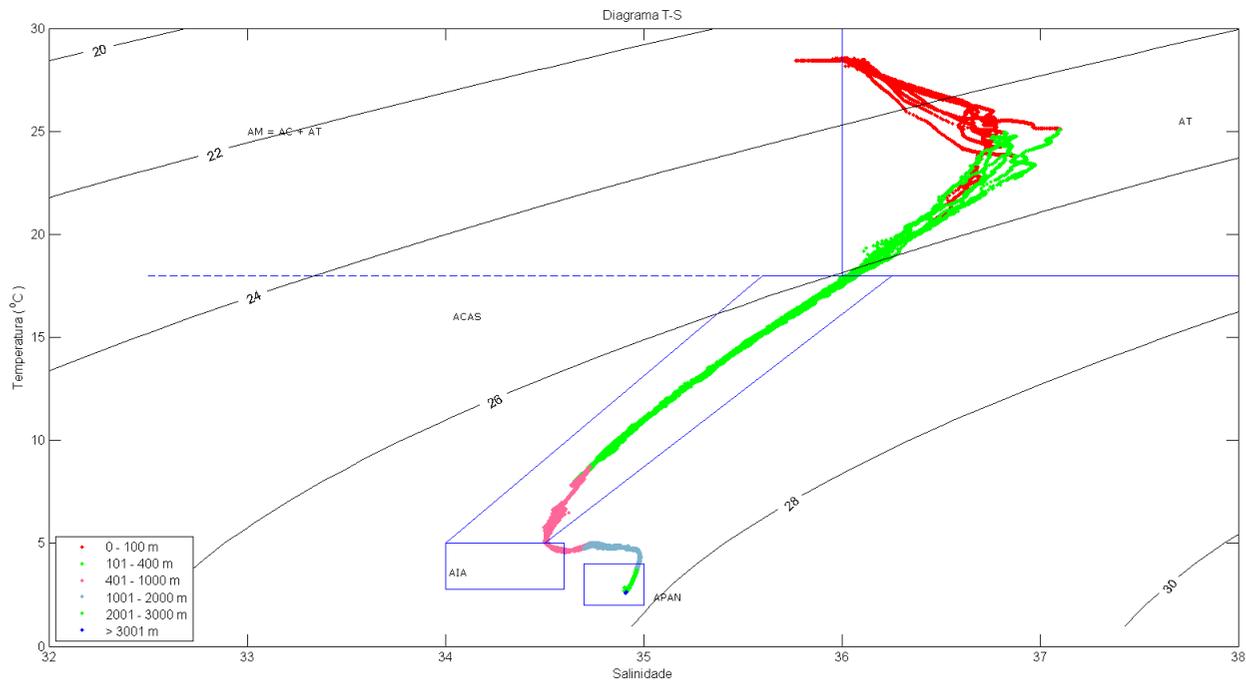


Figura II.5.1.2.2.B-3: Diagrama TS elaborado com os dados de temperatura e salinidade das 8 estações de coleta. Valores plotados sobre um gabarito de massas d'água retirado de Silva, et. al. (1982).

Tabela II.5.1.2.2.B-1: Massas d'água encontradas nas proximidades do bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337 e suas respectivas profundidades aproximadas.

Massa D'água	Profundidade (m)
AT	0 – 100
AM	0 – 100
ACAS	~100 – 400
AIA	400 – 1000
APAN	>1000

Para análise da variabilidade sazonal das massas d'água, foram elaboradas seções verticais da densidade da água do mar para as quatro estações do ano (**Figura II.5.1.2.2.B-4**). Essa análise foi feita com dados obtidos no WOA13, do NODC.

As massas d'água são inferidas a partir dos seus respectivos limites de densidade (linhas isopicnais).

Pode-se observar, novamente, através destas seções, a presença da AT entre 0 e 100 m de profundidade, a AIA entre 450 e 1000 m e a APAN entre 1000 e 3000 m. Não há uma variabilidade sazonal expressiva na distribuição vertical de massas d'água.

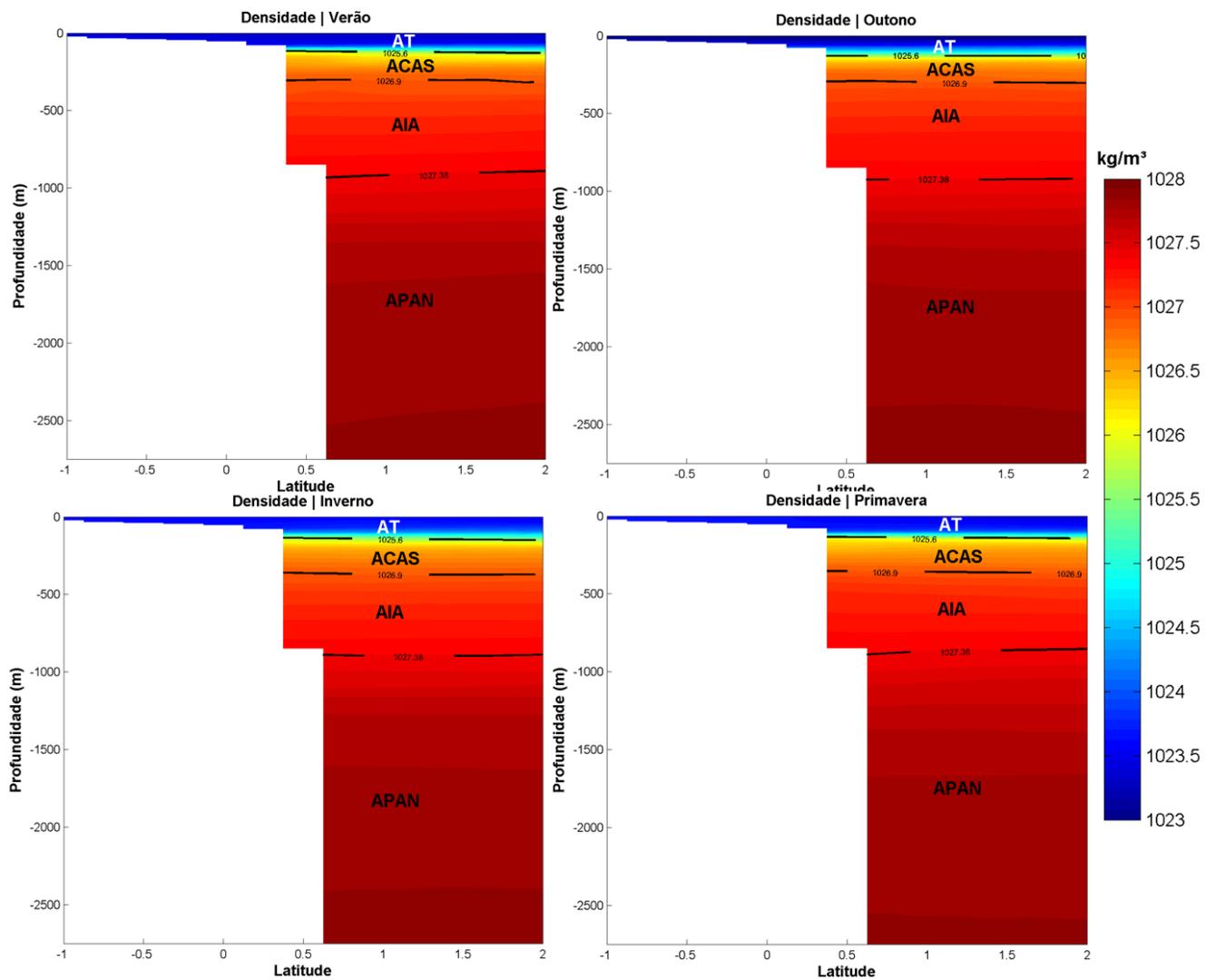


Figura II.5.1.2.2.B-4: Seção vertical de densidade climatológica nas quatro estações do ano. As linhas isopícnais representam os limites entre as massas d'água. Fonte: WOA13.

II.5.1.2.2.C. Correntes

Para análise da circulação na região da Bacia Pará-Maranhão, foram utilizados os dados da Análise Global do projeto MyOcean para o período compreendido entre janeiro de 2013 e dezembro de 2013.

Da Erro! Fonte de referência não encontrada.Figura II.5.1.2.2.C-1 a Figura II.5.1.2.2.C-5 são apresentados os campos médios elaborados para as quatro estações do ano, em 0, 100, 500, 1000 e 2000 m de profundidade.

Os resultados do MyOcean para o ano de 2013 demonstram que os blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 sofrem influência direta da CNB, que flui para NW na região, com velocidades médias de até 1,5 m/s.

A CNB é observada também nos mapas elaborados para as profundidades de 100 e 500m, entretanto com velocidades menores, aproximadamente 1 m/s em 100 m e 0,3 m/s em 500 m.

Observa-se que em 100 m e 500m há um sinal da retroflexão da CNB, que ocorre em áreas mais profundas nessa região, e em superfície a retroflexão da CNB é observada em áreas a noroeste da Bacia Pará-Maranhão.

Em 1000 m de profundidade, há um fluxo para NW durante a primavera, verão e outono, com inversão do fluxo para SE no inverno, sendo uma região de transição entre o fluxo da CNB, e o fluxo da Corrente de Contorno Profunda, que pode ser verificado em 2000 m.

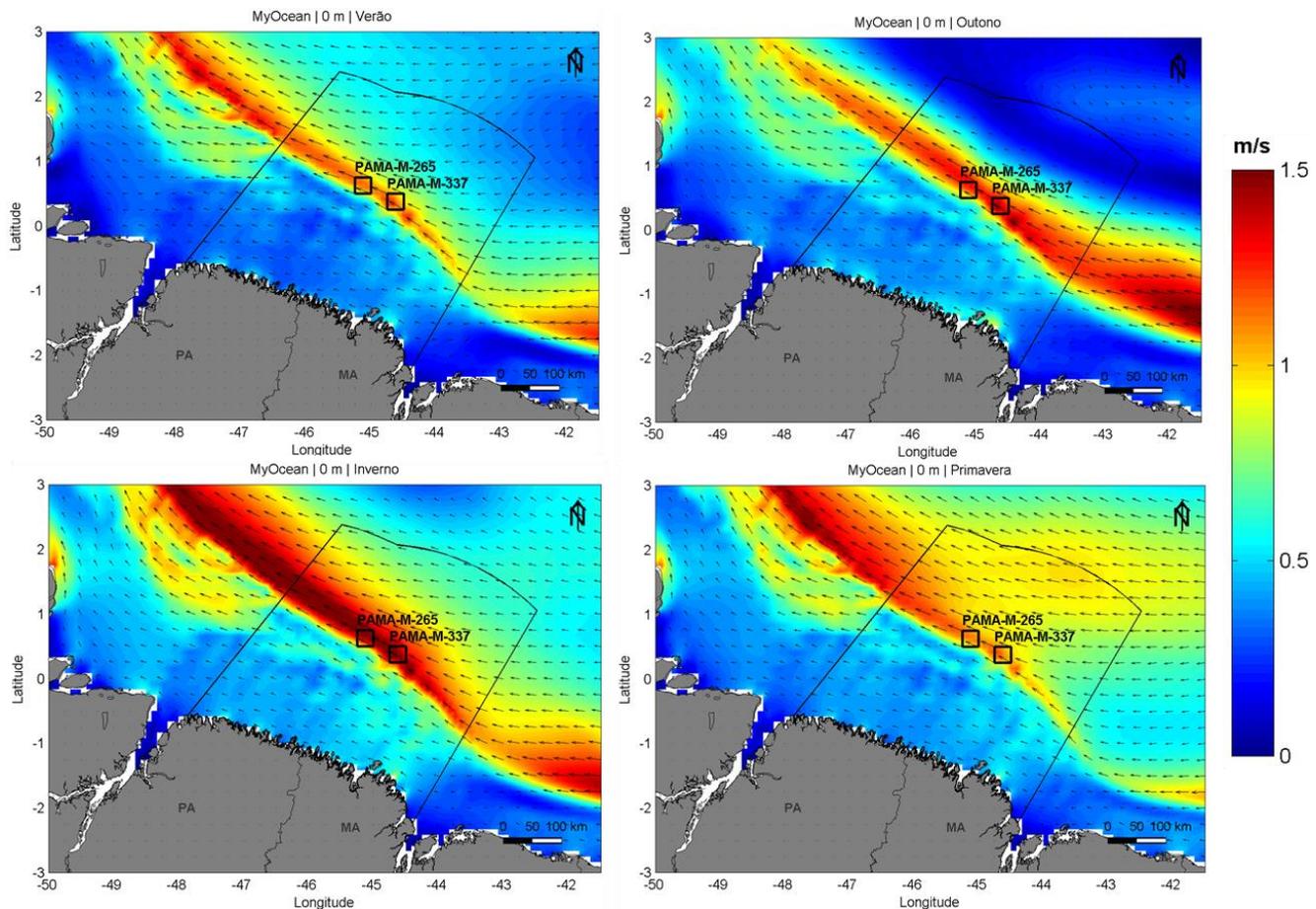


Figura II.5.1.2.2.C-1: Campo médio das correntes superficiais para as quatro estações do ano na região da Bacia Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.

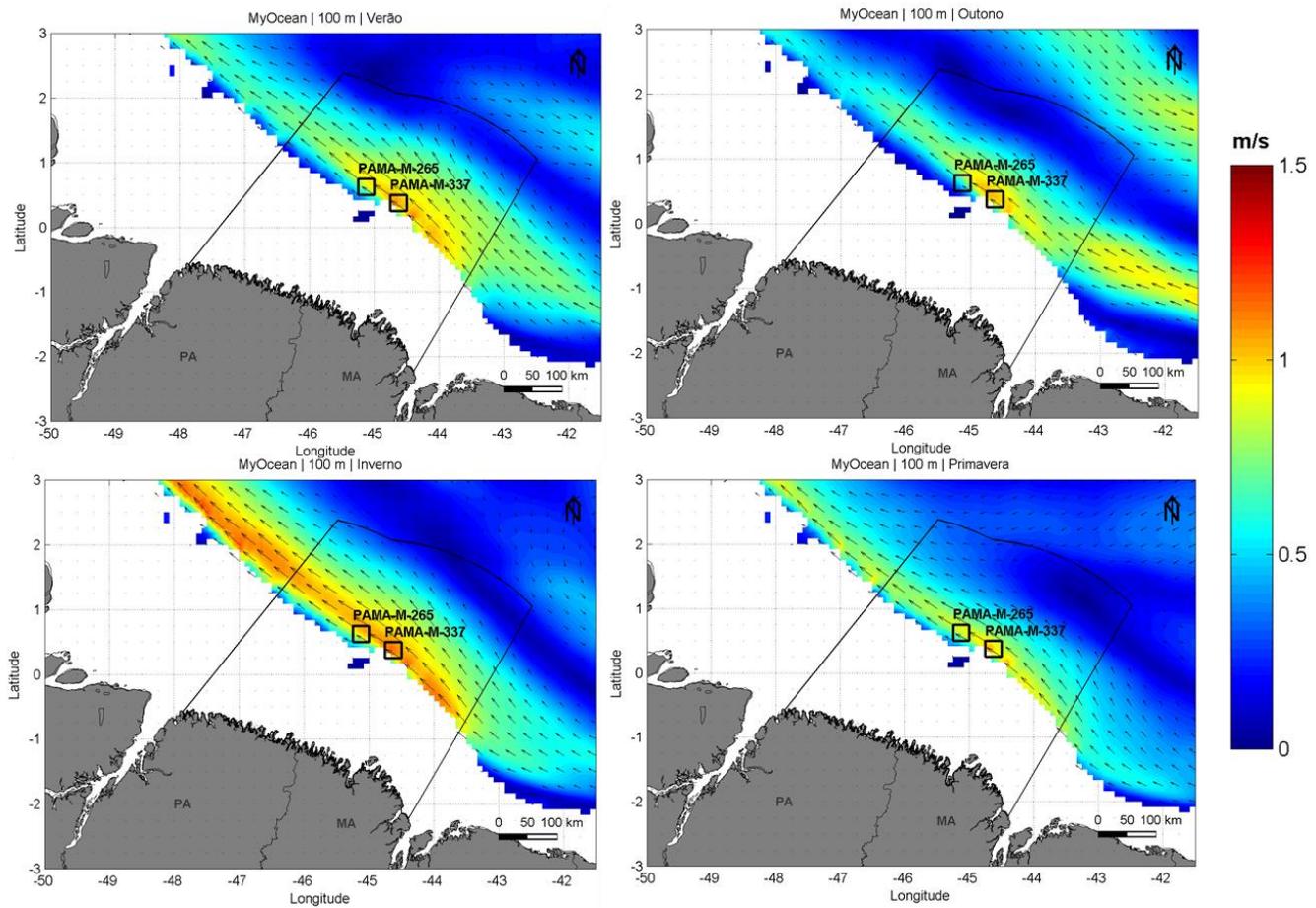


Figura II.5.1.2.2.C-2: Campo médio das correntes em 100 m de profundidade para as quatro estações do ano na região da Baía Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.

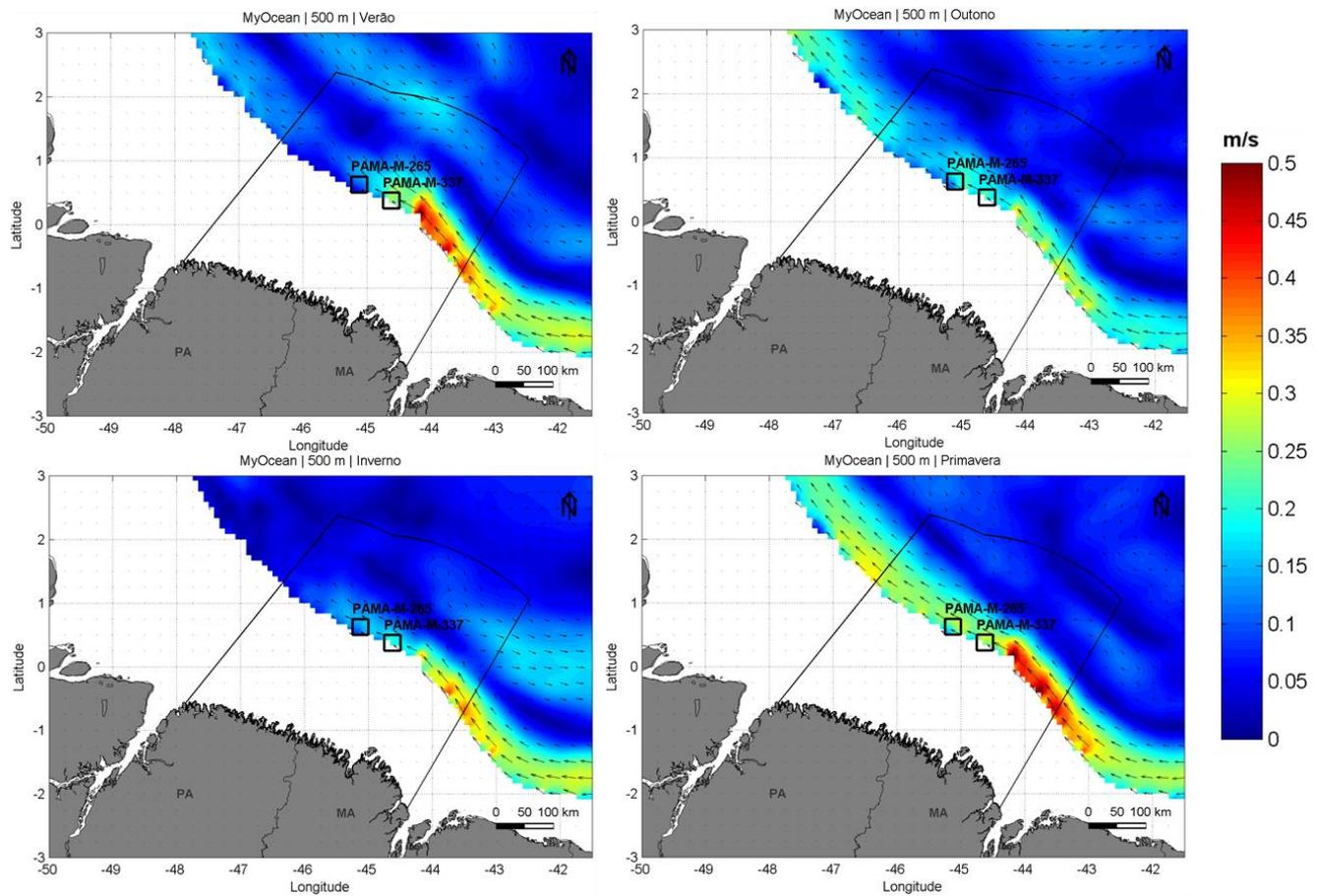


Figura II.5.1.2.2.C-3: Campo médio das correntes em 500 m de profundidade para as quatro estações do ano na região da Bacia Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.

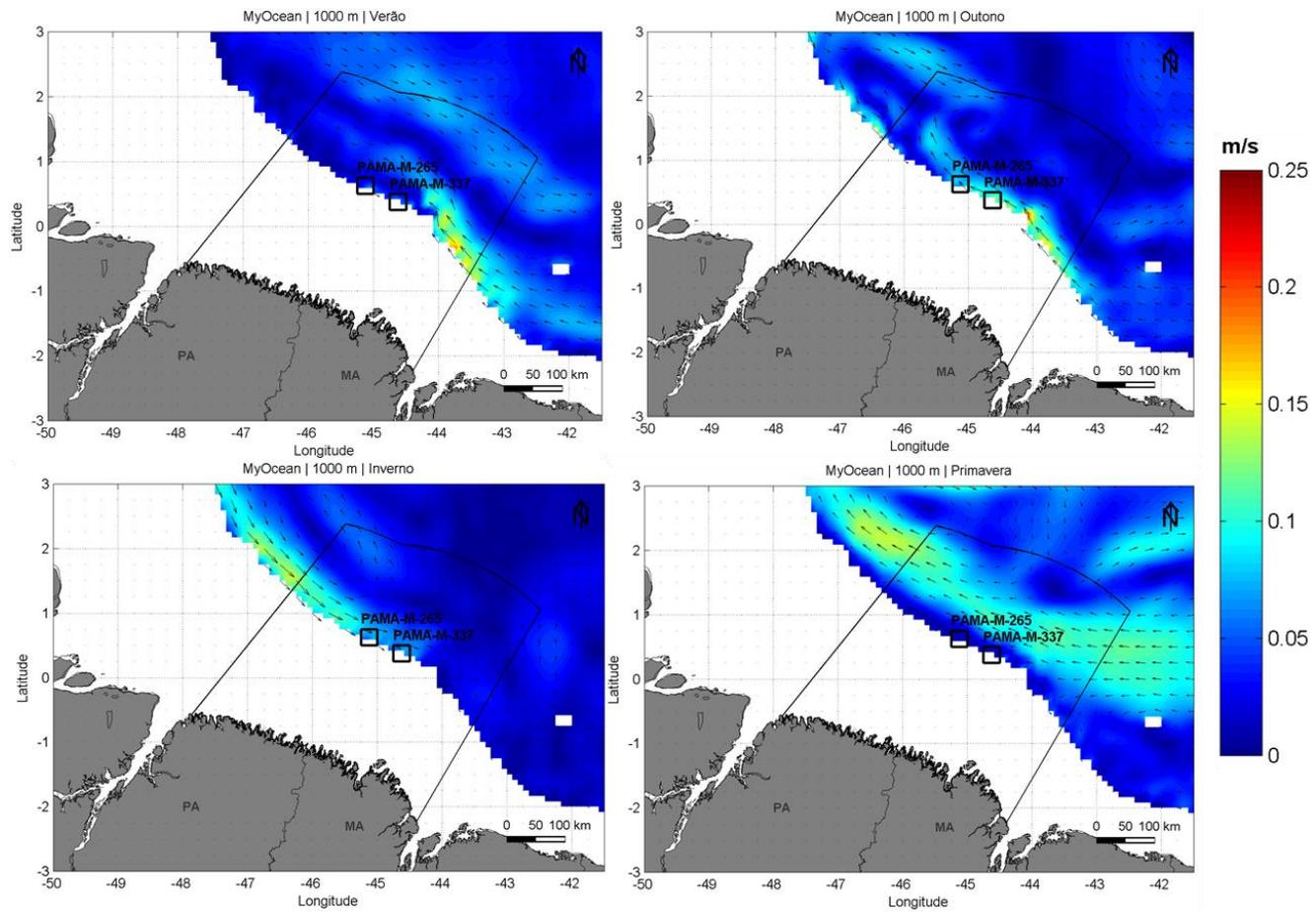


Figura II.5.1.2.2.C-4: Campo médio das correntes em 1000 m de profundidade para as quatro estações do ano na região da Baía Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.

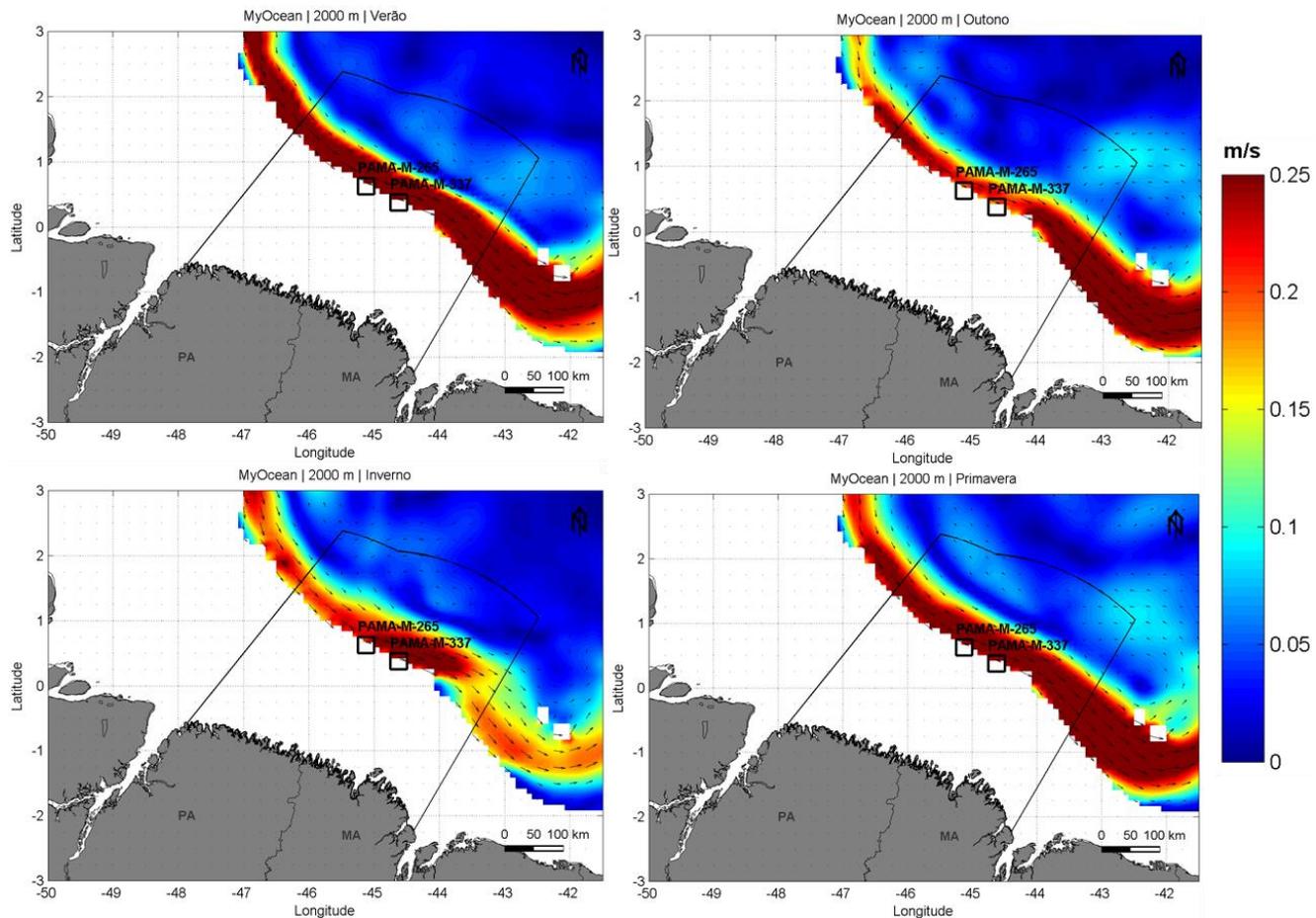


Figura II.5.1.2.2.C-5: Campo médio das correntes em 2000 m de profundidade para as quatro estações do ano na região da Bacia Pará-Maranhão. Figura gerada a partir dos resultados do MyOcean.

Para auxiliar a caracterização das correntes em superfície na região da Bacia do Pará-Maranhão, uma importante fonte de informações consiste nos dados de derivadores superficiais do *Global Drifter Program* (GDP), gerenciado pelo *Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory* (AOML/NOAA). Esta base de dados agrupa os dados brutos dos derivadores, aplicando um controle de qualidade, e interpolando os dados via krigging, para intervalos regulares de 6 horas. Os dados transmitidos pelas boias são disponíveis na internet no endereço (AOML, 2013). Para a análise em questão foram obtidos os dados de todos os derivadores que passaram na região do domínio de modelagem, entre agosto de 1997 e setembro de 2013.

Na **Figura II.5.1.2.2.C-6** são apresentados os vetores de corrente para o período de verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro) na região da Bacia Pará-Maranhão.

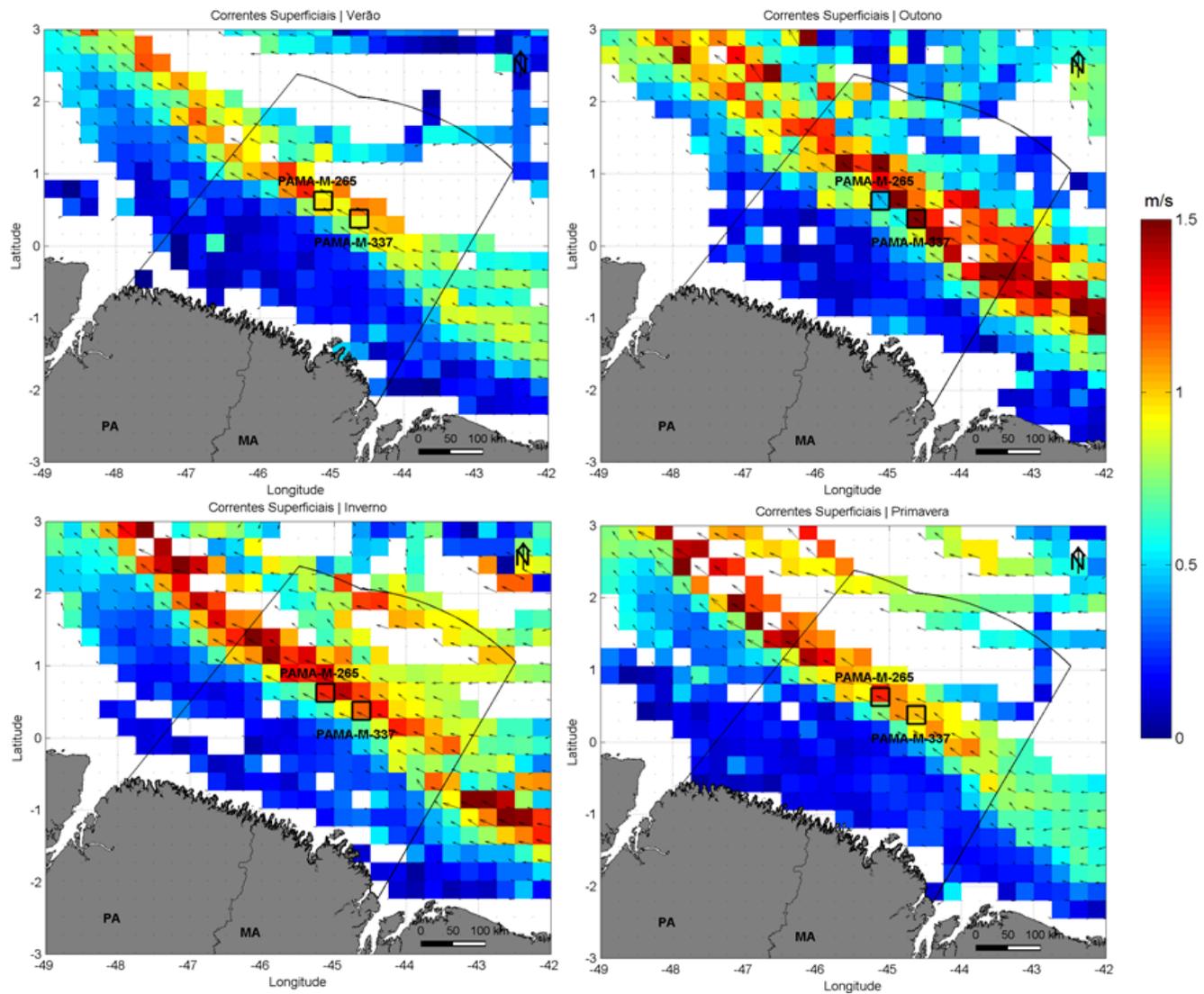


Figura II.5.1.2.2.C-6: Velocidade das correntes (m/s) obtidas dos derivadores, para as quatro estações do ano. Fonte dos dados: GDP.

É possível observar, baseado nos dados analisados, que as correntes superficiais na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 apresentam sentido preferencial noroeste, indicando, de acordo com a bibliografia, a presença da CNB. Nos períodos de outono e inverno, a intensidade da CNB apresenta-se maior quando comparada com o período de verão e primavera.

Para o estudo da estrutura vertical de correntes no talude nas proximidades dos Blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, também foram utilizados os dados de corrente obtidos do Programa Current Meter Data do World Ocean

Circulation Experiment (WOCE), da Oregon State University. A base de dados do WOCE consiste em um arranjo de linhas de fundeios na bacia norte do Brasil, contemplando a região do fluxo principal da CNB. O arranjo ACM7 contém o fundeio K359, localizado na latitude de 0,243° N e longitude 44,310° W (Figura II.5.1.2.2.C-7). Destaca-se que este fundeio foi efetuado de outubro de 1992 a fevereiro de 1994.

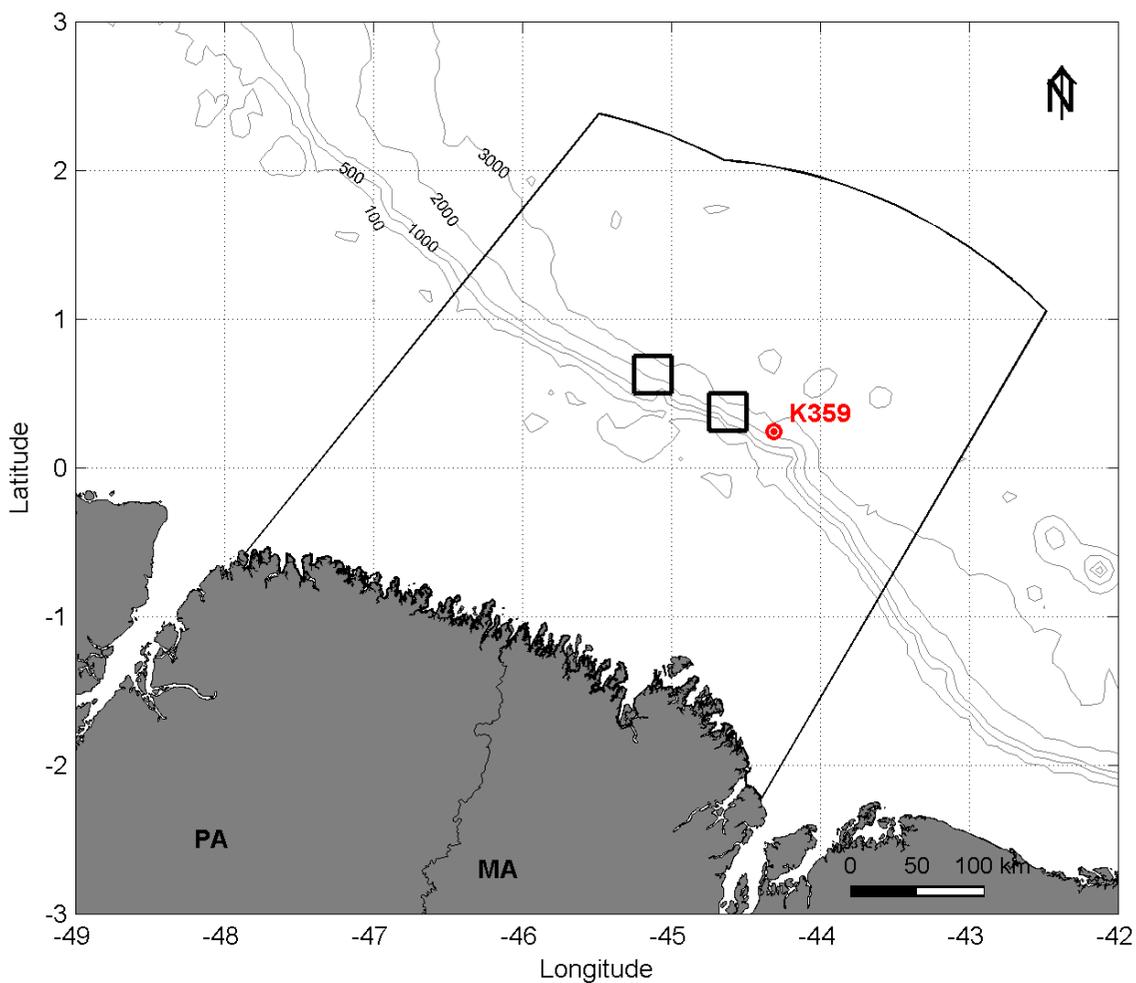


Figura II.5.1.2.2.C-7: Localização do fundeio K359 do WOCE.

Na Figura II.5.1.2.2.C-8 são apresentados os perfis verticais médios, retirados dos dados do WOCE. Os dados foram interpolados em profundidades adicionais para uma melhor visualização.

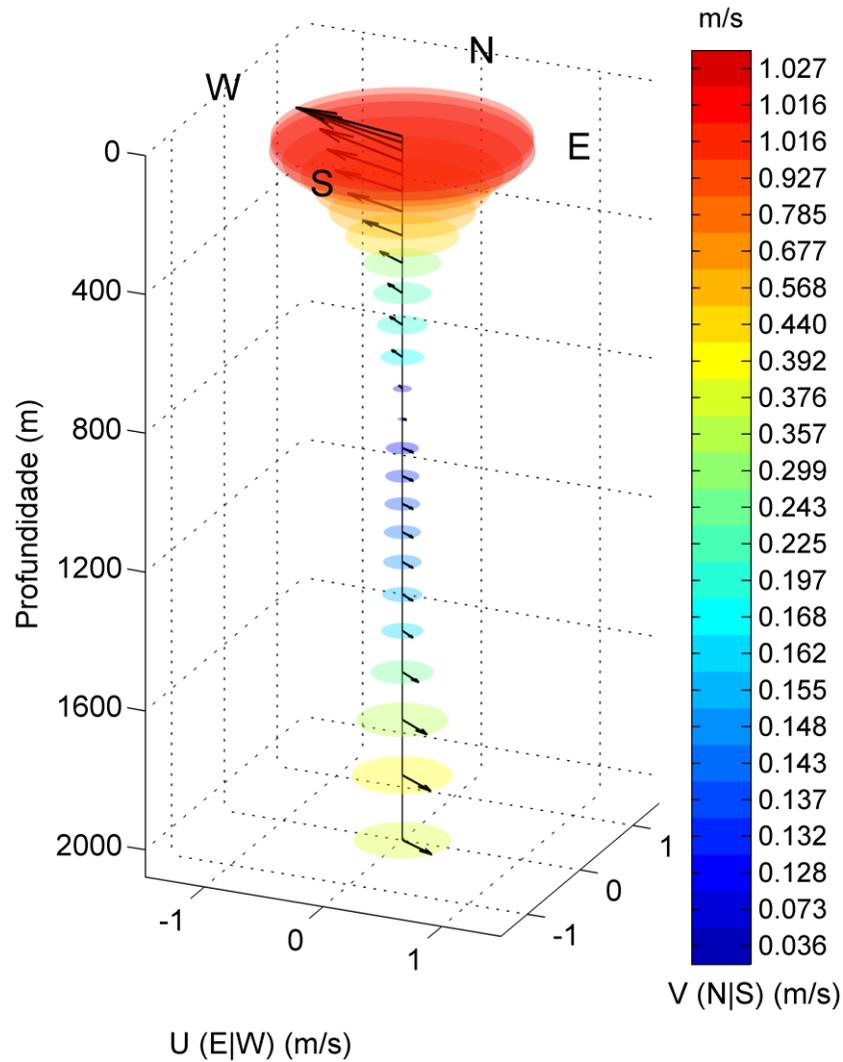


Figura II.5.1.2.2.C-8: Perfil médio de correntes do fundo K359. Fonte dos dados: WOCE.

O perfil vertical médio obtido no WOCE apresenta correntes superficiais para WNW, com intensidades médias próximas a 1 m/s. Entre a superfície e 600 m de profundidade há uma diminuição gradativa das intensidades. De 800 a 2000 m de profundidade há uma inversão do fluxo para ESSE, com intensidades médias da ordem de 0,3 m/s.

Na **Figura II.5.1.2.2.C-9** e na **Figura II.5.1.2.2.C-10** são apresentadas as rosas de corrente para as profundidades de 50, 100, 151, 200, 450, 700, 947, 1500, 1786 e 2100m.

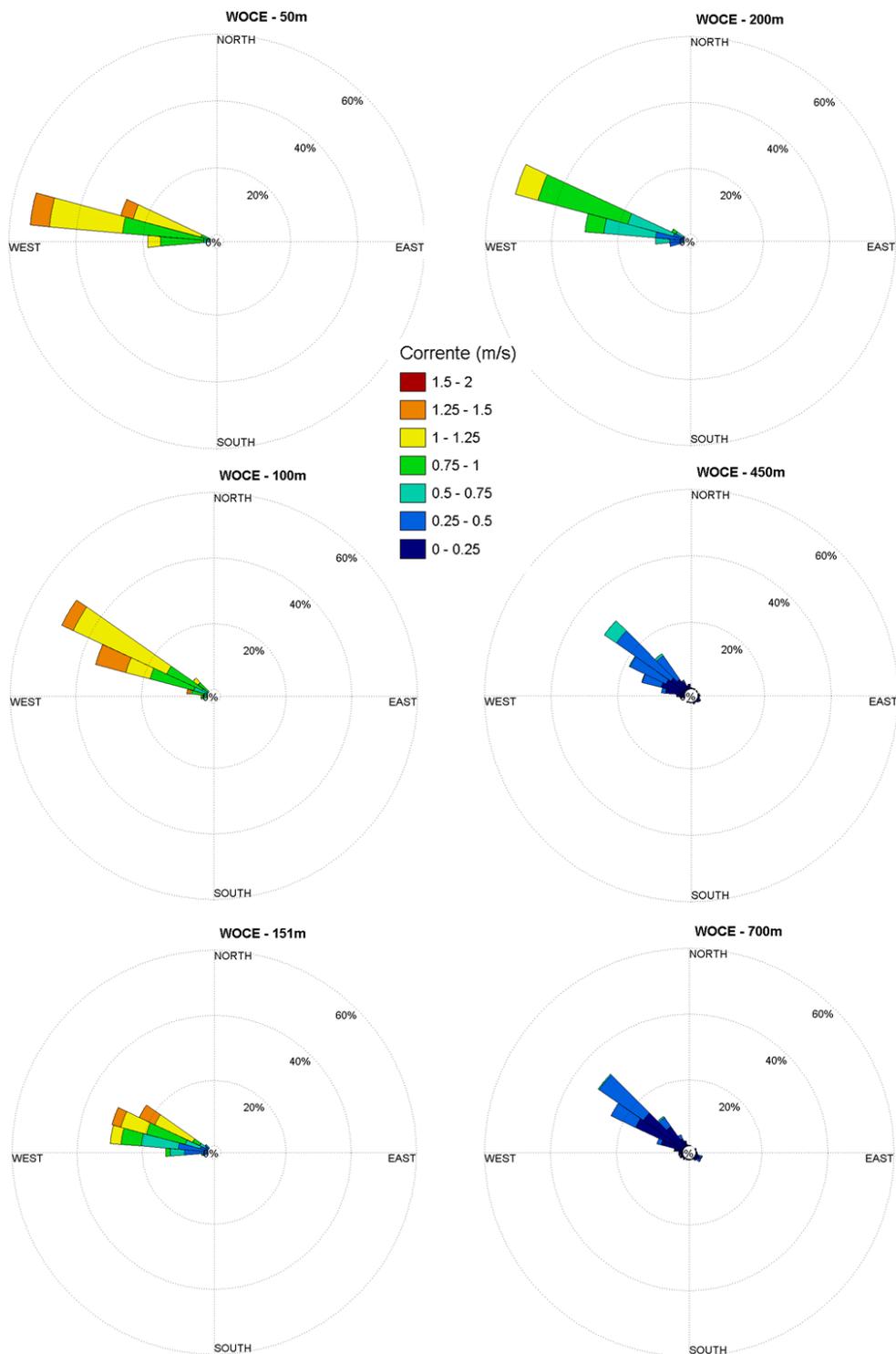


Figura II.5.1.2.2.C-9: Rosas de correntes obtidas do fundeio do WOCE para as profundidades de 50, 100, 151, 200, 450 e 700 m. Fonte dos dados: WOCE.

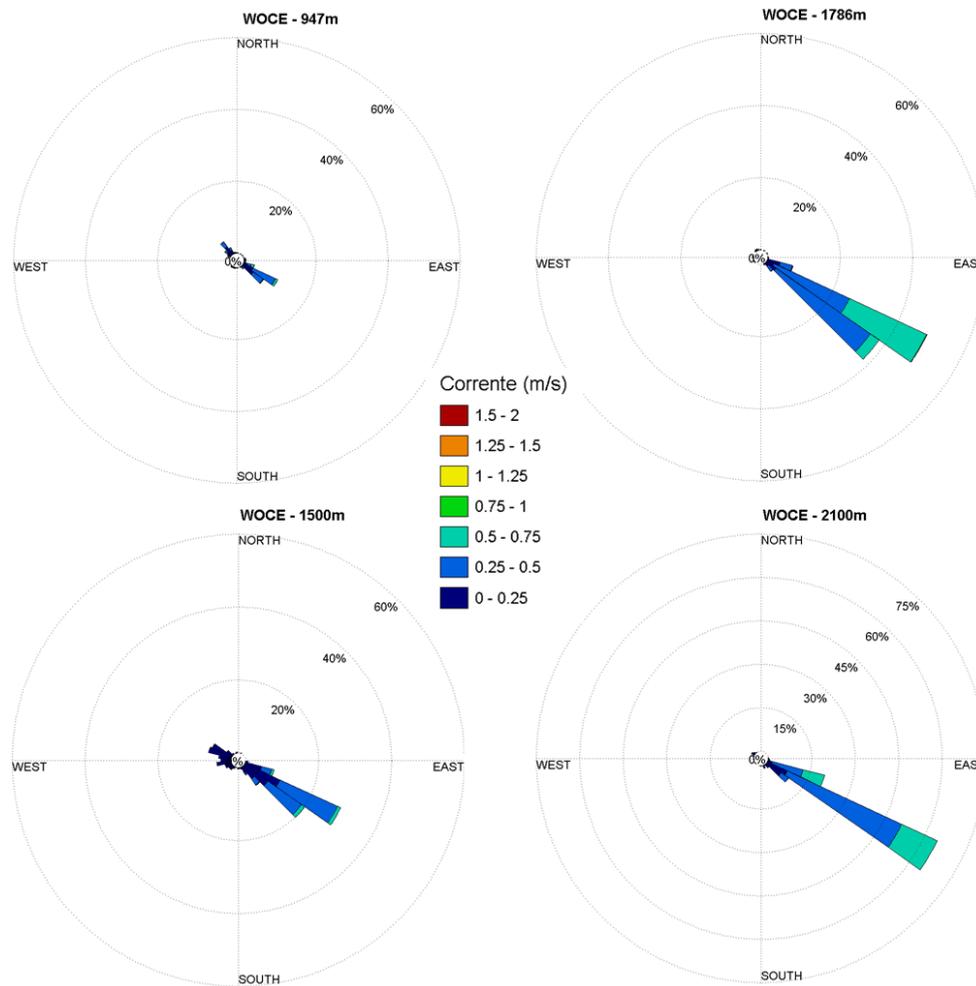


Figura II.5.1.2.2.C-10: Rosas de correntes obtidas do fundeio do WOCE para as profundidades de 947, 1500, 1786 e 2100m. Fonte dos dados: WOCE.

Nota-se o núcleo da CNB, com correntes para NW entre 50 e 200 m de profundidade, com velocidades típicas entre 0,75 e 1,5 m/s. Entre 400 e 700 m, ainda são observadas correntes para NW, entretanto há uma redução nas intensidades. Entre os níveis de 947 m e 1500 m, o fluxo é bidirecional, WNW e ESSE, aumentando o percentual de correntes para ESSE com o aumento da profundidade. Em 1786 e 2100 m, o fluxo é invertido totalmente para ESSE, e as velocidades típicas estão entre 0,25 e 0,5 m/s.

Na Figura II.5.1.2.2.C-11 são apresentados os stickplots para as correntes nos níveis de 450, 700, 947, 1500, 1786 e 2100 m. Os níveis mais superficiais, entre 50 e 200 m de profundidade, têm dados apenas para os três primeiros meses, e apresentam padrão bastante unidirecional, não sendo adequada sua apresentação na forma de stickplots.

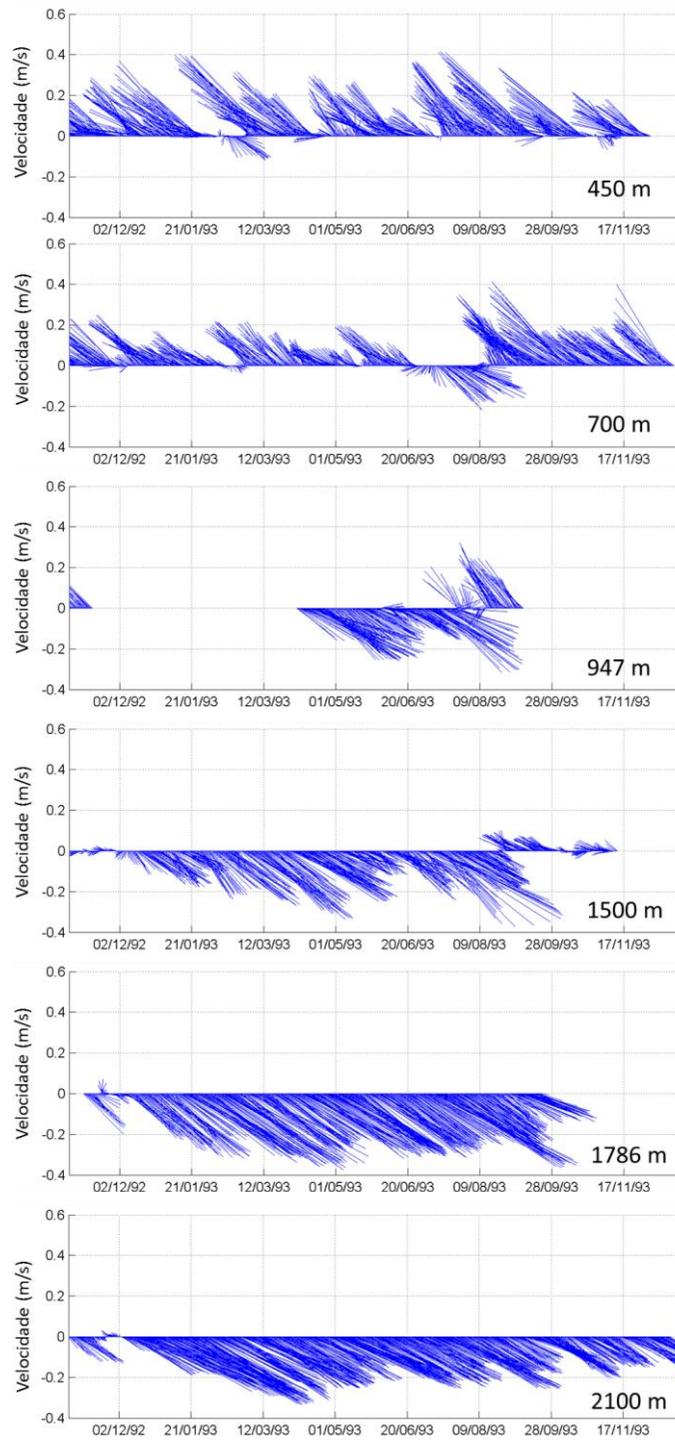


Figura II.5.1.2.2.C-11: Stickplots de corrente para os níveis de 450, 700, 947, 1500, 1786 e 2100 m. Fonte dos dados: WOCE.

Através dos stickplots apresentados, pode-se perceber melhor o padrão bidirecional das correntes entre 700 e 1500 m de profundidade. No nível de 700 m, as correntes fluíram para NW ao longo de quase todo período, entretanto, entre junho e agosto nota-se uma alteração no sentido das correntes para SE. Em 947 m esse padrão fica mais evidente. Apesar da curta extensão da série temporal nesse período, há um maior percentual de correntes para ESSE, e inversão para NW após o mês de agosto. A inversão das correntes a partir de agosto também pode ser observada em 1500 m, sugerindo uma sazonalidade nestas inversões.

De forma complementar, a Tabela II.5.1.2.2.C-1 apresenta a ocorrência conjunta de intensidade e direção das correntes superficiais elaborada com os dados do WOCE.

Tabela II.5.1.2.2.C-1: Ocorrência conjunta de intensidade e direção de correntes superficiais na região da bacia oceânica.

Fonte dos dados: ROMS.

Direção >>		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Velocidade (m/s)											
0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
0,5	0,75	0	0	0	0	0	0	8	0	8	3,81%
0,75	1	0	0	0	0	0	0	84	0	84	40,00%
1	1,25	0	0	0	0	0	0	98	0	98	46,67%
1,25	1,5	0	0	0	0	0	0	20	0	20	9,52%
1,5	1,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
	>1,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
Total		0	0	0	0	0	0	210	0	210	-
Freq (%)		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	-	-

Em outra avaliação do regime de correntes na região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 e plataforma continental adjacente, foram utilizados os resultados da modelagem hidrodinâmica desenvolvida com o *Regional Ocean Modeling System* (ROMS) para os estudos de dispersão de óleo. O modelo possui resolução espacial de 1/16° e temporal de 2 h. A localização dos pontos de grade de onde foram extraídos os resultados pode ser observada na **Figura II.5.1.2.2.C-12**, onde estão representados um ponto em cada província fisiográfica da região, plataforma continental, talude e bacia oceânica. Todos os resultados apresentados são referentes ao ano de 2013.

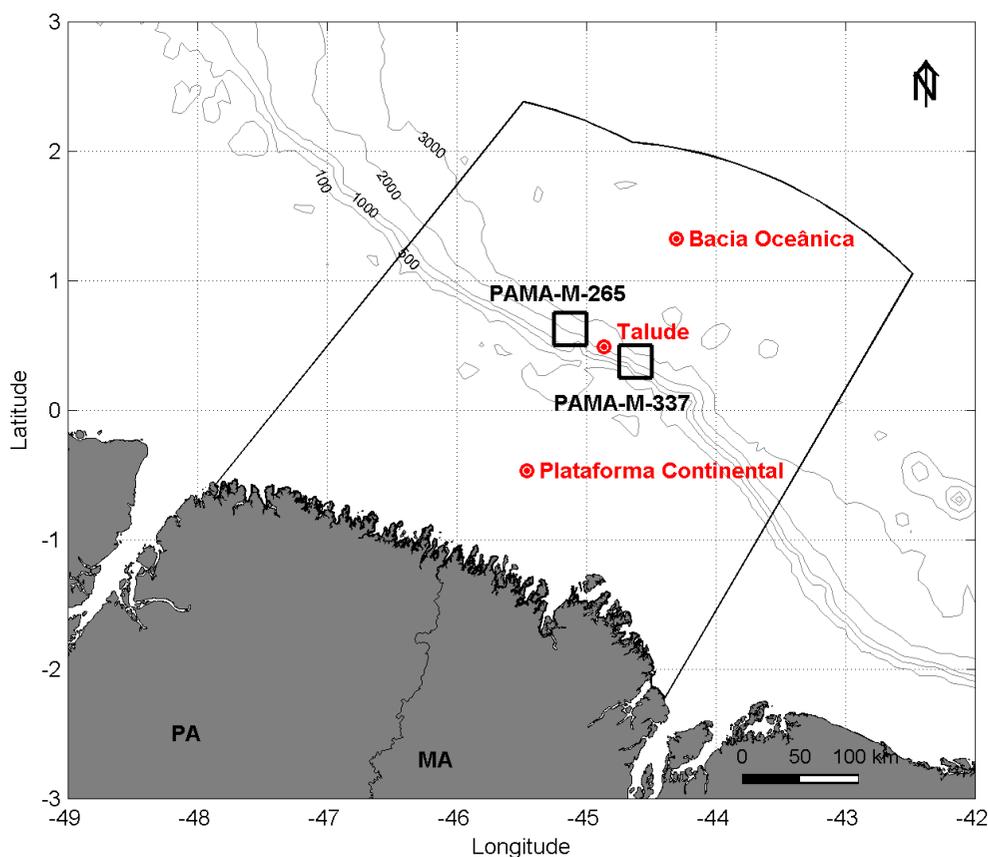


Figura II.5.1.2.2.C-12: Localização dos pontos de grade ROMS utilizados para análise de correntes no talude, plataforma continental e bacia oceânica.

A seguir, da **Figura II.5.1.2.2.C-13** a **Figura II.5.1.2.2.C-17** são apresentadas rosas de correntes, série temporal e intensidade média de correntes, stickplots para todos os meses do ano e gráfico com parâmetros estatísticos para a região da bacia oceânica.

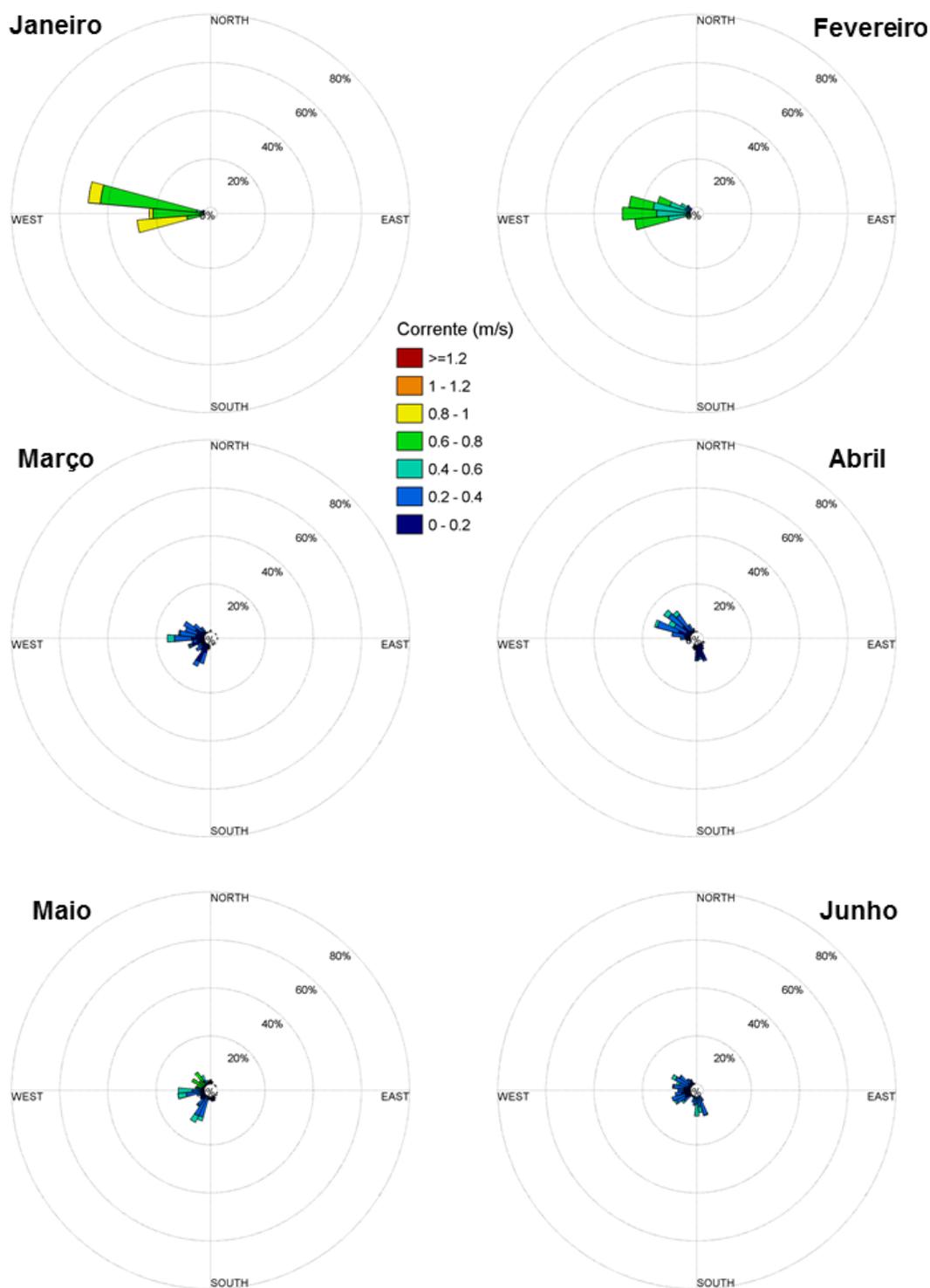


Figura II.5.1.2.2.C-13: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise na bacia oceânica para os meses de janeiro a junho. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

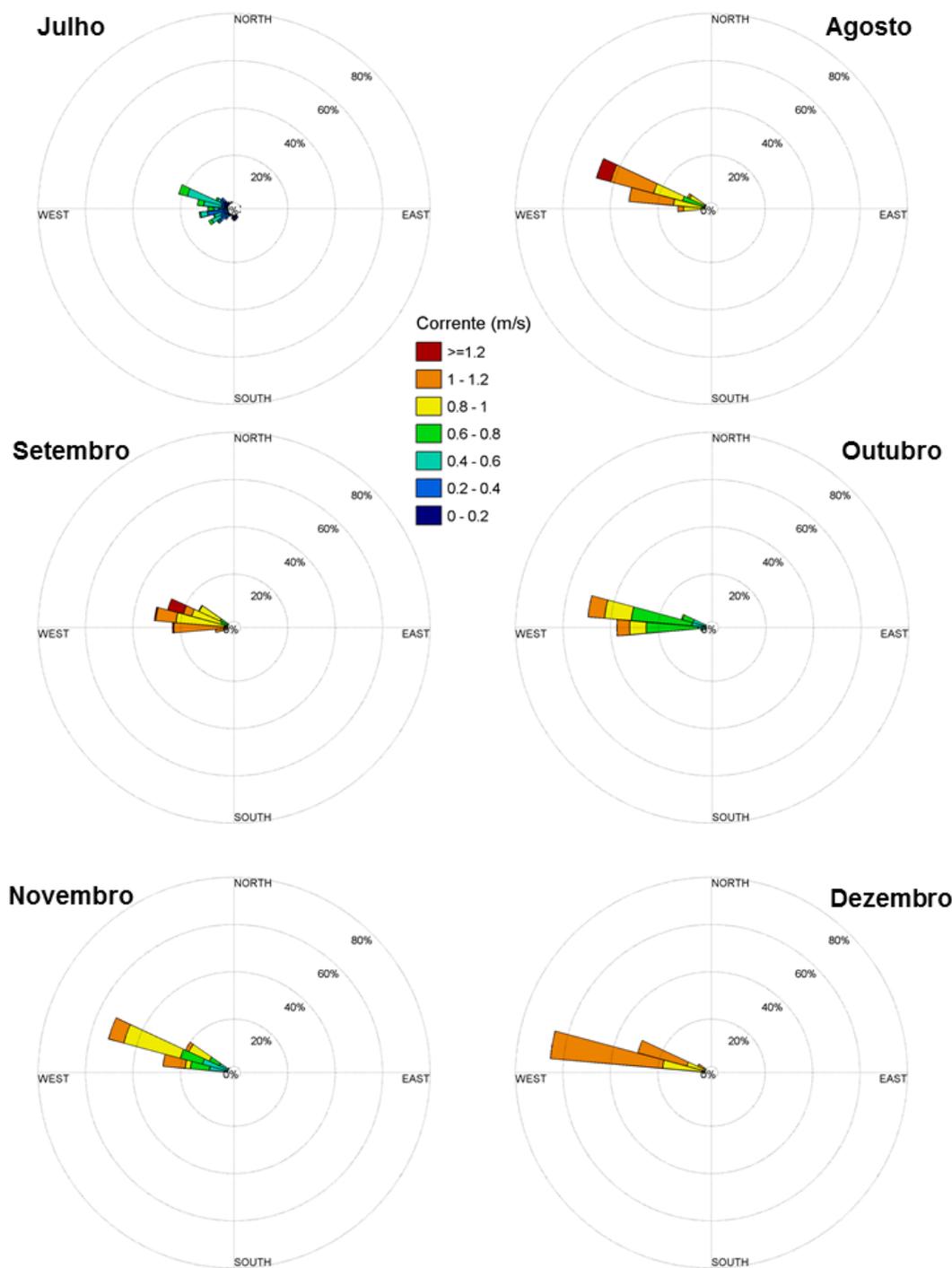


Figura II.5.1.2.2.C-14: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise na bacia oceânica para os meses de julho a dezembro. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

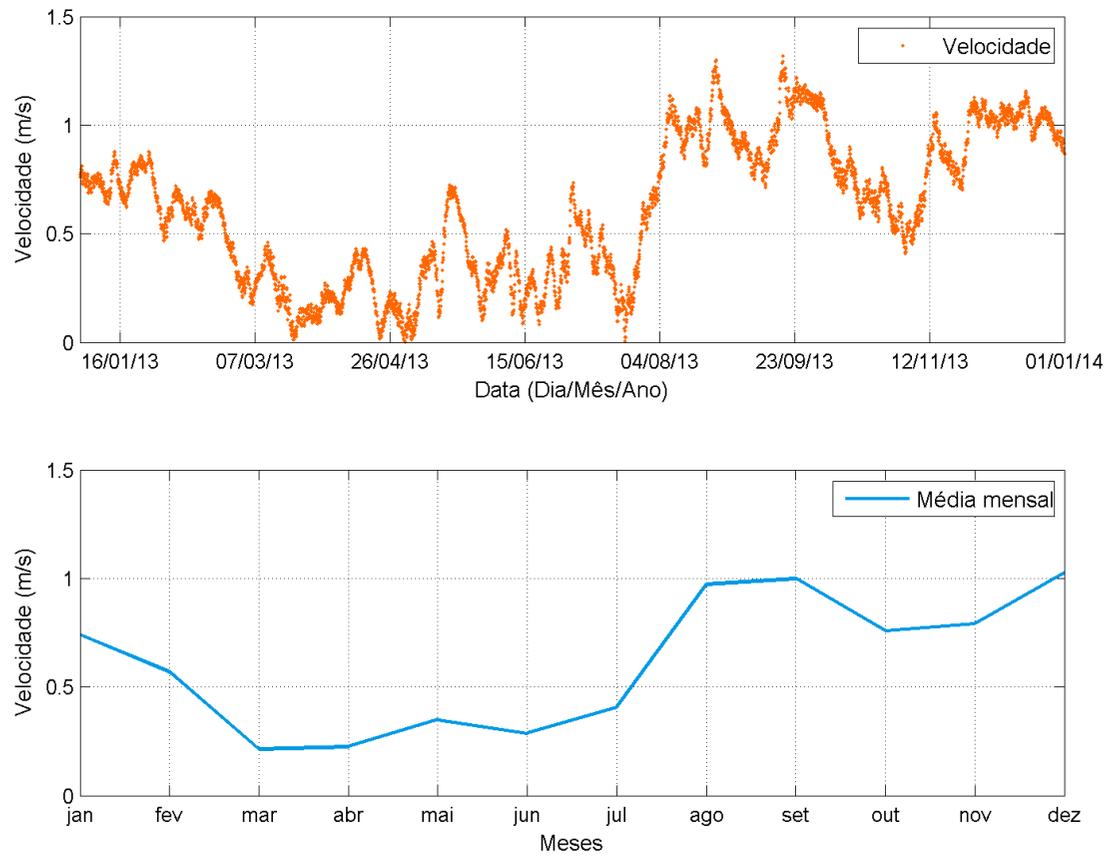


Figura II.5.1.2.2.C-15: Série temporal de intensidade de corrente superficial na região da bacia oceânica (acima) e médias mensais (abaixo). Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

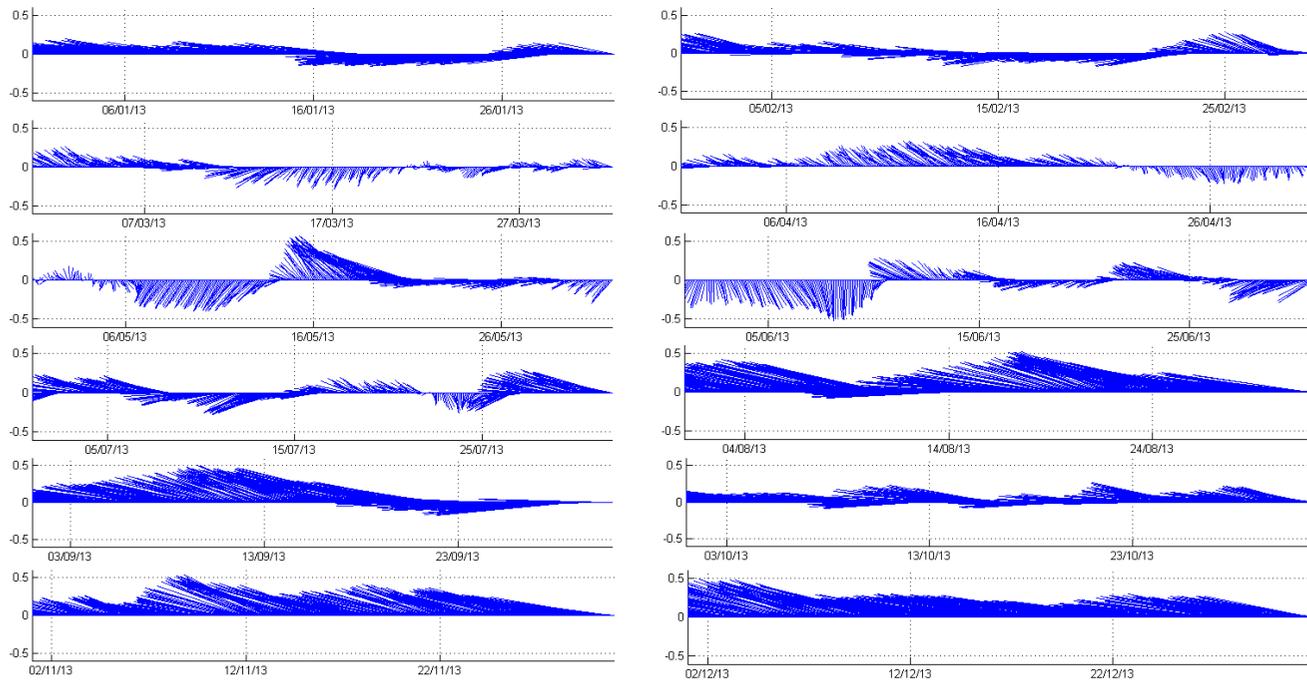


Figura II.5.1.2.2.C-16: Stickplots de corrente superficial na região da bacia oceânica, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita). Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

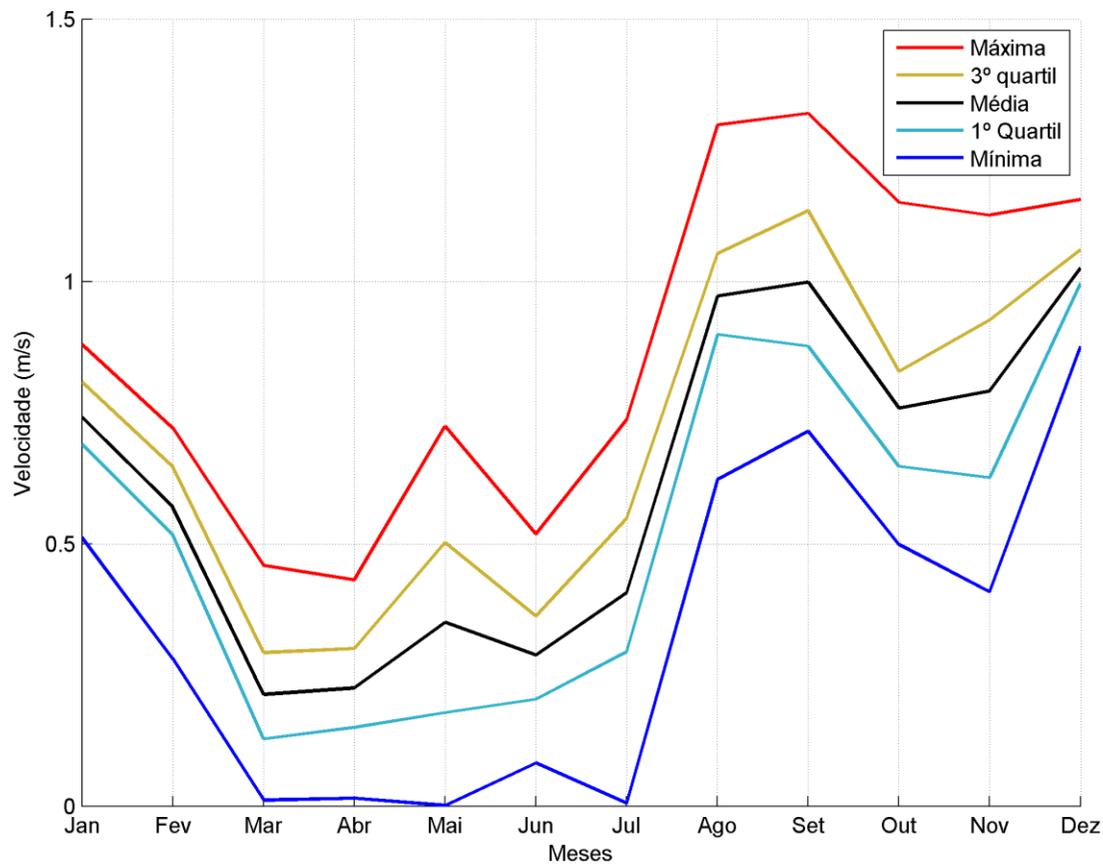


Figura II.5.1.2.2.C-17: Média, mínima, máxima, primeiro quartil e terceiro quartil para toda a série de dados de corrente na região da bacia oceânica. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

Os gráficos demonstram um fluxo dominante para oeste e noroeste entre os meses de agosto a fevereiro (primavera e verão do hemisfério sul), com correntes, em sua maioria, entre 0,6 e 1 m/s, associadas a CB. Entre agosto e dezembro observam-se máximos mensais superiores a 1 m/s. O ponto analisado se encontra fora do núcleo principal da CB (mais ao norte) e, por isso, entre os meses de março e julho (outono e inverno do hemisfério sul) nota-se correntes menos intensas e com uma dispersão maior de direções. Nesses meses, as correntes máximas não ultrapassam 0,8 m/s ficando em média próximas a 0,3 m/s. A variabilidade de direções apresentada nesse período reflete a atuação da CCNE que altera o padrão visto nos outros meses do ano. Nota-se, também, que entre os meses de julho e agosto ocorre uma rápida transição entre um regime de correntes menos intensas para correntes mais intensas.

Este padrão é evidenciado pela ocorrência conjunta de direção e intensidade de corrente (**Tabela II.5.1.2.2.C-2**).

Tabela II.5.1.2.2.C-2: Ocorrência conjunta de intensidade e direção de correntes superficiais na região da bacia oceânica.

Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

Direção											
Intensidade (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)	
0,0 – 0,2	27	3	3	33	129	112	174	118	599	13,68	
0,2 – 0,4	0	0	0	12	120	167	321	237	857	19,57	
0,4 – 0,6	2	0	0	1	31	48	432	99	613	14,00	
0,6 – 0,8	0	0	0	0	0	8	746	111	865	19,75	
0,8 – 1,0	0	0	0	0	0	0	577	141	718	16,39	
1,0 – 1,2	0	0	0	0	0	0	633	43	676	15,43	
> 1,2	0	0	0	0	0	0	52	0	52	1,19	
Total	29	3	3	46	280	335	2935	749	4380	-	
Freq (%)	0,66	0,07	0,07	1,05	6,39	7,65	67,01	17,10	-	-	

Verifica-se que a maior parte das correntes superficiais é dirigida para oeste (67,01%) com intensidades de 0,6 a 0,8 m/s (19,75%). Ressalta-se a grande variabilidade de intensidades, com todas as classes entre 0 e 1,2 m/s apresentando frequências superiores a 13%.

A seguir, da **Figura II.5.1.2.2.C-18** a **Figura II.5.1.2.2.C-21**, são apresentados os perfis verticais de corrente médios para cada estação do ano. Nesses perfis é possível observar que aproximadamente entre 100 e 300 metros há um deslocamento no sentido da corrente para a direção nordeste. Como observado nos mapas de correntes de superfície do MyOcean em 100 metros de profundidade, apresentados anteriormente, a retroflexão da CNB na Bacia Pará-Maranhão está situada em torno dessa profundidade, explicando, assim, as correntes para noroeste visualizadas no perfil vertical.

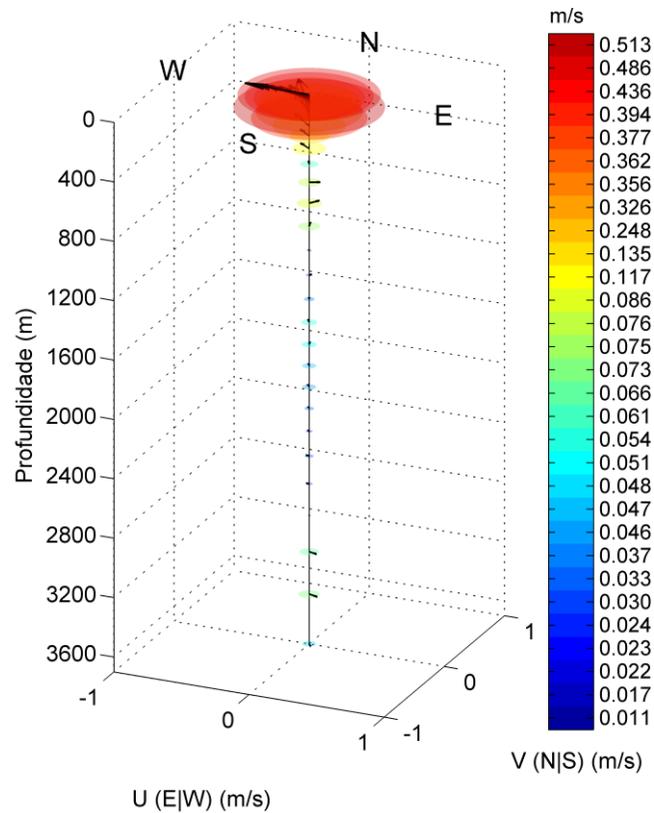


Figura II.5.1.2.2.C-18: Perfil médio de correntes para o período de verão (janeiro a março) na região da bacia oceânica.

Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

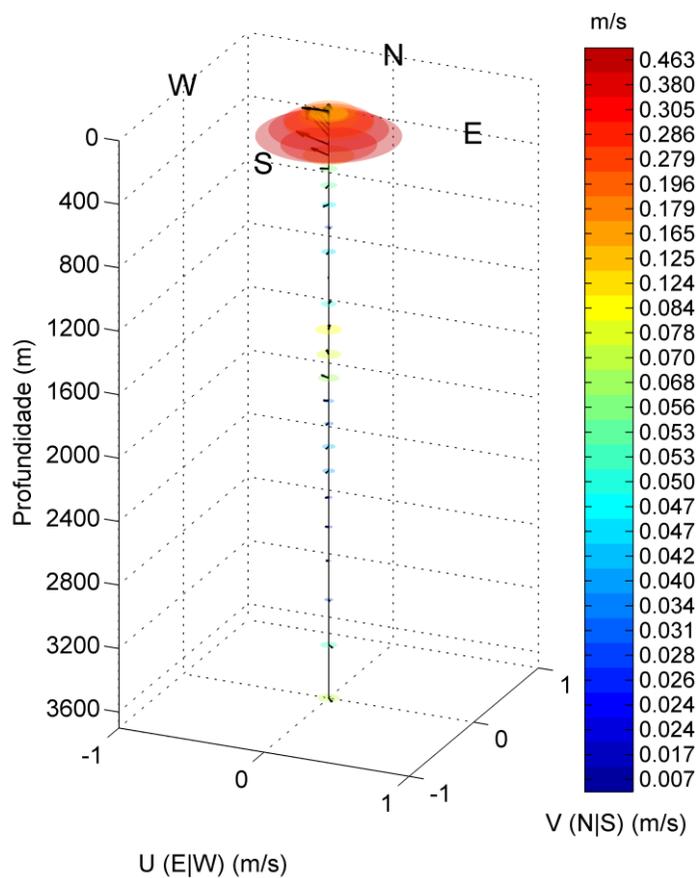


Figura II.5.1.2.2.C-19: Perfil médio de correntes para o período de outono (abril a junho) na região da bacia oceânica.
Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

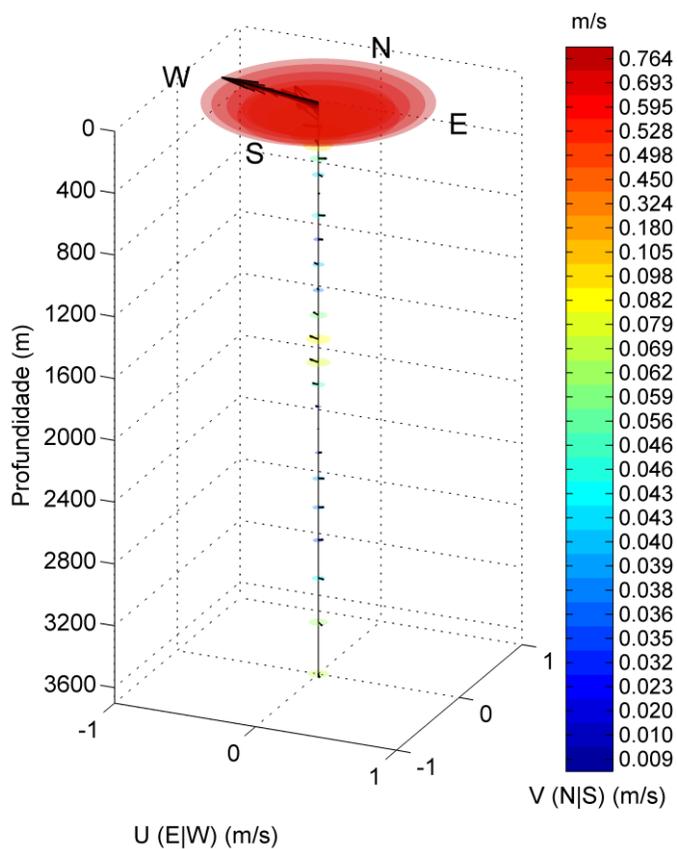


Figura II.5.1.2.2.C-20: Perfil médio de correntes para o período de inverno (julho a setembro) na região da bacia oceânica.
Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

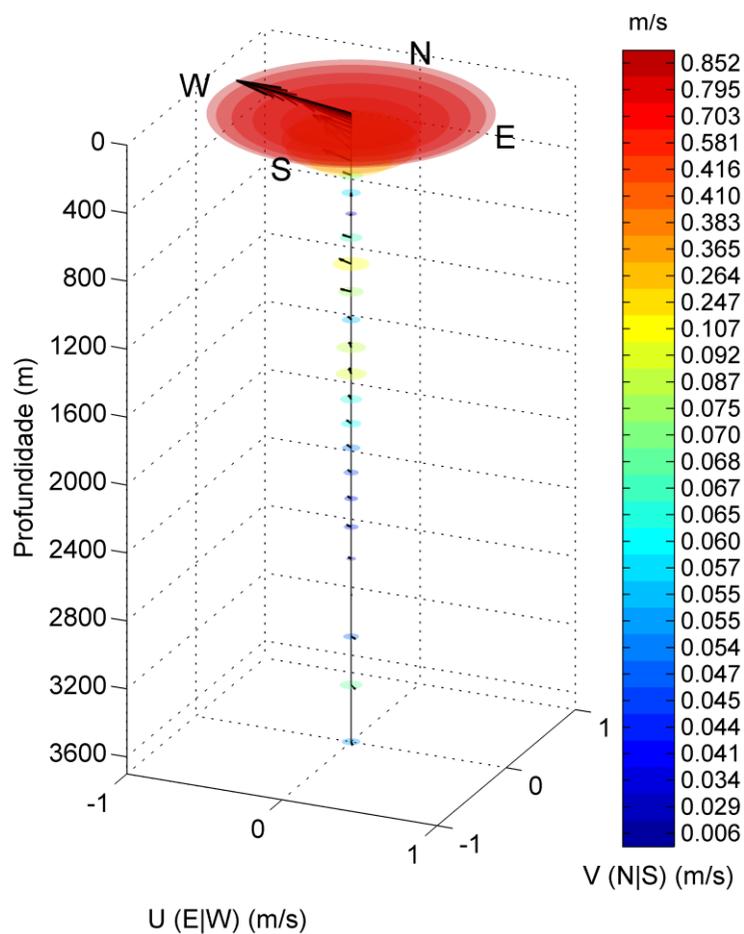


Figura II.5.1.2.2.C-21: Perfil médio de correntes para o período de primavera (outubro a dezembro) na região da bacia oceânica. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

A seguir, da Figura II.5.1.2.2.C-22 a Figura II.5.1.2.2.C-28 e na Tabela II.5.1.2.2.C-3 são apresentadas, para a região do talude, as mesmas análises feitas para a região da bacia oceânica.

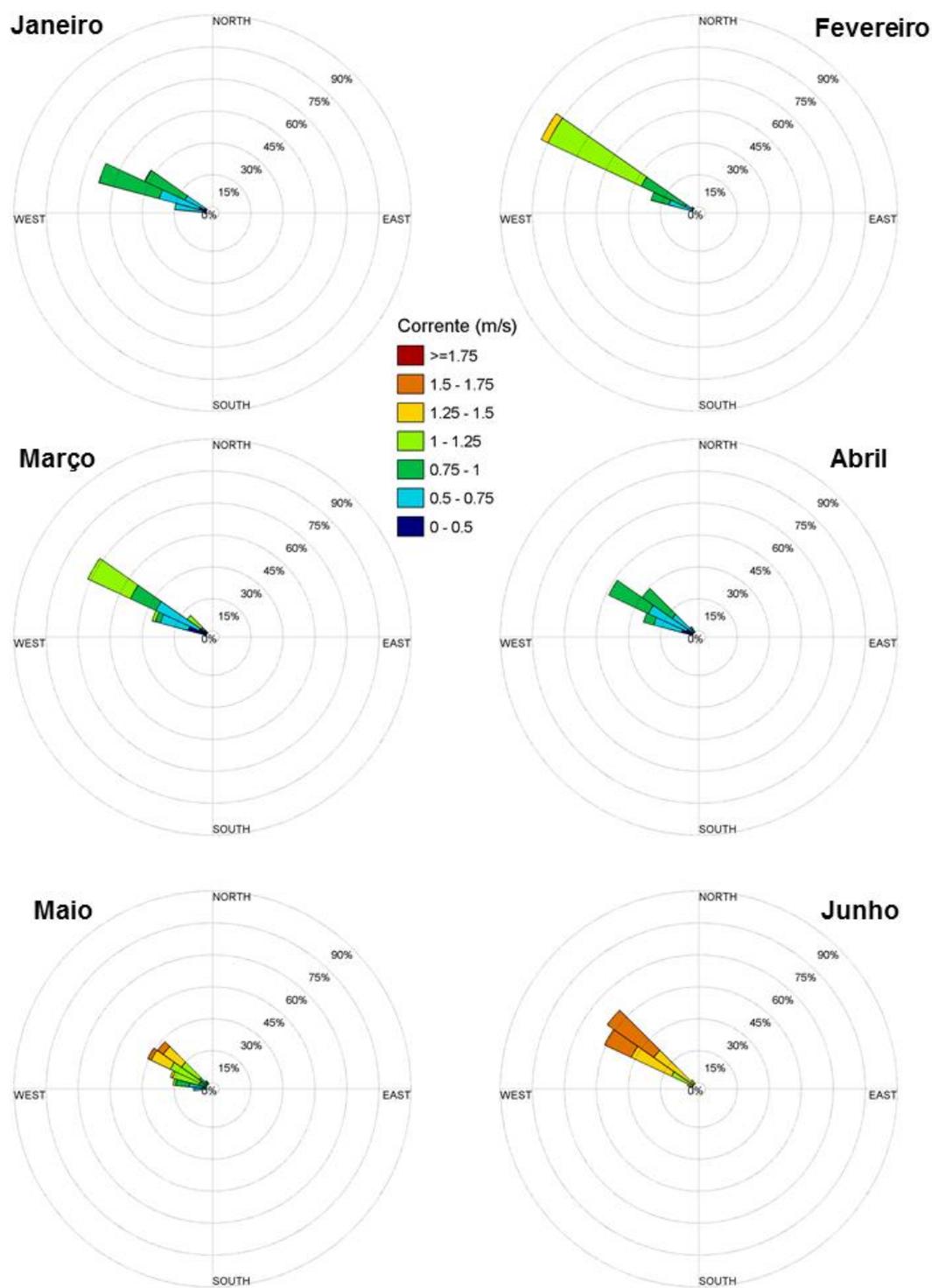


Figura II.5.1.2.2.C-22: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise no talude para os meses de janeiro a junho.
Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

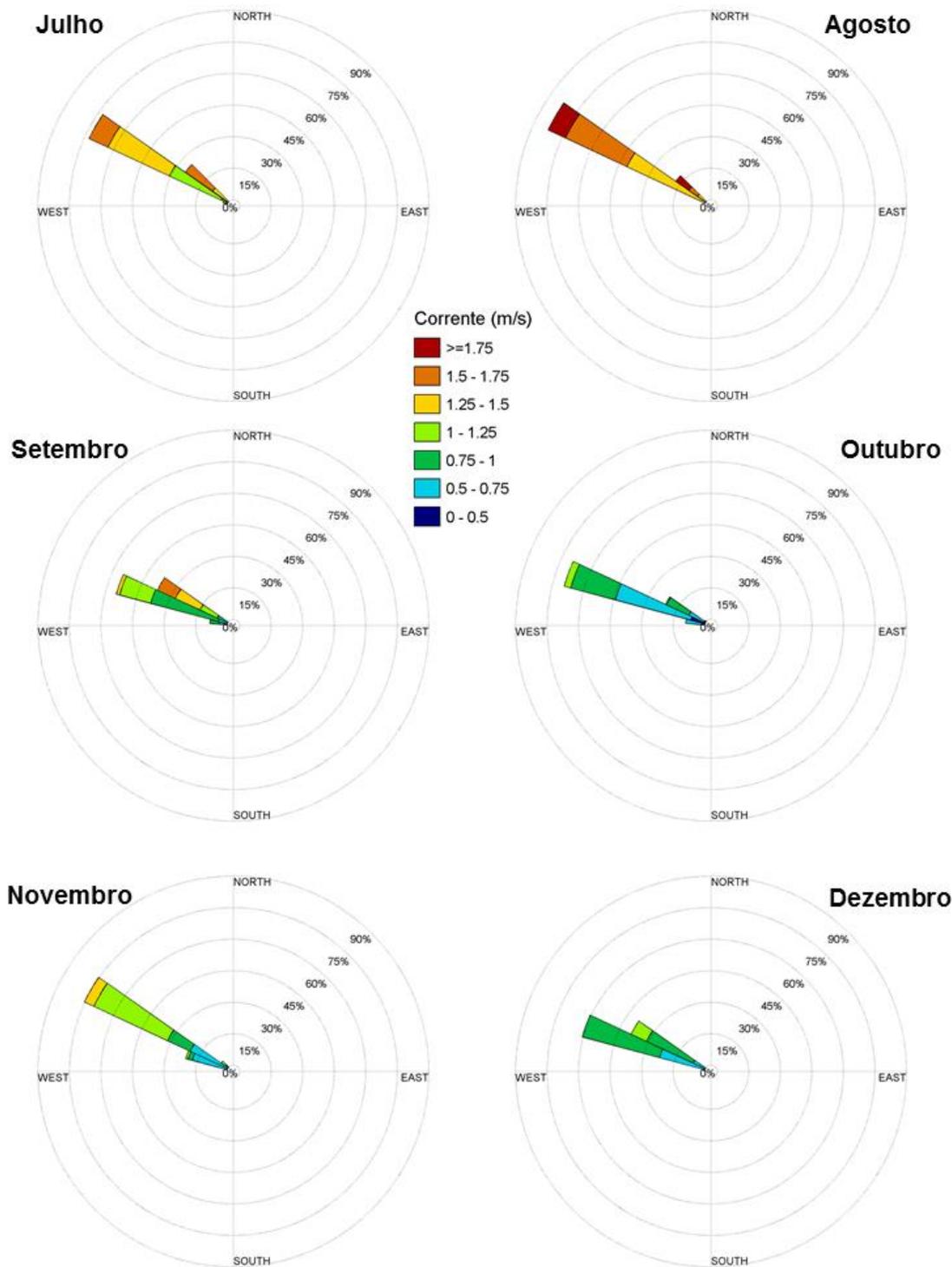


Figura II.5.1.2.2.C-23: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise no talude para os meses de julho a dezembro. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

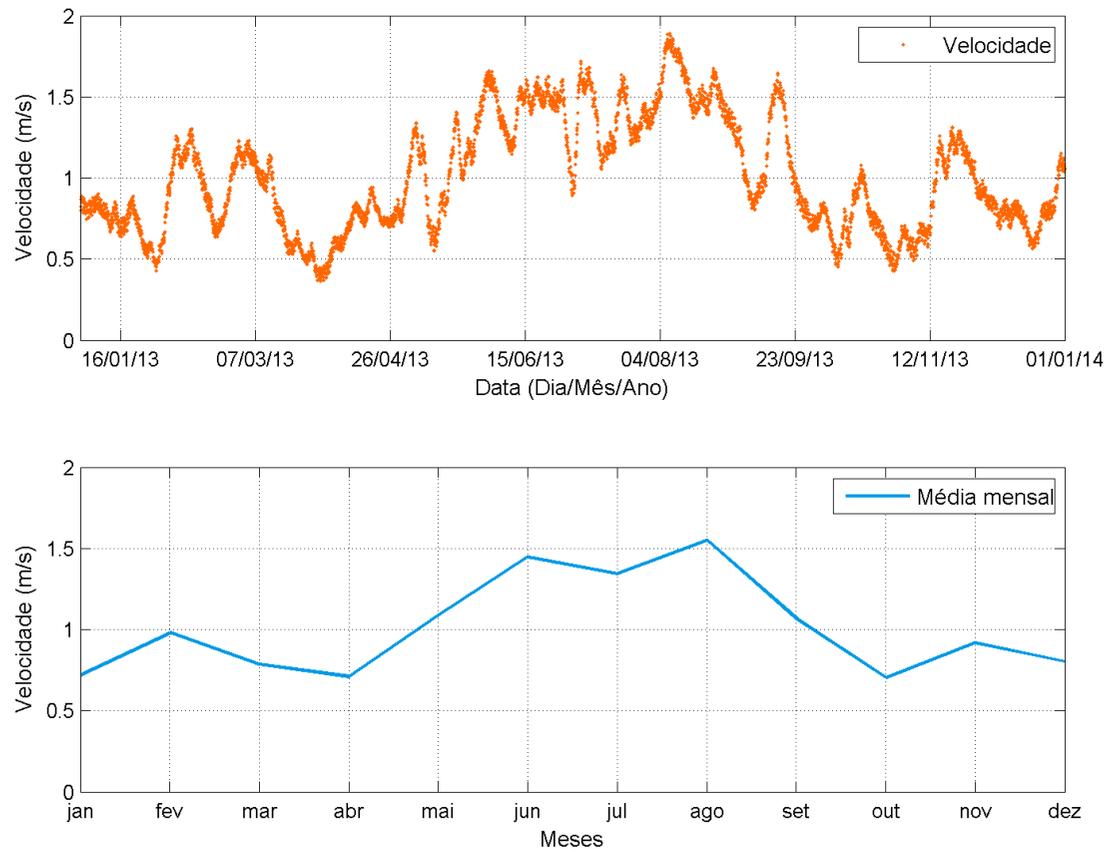


Figura II.5.1.2.2.C-24: Série temporal de intensidade de corrente superficial na região do talude (acima) e médias mensais (abaixo). Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

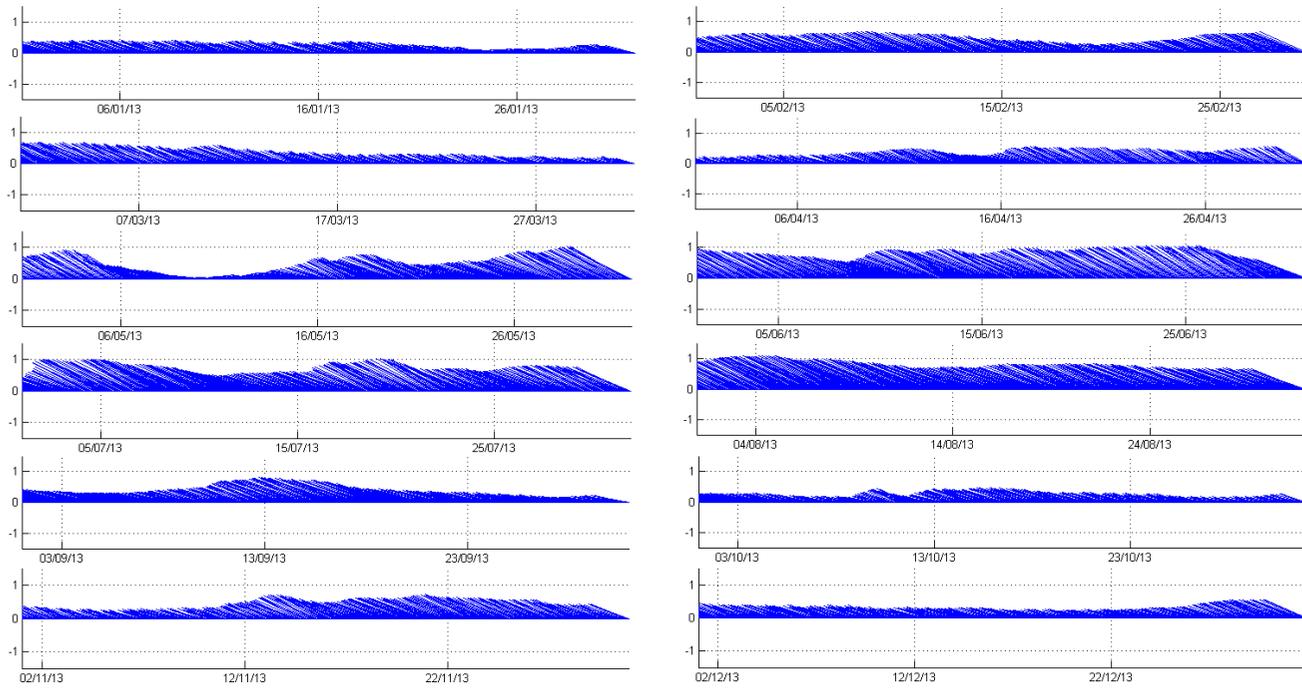


Figura II.5.1.2.2.C-25: Stickplots de corrente superficial na região do talude, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita). Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

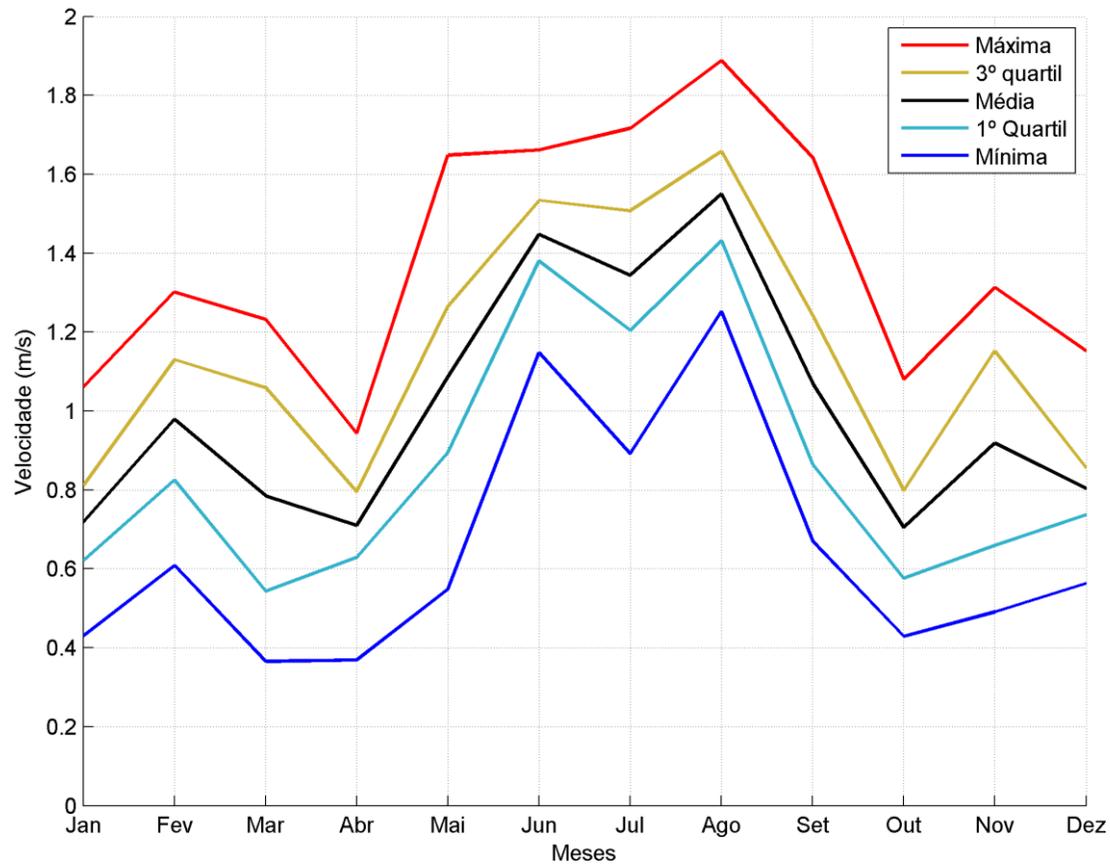


Figura II.5.1.2.2.C-26: Média, mínima, máxima, primeiro quartil e terceiro quartil para toda a série de dados de corrente na região do talude. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

Tabela II.5.1.2.2.C-3: Ocorrência conjunta de intensidade e direção de correntes superficiais na região do talude. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

Direção									Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW		
0,0 – 0,5	0	0	0	0	0	0	69	67	136	3,11
0,5 – 0,75	0	0	0	0	0	0	492	558	1050	23,97
0,75 – 1,0	0	0	0	0	0	0	359	810	1169	26,69
1,0 – 1,25	0	0	0	0	0	0	69	797	866	19,77
1,25 – 1,5	0	0	0	0	0	0	2	661	663	15,14
1,5 – 1,75	0	0	0	0	0	0	0	434	434	9,91
> 1,75	0	0	0	0	0	0	0	62	62	1,42
Total	0	0	0	0	0	0	991	3389	4380	-
Freq (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,63	77,37	-	-

Na região do talude, são observadas, quase que exclusivamente, correntes para noroeste ao longo do ano, como visto nas rosas mensais e nos stickplots. Os maiores valores são encontrados no mês de agosto, com o máximo chegando próximo a 1,9 m/s. Já a corrente mínima é observada em março, com um valor de aproximadamente 0,4 m/s. Esse ponto está localizado junto ao núcleo da CNB, o que explica a constante direção noroeste observada nos dados, assim como a intensificação durante os meses de inverno (junho a agosto). Em agosto, através do 1º quartil, conclui-se que 75% do tempo as correntes apresentam valores superiores a 1,4 m/s. Essas informações são confirmadas a partir da tabela de ocorrência conjunta de direção e intensidade de correntes superficiais (Tabela II.5.1.2.2.C-3). Nela, é possível constatar que 77,37% das correntes apresentam direção noroeste, sendo que a principal classe de intensidades é a que se enquadra entre 0,75 e 1,0 m/s. Entre as velocidades de 0,5 e 1,5 m/s, observa-se 85,57% dos dados do talude.

A seguir, na Figura II.5.1.2.2.C-27 e na Figura II.5.1.2.2.C-28, são apresentados os perfis verticais de corrente médios para cada estação do ano. Novamente pode-se observar as correntes mais intensas durante o outono e o inverno, em relação ao verão e à primavera. Verifica-se, também, que as correntes mais fortes estão presentes nos primeiros 200 metros da coluna d'água. Entre 300 e 400 metros de profundidade, nota-se uma inversão no sentido das correntes, mudando de noroeste nas profundidades mais rasas para sudeste, nas mais profundas.

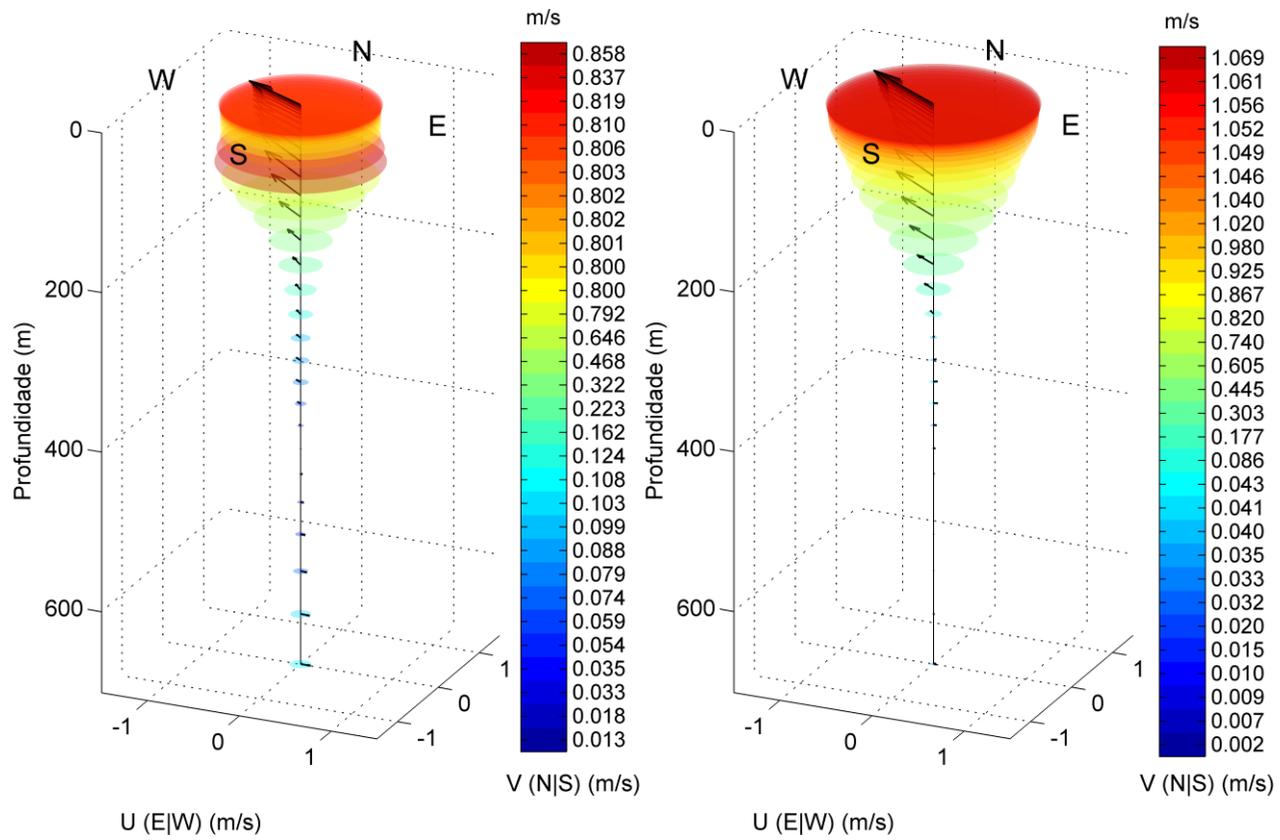


Figura II.5.1.2.2.C-27: Perfil médio de correntes para o período de verão (janeiro a março, à esquerda) e outono (abril a junho, à direita) na região do talude. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

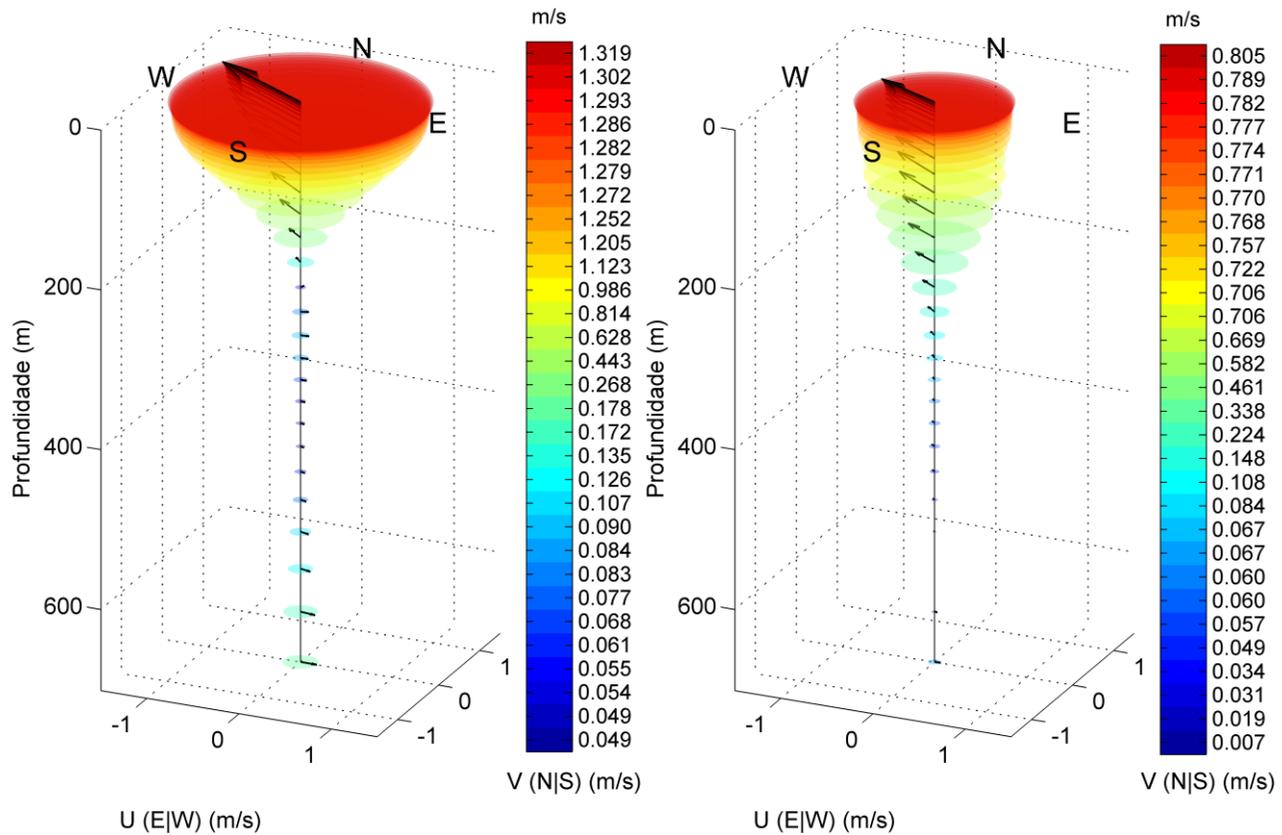


Figura II.5.1.2.2.C-28: Perfil médio de correntes para o período de inverno (julho a setembro, à esquerda) e primavera (outubro a dezembro, à direita) na região do talude. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

A seguir, da Figura II.5.1.2.2.C-29 a Figura II.5.1.2.2.C-33 e na Tabela II.5.1.2.2.C-4 são apresentadas, para a região da plataforma continental, as mesmas análises feitas para as outras províncias fisiográficas.

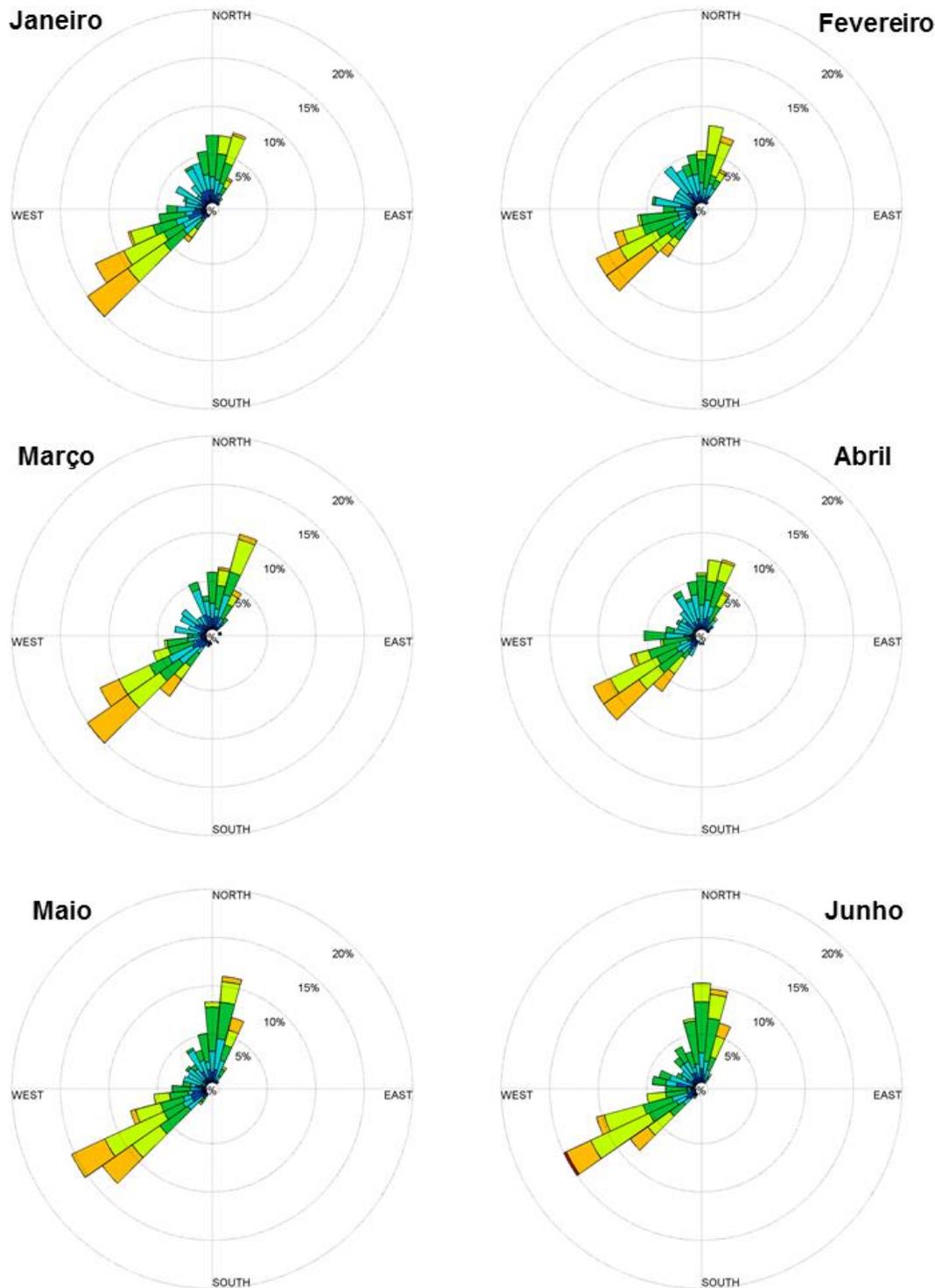


Figura II.5.1.2.2.C-29: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise na plataforma continental para os meses de janeiro a junho. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

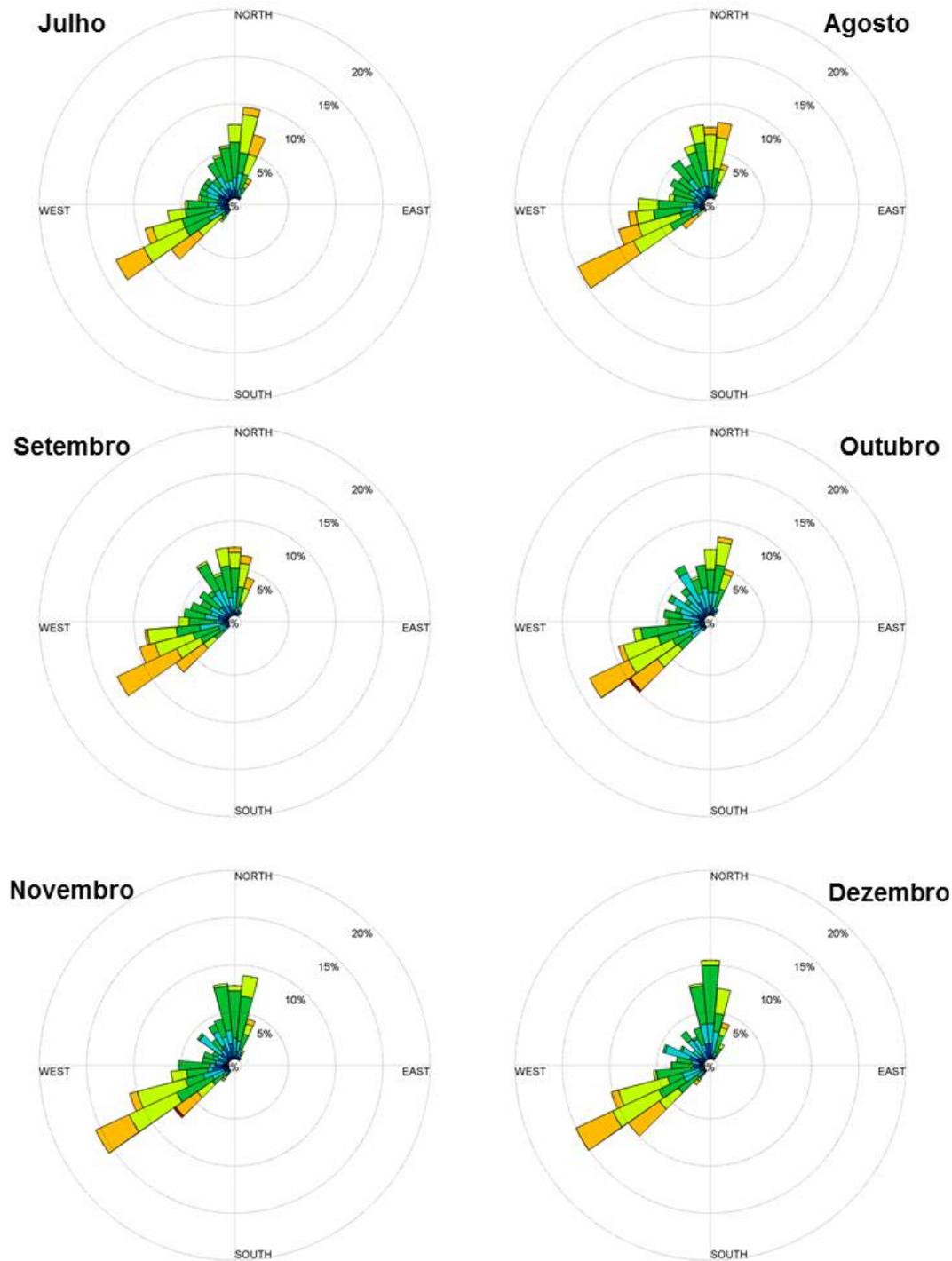


Figura II.5.1.2.2.C-30: Rosas de correntes superficiais para o ponto de análise na plataforma continental para os meses de julho a dezembro. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

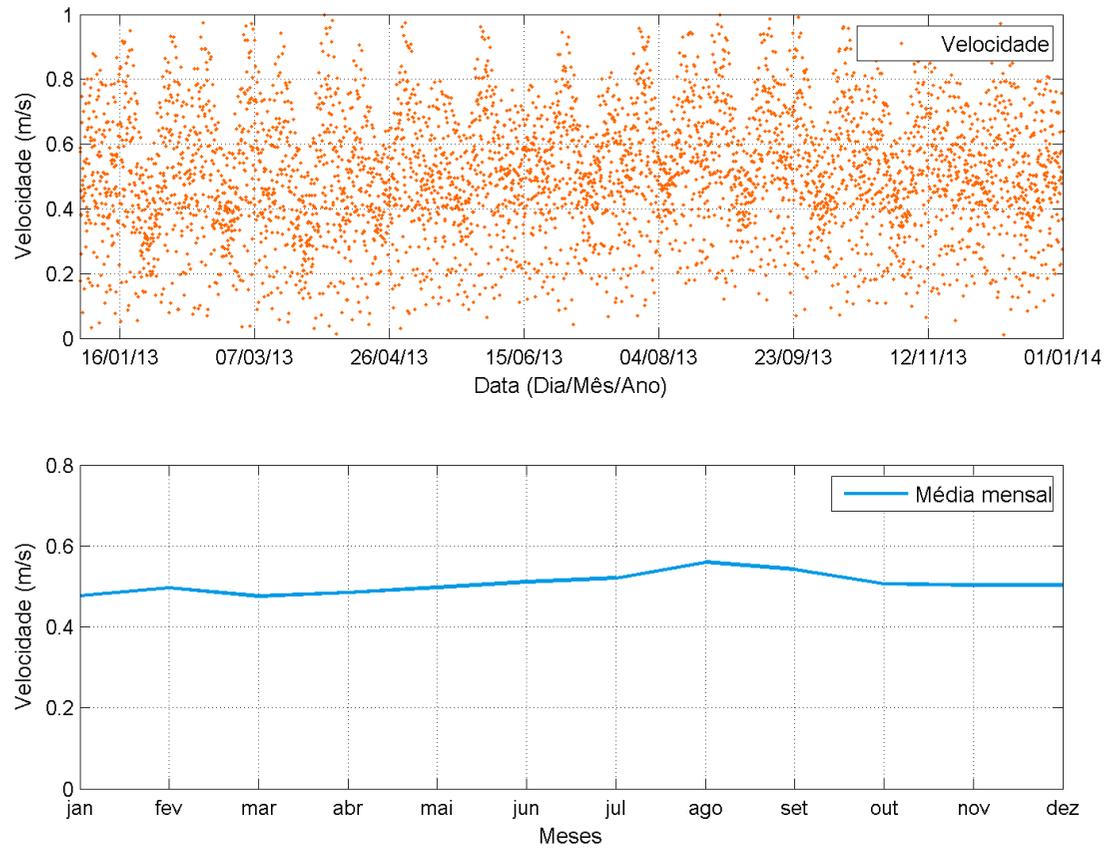


Figura II.5.1.2.2.C-31: Série temporal de intensidade de corrente superficial na região da plataforma continental (acima) e médias mensais (abaixo). Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

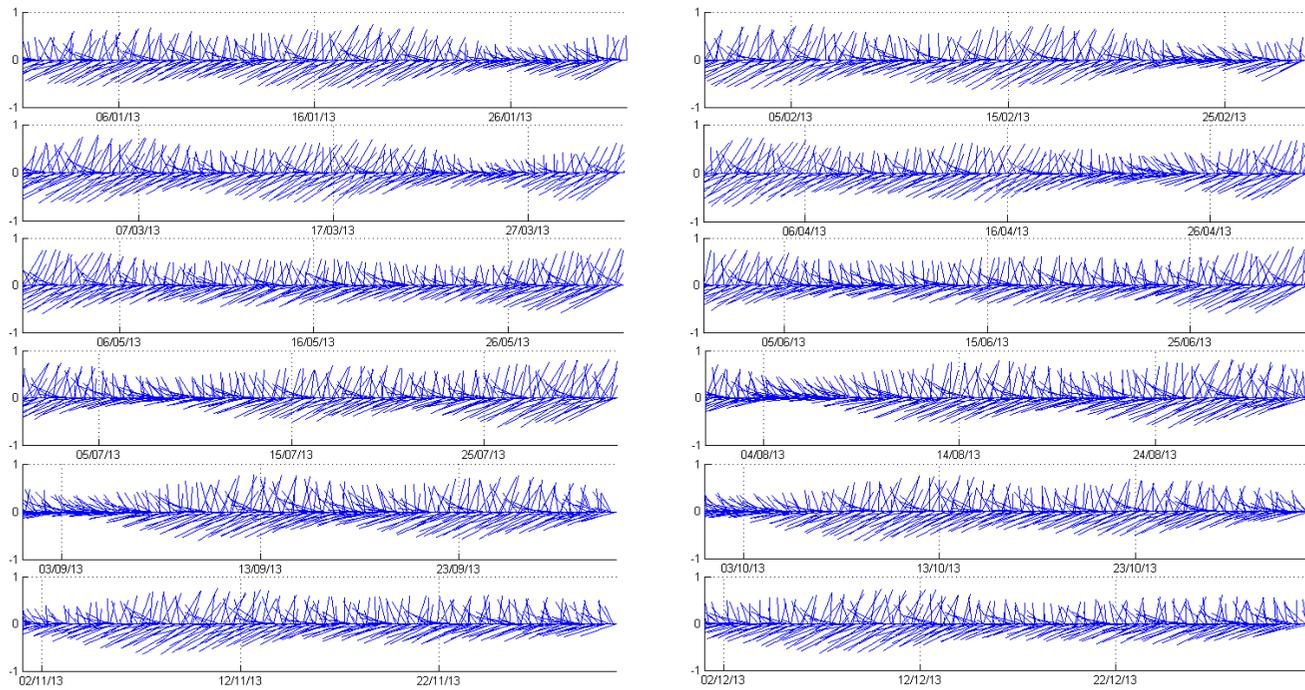


Figura II.5.1.2.2.C-32: Stickplots de corrente superficial na região da plataforma continental, de janeiro a dezembro (de cima para baixo, da esquerda para direita). Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

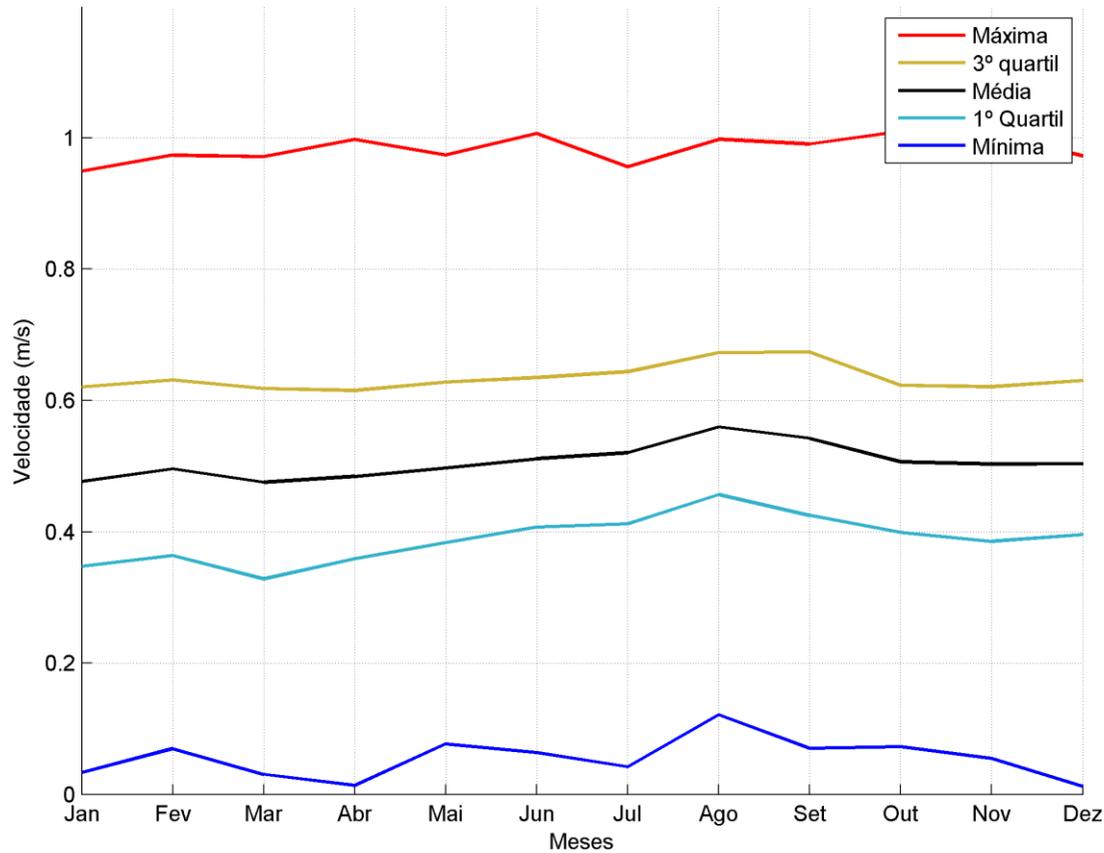


Figura II.5.1.2.2.C-33: Média, mínima, máxima, primeiro quartil e terceiro quartil para toda a série de dados de corrente na região da plataforma continental. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

Tabela II.5.1.2.2.C-4: Ocorrência conjunta de intensidade e direção de correntes superficiais na região da plataforma continental. Fonte dos dados: ROMS.

Direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)										
0,0 – 0,5	24	12	1	1	2	14	39	43	136	3,11
0,5 – 0,75	143	22	0	0	2	74	128	116	485	11,07
0,75 – 1,0	310	31	0	0	0	151	228	345	1065	24,32
1,0 – 1,25	529	50	0	0	0	239	389	142	1349	30,80
1,25 – 1,5	257	44	0	0	0	394	179	1	875	19,98
1,5 – 1,75	56	11	0	0	0	376	24	0	467	10,66
> 1,75	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0,07
Total	1319	170	1	1	4	1251	987	647	4380	-
Freq (%)	30,11	3,88	0,02	0,02	0,09	28,56	22,53	14,77	-	-

Sobre o ponto analisado na plataforma continental, poucas variações são vistas ao longo do ano, sem nenhum indício de uma sazonalidade marcada. O principal fenômeno observado são as marés, com forte intensidade nessa região, causando variações nas direções entre norte e sudoeste. A média ao longo do ano se mantém em 0,5 m/s enquanto a máxima e a mínima são de, aproximadamente, 1,0 e 0,1 m/s, respectivamente. Os stickplots apresentam de forma clara a maré, com variações diárias na direção das correntes. Essas informações são confirmadas a partir da tabela de ocorrência conjunta de direção e intensidade de correntes superficiais (Tabela II.5.1.2.2.C-4). Nela, é possível verificar que tanto a direção norte, quanto a direção sudoeste, apresentam frequências similares nos dados do ROMS, com 30,11 e 28,56%, respectivamente. A principal classe de intensidades equivale ao intervalo entre 1,0 e 1,25 m/s com 30,80% das ocorrências.

A seguir, na Figura II.5.1.2.2.C-34 e na Figura II.5.1.2.2.C-35, são apresentados os perfis verticais de corrente médios para cada estação do ano. No caso da plataforma continental, nos perfis médios é observado o mesmo padrão em todas as estações do ano, com uma corrente de direção quase constante ao longo da estrutura vertical. Próximo a superfície, a direção média é para oeste, entretanto, ao longo do perfil, verifica-se uma pequena rotação para a direção nordeste.

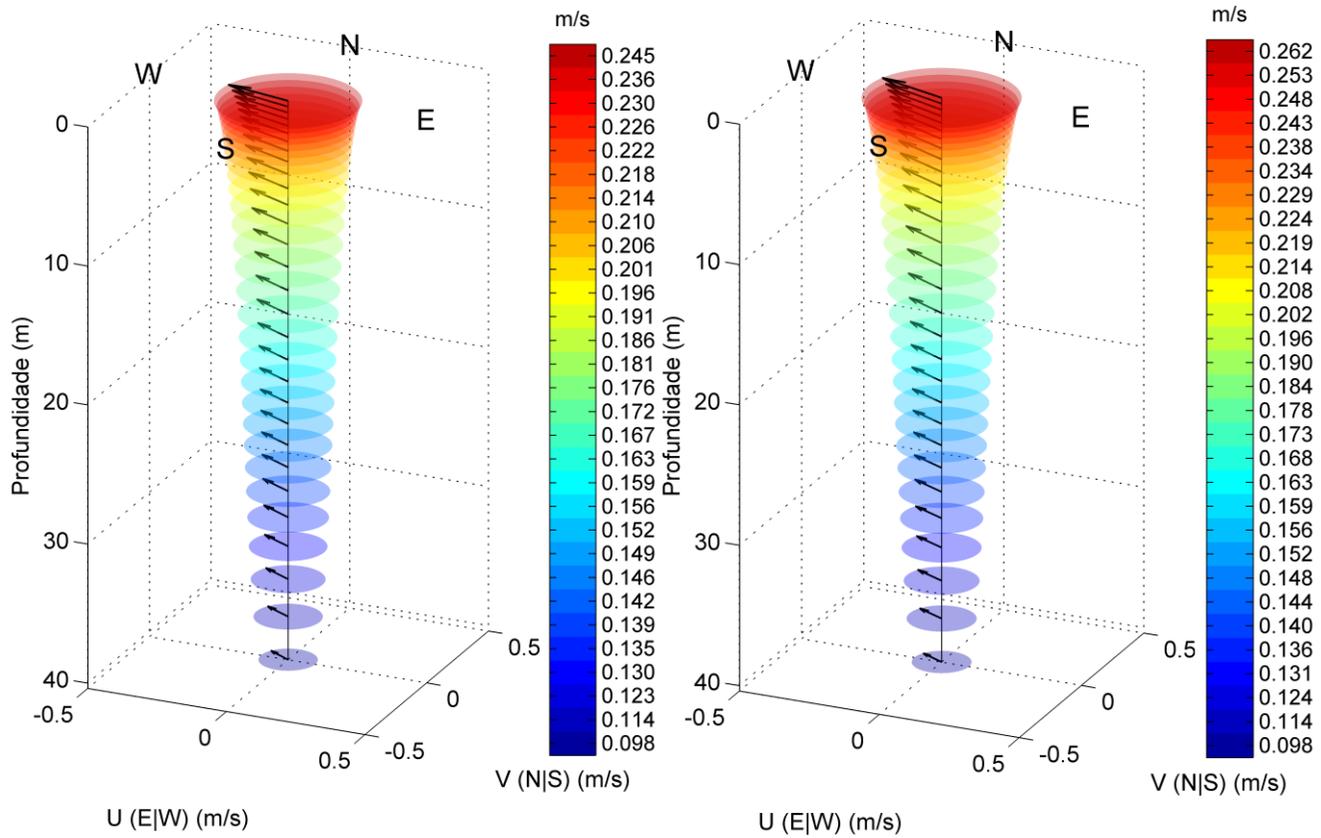


Figura II.5.1.2.2.C-34: Perfil médio de correntes para o período de verão (janeiro a março, à esquerda) e outono (abril a junho, à direita) na região da plataforma continental. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

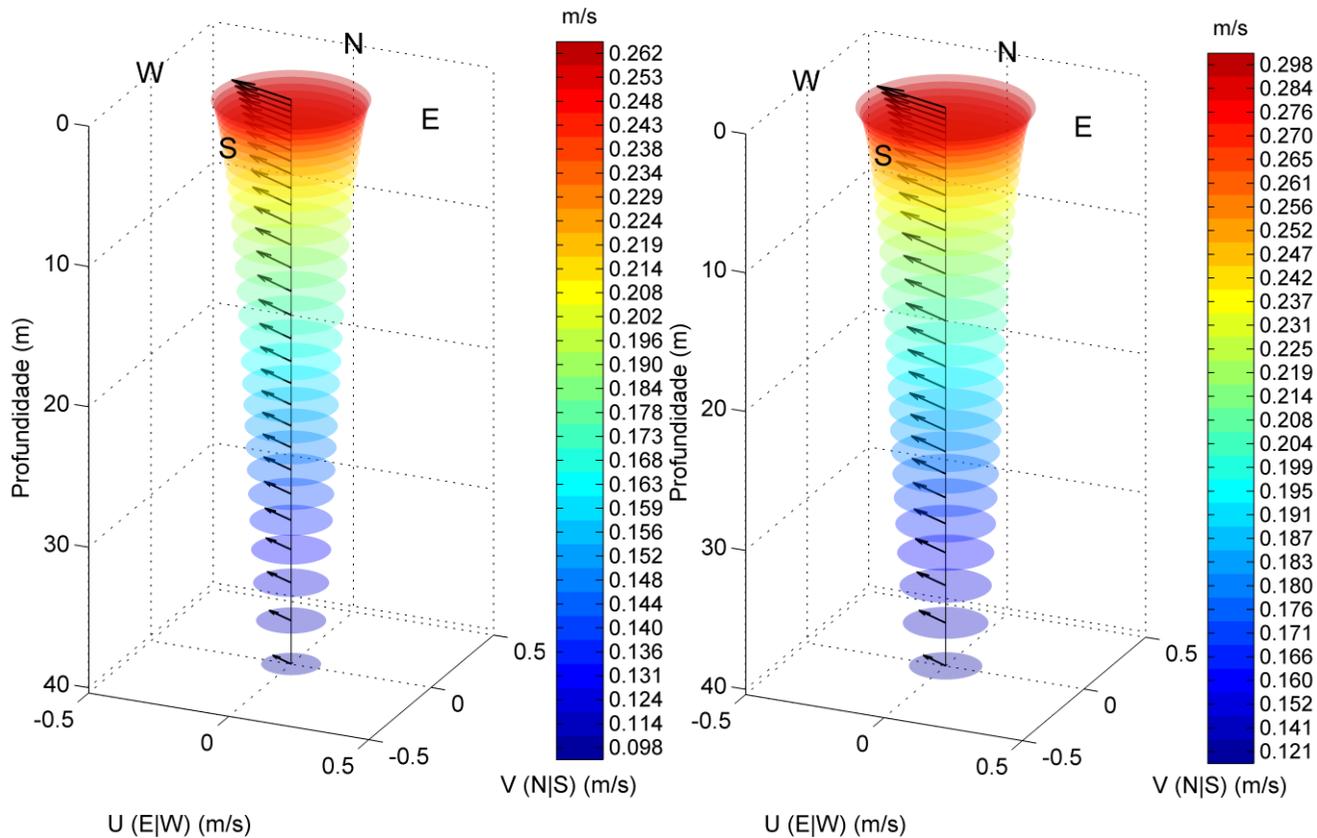


Figura II.5.1.2.2.C-35: Perfil médio de correntes para o período de inverno (julho a setembro, à esquerda) e primavera (outubro a dezembro, à direita) na região da plataforma continental. Fonte dos dados: Resultados de uma simulação com o ROMS para o ano de 2013.

Para o presente diagnóstico também foram utilizados dados de corrente provenientes de um ADCP, obtidos entre os dias 6 e 14 de maio de 2015, durante a campanha do Projeto de Caracterização Ambiental (Baseline) da Margem Equatorial Brasileira na Bacia Pará-Maranhão.

Para fins de análise, os dados foram subdivididos em dados sobre a plataforma continental e dados sobre o talude. A trajetória da embarcação com o ADCP de casco e a divisão dos dados nas províncias podem ser vistas na Figura II.5.1.2.2.C-36.

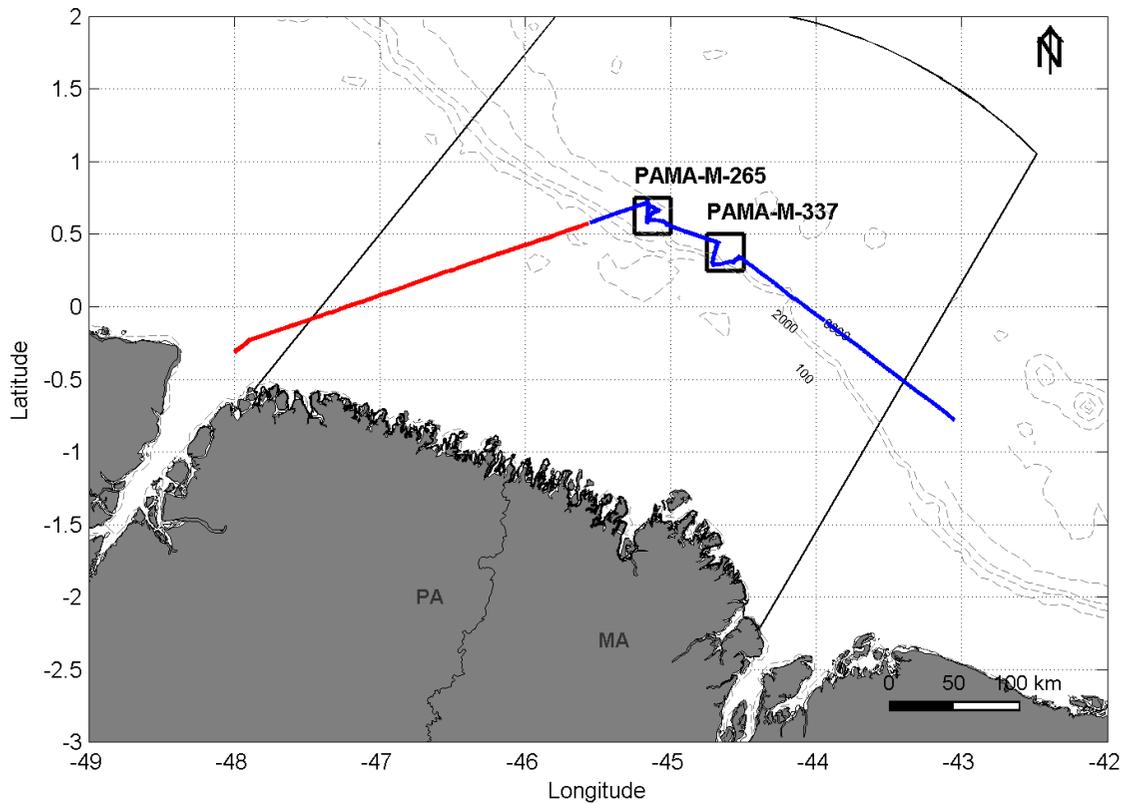


Figura II.5.1.2.2.C-36: Trajetória da embarcação com o ADCP e divisão dos dados em províncias. Em vermelho, dados utilizados na caracterização da dinâmica de plataforma e, em azul, dados utilizados na caracterização da dinâmica da região do talude.

A partir da separação dos dados entre províncias fisiográficas distintas, estes foram analisados através da confecção de histogramas direcionais (rosas de corrente). Para os dados sobre o talude, foram feitas as rosas de corrente para o primeiro bin do ADCP (representando a camada mais superficial amostrada pelo equipamento, a aproximadamente 47 metros) e para a camada entre 47 e 400 metros (**Figura II.5.1.2.2.C-37** Erro! Fonte de referência não encontrada.).

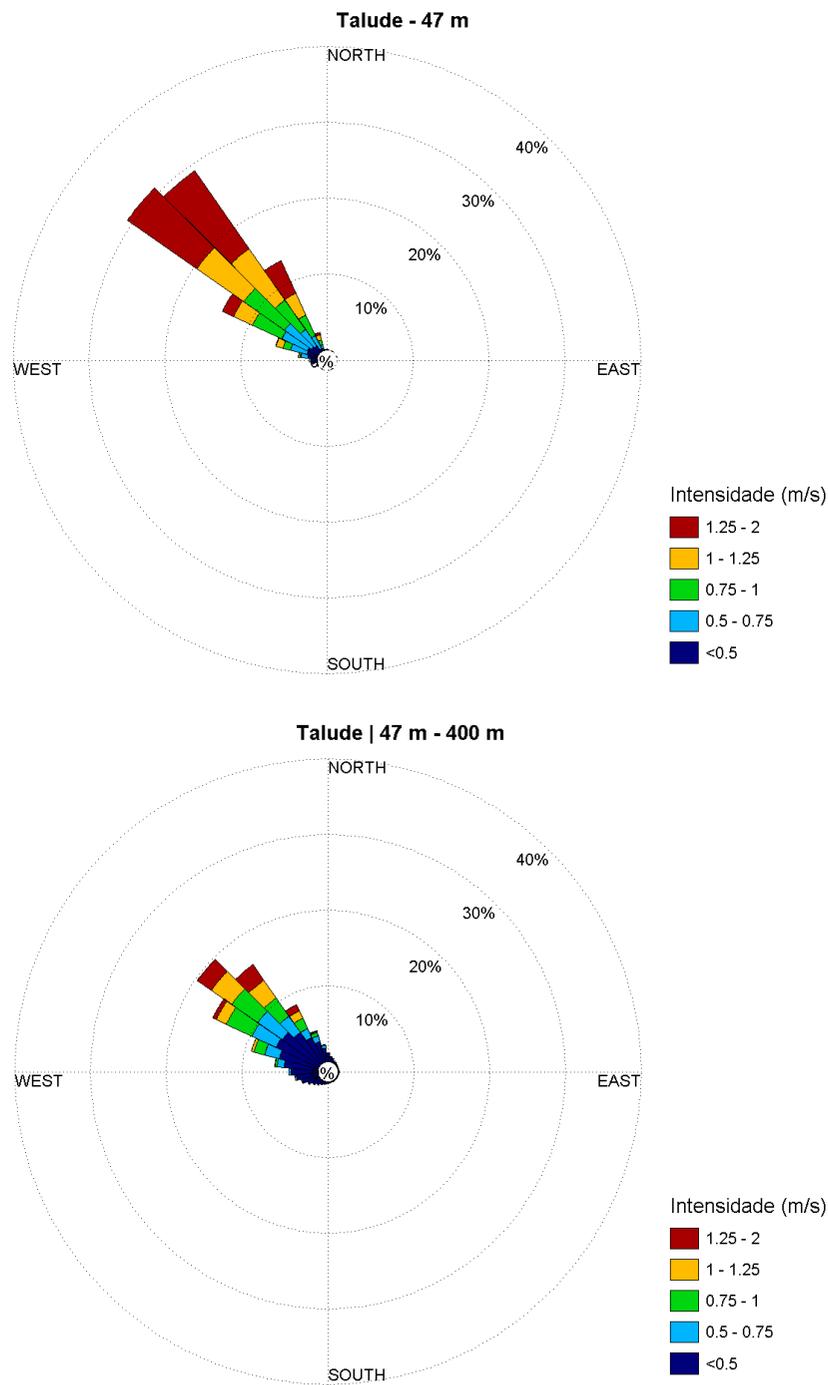


Figura II.5.1.2.2.C-37: Histogramas direcionais da corrente observada sobre o talude observadas no primeiro bin do ADCP (47 m) e na camada de 0 a 400m.

As correntes na área do talude variaram de aproximadamente 0 a 2 m/s, com média de 0,95 m/s na camada mais superficial amostrada pelo ADCP e 0,55 m/s na camada integrada de 0 a 400 m (**Tabela II.5.1.2.2.C-5**).

Tabela II.5.1.2.2.C-5: Estatística básica dos dados de velocidade de corrente obtidos no ADCP de casco a bordo da embarcação que realizou a campanha de baseline.

	Máxima (m/s)	Média (m/s)	Mínima (m/s)	desvio padrão (m/s)
1º Bin	1,98	1,05	0,10	0,39
0 a 400	1,98	0,56	0,00	0,39

Para os dados sobre a plataforma continental, foram feitas as rosas de corrente para o primeiro bin do ADCP, representando a camada mais superficial amostrada pelo equipamento, a aproximadamente 15 metros (**Figura II.5.1.2.2.C-38**).

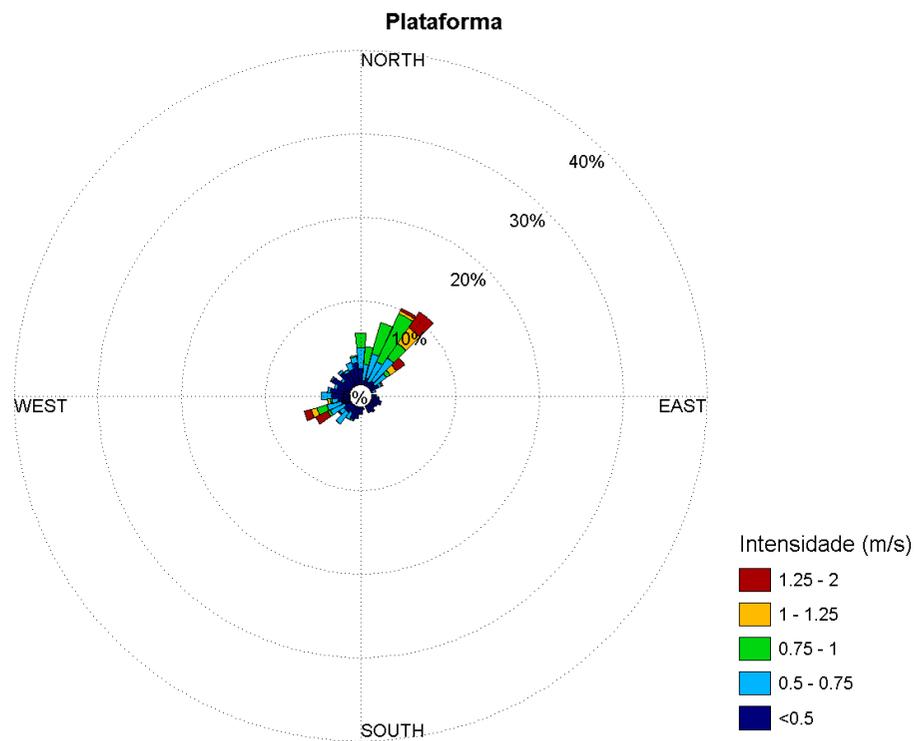


Figura II.5.1.2.2.C-38: Histogramas direcionais da corrente observada sobre o talude e bacia oceânica observados no primeiro bin do ADCP.

Na **Tabela II.5.1.2.2.C-6** observa-se a estatística básica para os dados de velocidade da camada mais superficial do ADCP registrados em passagem da embarcação pela plataforma continental.

Tabela II.5.1.2.2.C-6: Estatística básica dos dados de velocidade de corrente para a província da plataforma continental obtidos no ADCP de casco a bordo da embarcação que realizou a campanha de baseline.

	Máxima (m/s)	Média (m/s)	Mínima (m/s)	desvio padrão (m/s)
1ºBin	1,81	0,64	0,12	0,31

Sobre a região dos blocos, no talude continental, observam-se correntes bem definidas para Noroeste, na camada mais superficial do ADCP e na camada integrada entre 0 e 400 metros, demonstrando a influência da CNB.

Sobre a região da plataforma continental, nota-se um escoamento mais espalhado, porém com duas direções predominantes NE e SW, sendo a dinâmica dominada por maré.

Os dados observados se apresentaram com valores dentro da faixa de intensidade e direção que era esperada a partir da análise das outras fontes de dados, tanto para a área do talude quanto para a área da plataforma continental.

Os blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 estão localizados sobre o talude continental sob influência direta da CNB. As correntes nesta província foram caracterizadas a partir de análises detalhadas de três bases de dados distintas: WOCE, dados da Campanha de Baseline da QGEP e resultados do modelo ROMS. A Tabela II.5.1.2.2.C-7 apresenta um resumo das informações de correntes superficiais obtidas dessas três fontes na região do talude. Nota-se que as informações obtidas das três bases de dados são bastante coerentes entre si. Destaca-se que o fundeio do WOCE apresentou correntes predominantes para W, enquanto nas outras fontes a direção NW foi dominante. Esta diferença pode ocorrer pelo posicionamento do fundeio, que está localizado mais a leste dos blocos, onde há uma leve mudança de orientação nas isóbatas.

Tabela II.5.1.2.2.C-7: Resumo das informações de correntes superficiais no talude continental obtidas das diferentes bases de dados.

Fonte	Média (m/s)	Máxima (m/s)	Direção Predominante (graus)
WOCE (50 m)	1,02	1,47	W
Campanha de de Baseline QGEP (47 m)	1,05	1,98	NW
ROMS	1,01	1,89	NW

II.5.1.2.2.D. Ondas

Existem duas principais zonas de geração de ondas no Atlântico Sul, associadas a dois centros de circulação de ventos: i) o cinturão extra tropical de tempestades de médias e altas latitudes; e ii) o cinturão dos ventos alísios. Este último, localizado entre 10°N e 10°S, é caracterizado por uma alta frequência de ventos com velocidade mínima de 5 m/s, que é a mínima necessária para gerar ondas capazes de produzir alguma mudança geomórfica significativa ao longo da linha de costa (Davies, 1972).

Devido a sua localização geográfica, a região dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337 encontra-se sob influência das ondas geradas no cinturão dos ventos alísios. A região de estudo está localizada na região equatorial e é influenciada por ondas de longas pistas do quadrante Norte e Leste.

Ondas originadas por ventos de tempestade de inverno no Atlântico Norte, que ocorrem principalmente entre dezembro e março, também podem atingir a área do bloco, na forma de swell. Segundo Inocentinni et. al. (2001), na região Norte do Brasil, do Amapá até aproximadamente Natal, no Rio Grande do Norte, as ondas incidentes são formadas pelos alísios, e apresentam altura próxima de 1-1,5 m em mar aberto. Eventualmente, chegam ondas com período de 15-20 s provenientes das tempestades formadas no extremo norte do Atlântico.

Durante o inverno do Hemisfério Norte a Zona de Convergência Intertropical cruza a área em direção ao sul, expondo a região às ondas geradas pelos alísios de Nordeste.

A caracterização dos estados de mar pode ser feita em função de três parâmetros: altura significativa (H_s), direção principal (D_p) e período de pico (T_p). A altura significativa é uma medida estatística, representada pela média da terça parte das ondas com maiores alturas, observadas ao longo de um determinado tempo. Corresponde, aproximadamente, à altura relatada por um observador experiente, no caso de um marulho. A direção principal (D_p) é a direção média das ondas significativas, a frequência de pico (F_p) é aquela na qual a maior quantidade de energia da ondulação está concentrada. O período de pico é o inverso da frequência de pico ($T_p = 1/F_p$).

Como não existem dados de onda disponíveis na região de interesse, serão utilizados os resultados do modelo de ondas do ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecast), do projeto ERA-Interim, com resultados a cada 6 horas e abrangência de Janeiro de 1979 a Dezembro de 2014.

O ponto de grade utilizado tem coordenadas 0,75°N e 44,25°O, cuja localização pode ser observada na Figura II.5.1.2.2.D-1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

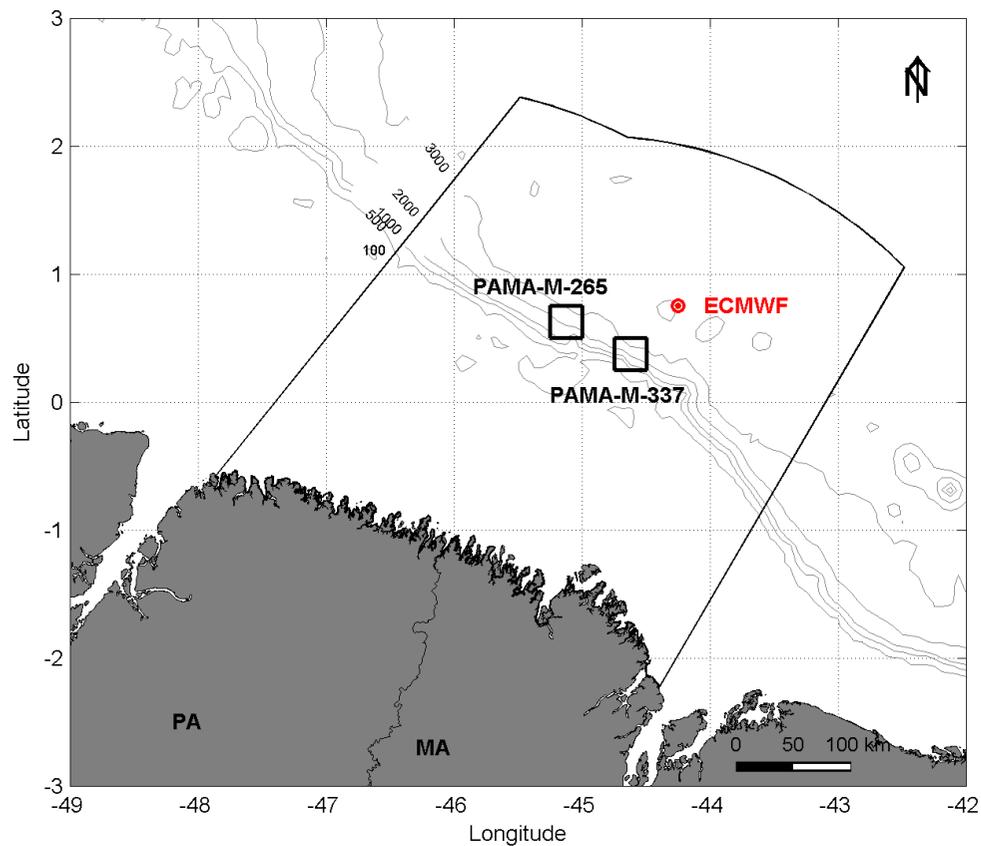


Figura II.5.1.2.2.D-1: Localização do ponto de grade do ERA-Interim utilizado nas análises pontuais (ponto vermelho).

A seguir, na Figura II.5.1.2.2.D-2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura II.5.1.2.2.D-3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta-se a série temporal completa e médias mensais, de direção média e altura significativa, respectivamente, das ondas no ponto indicado anteriormente.

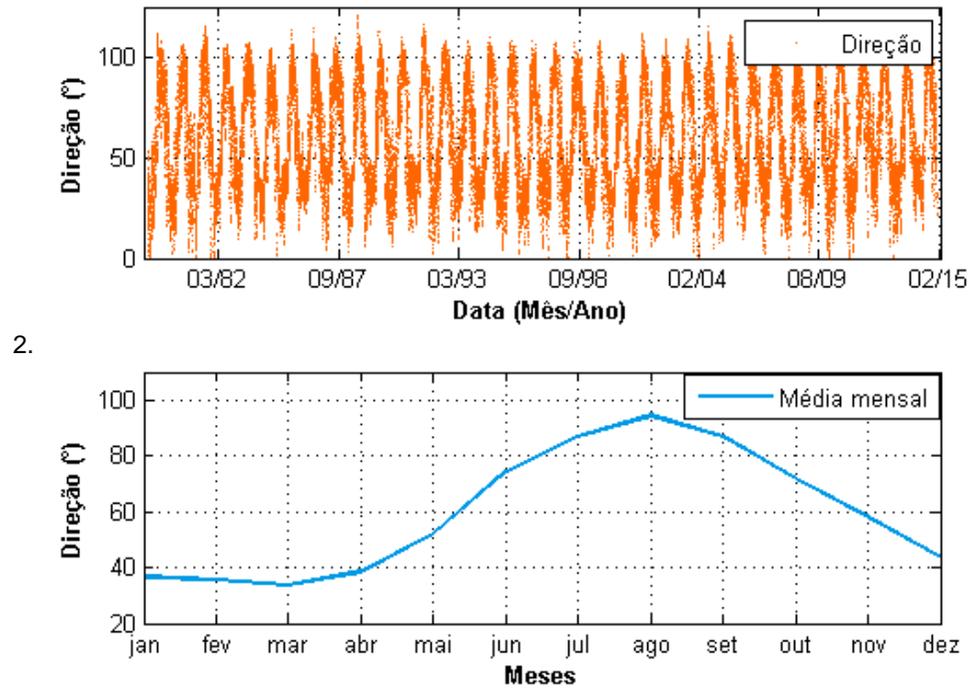


Figura II.5.1.2.2.D-2: Série temporal de direção média para todo o período (acima) e médias mensais (abaixo) para o ponto mais próximo aos blocos de interesse. Fonte dos dados: ECMWF

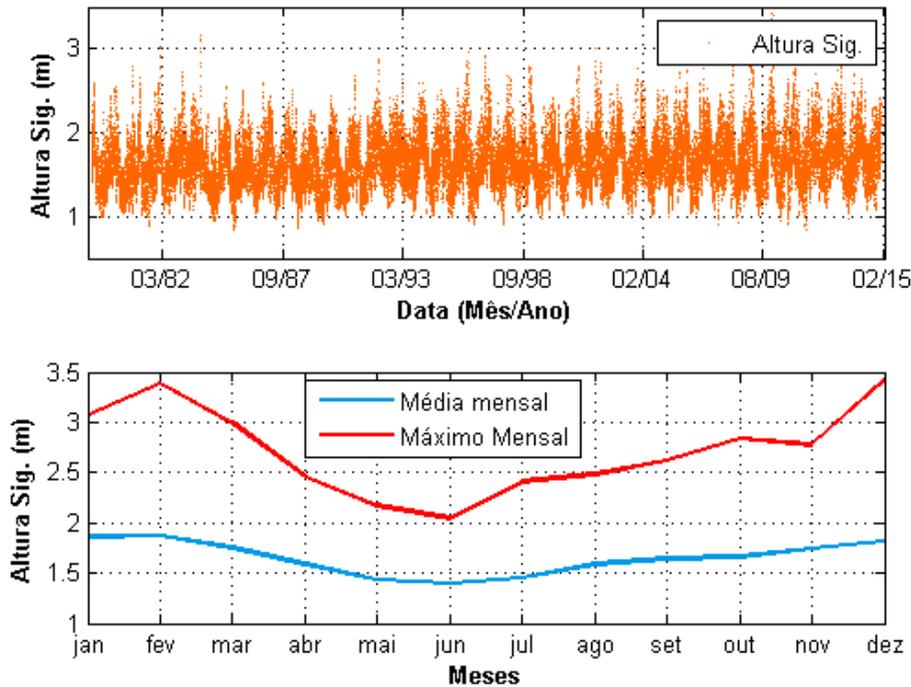


Figura II.5.1.2.2.D-3: Série temporal de altura significativa média para todo o período (acima) e médias mensais (abaixo) para o ponto mais próximo aos blocos de interesse. Fonte dos dados: ECMWF.

Verifica-se um padrão sazonal bem definido, relacionado à migração da ZCIT, com ondas mais fortes e de nordeste nos meses de dezembro a março e ondas mais fracas e de leste nos meses de maio a agosto.

Na **Tabela II.5.1.2.2.D-1** **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta-se a estatística básica da altura significativa e direção associada e mês de ocorrência dos máximos e mínimos.

Tabela II.5.1.2.2.D-1: Valores máximos e mínimos de altura significativa, com sua direção e mês de ocorrência associados.

Hs Maximo	Direção e mês associados	Hs mínimo	Direção e mês associados
3,42 m	9°/Dez	0,83 m	61°/Jul

Apresenta-se, na **Figura II.5.1.2.2.D-4** e na **Figura II.5.1.2.2.D-5**, os histogramas direcionais das ondas no ponto de análise, para todos os meses do ano.

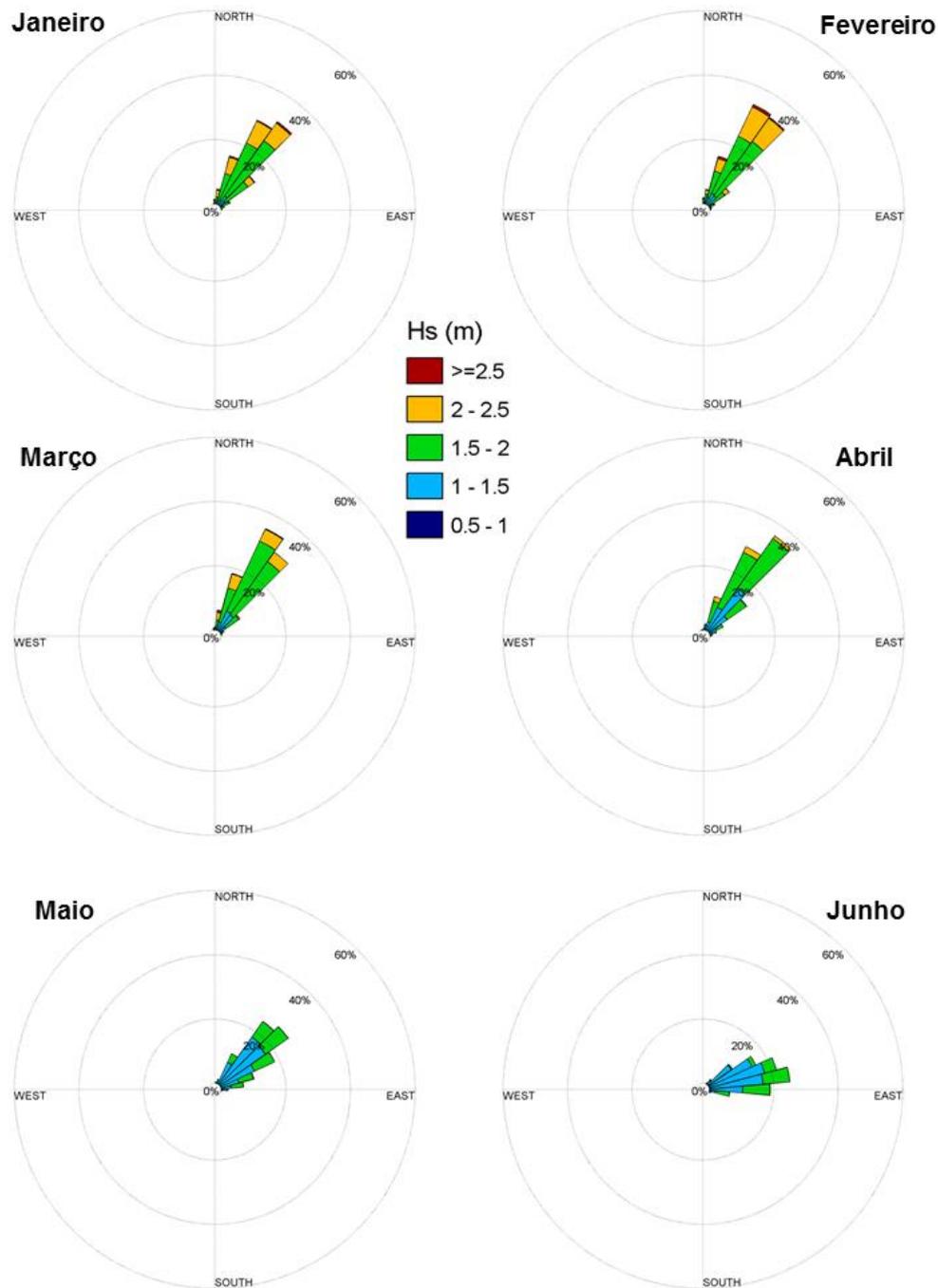


Figura II.5.1.2.2.D-4: Histogramas direcionais da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise, para os meses de janeiro a junho. Fonte dos dados: ECMWF.

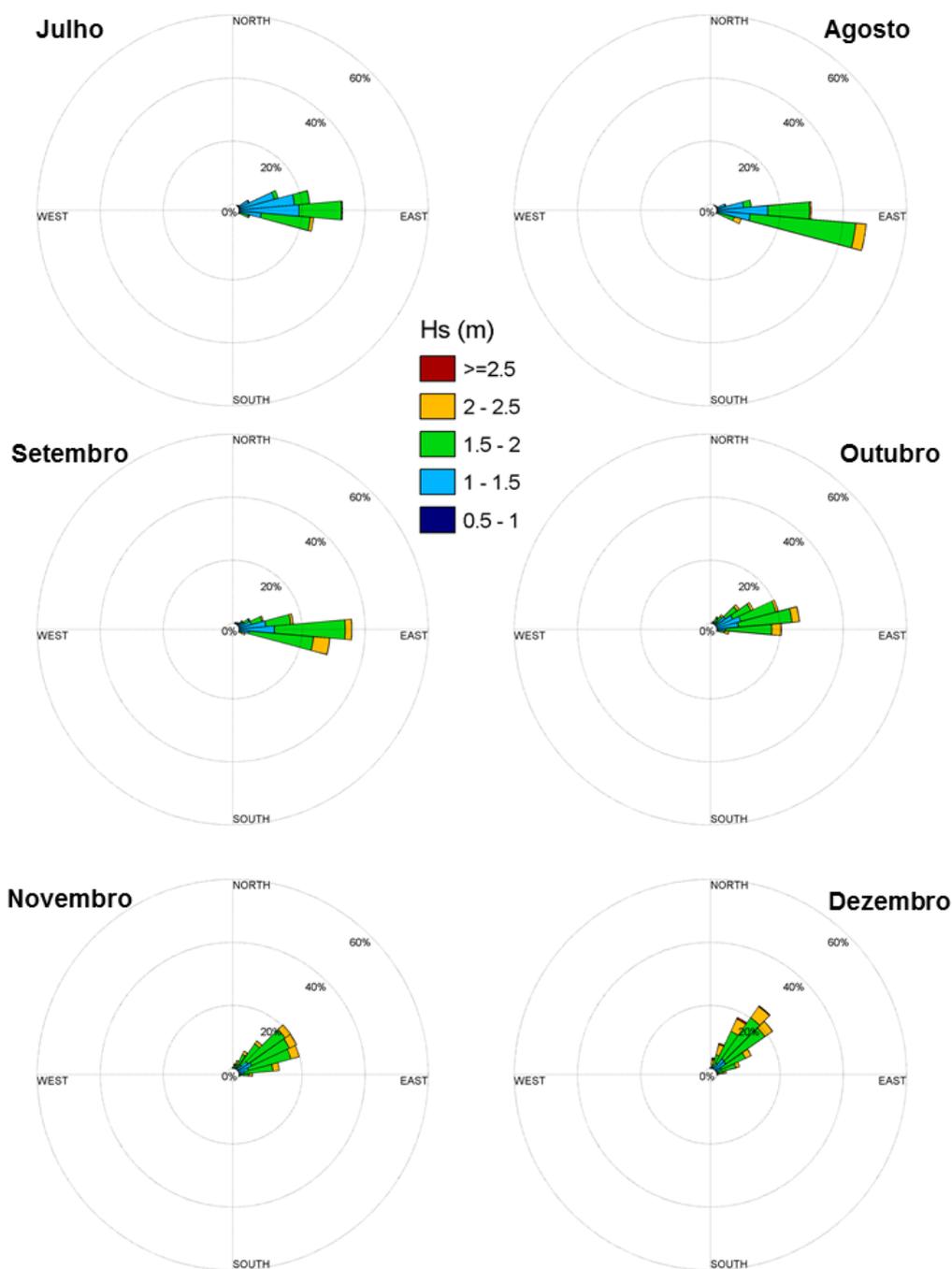


Figura II.5.1.2.2.D-5: Histogramas direcionais da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise para os meses de julho a dezembro. Fonte dos dados: ECMWF.

A seguir, apresenta-se o histograma direcional sazonal da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise. A separação representa as estações do ano no hemisfério sul.

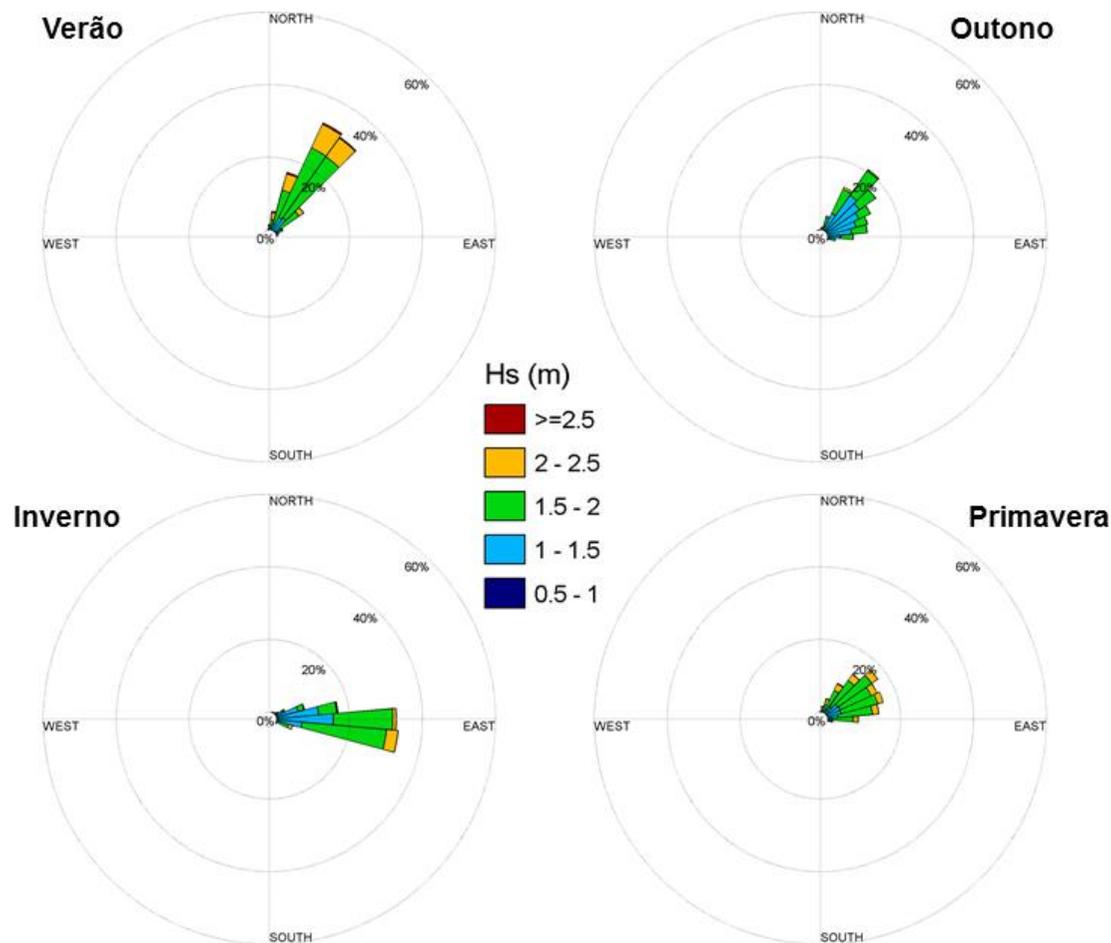


Figura II.5.1.2.2.D-6: Histogramas direcionais sazonais da altura significativa das ondas incidentes no ponto de análise. Fonte dos dados: ECMWF.

Conforme esperado, nota-se que durante os meses de verão, as ondas incidem de nordeste, com alturas significativas predominantes entre 1,5 e 2 m/s. No verão também é possível verificar uma grande porcentagem de ondas com alturas entre 2 e 2,5 m/s. Já no inverno, a predominância é de ondas de leste, com alturas novamente entre 1,5 e 2 m/s. Nota-se que nessa estação as ondas são menos energéticas que no verão. A primavera e o outono aparecem como estações de transição por apresentarem uma ampla variabilidade direcional em suas rosas entre as direções norte e leste.

Na Figura II.5.1.2.2.D-7 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta-se um gráfico de dispersão da altura significativa pela direção média, para cada estação do ano.

Pode-se notar que as ondas mais energéticas estão concentradas nas direções entre 0° e 50°, ou seja, de norte e nordeste. Além disso, é possível novamente verificar o contraste de direções entre verão (norte e nordeste) e inverno (nordeste e leste).

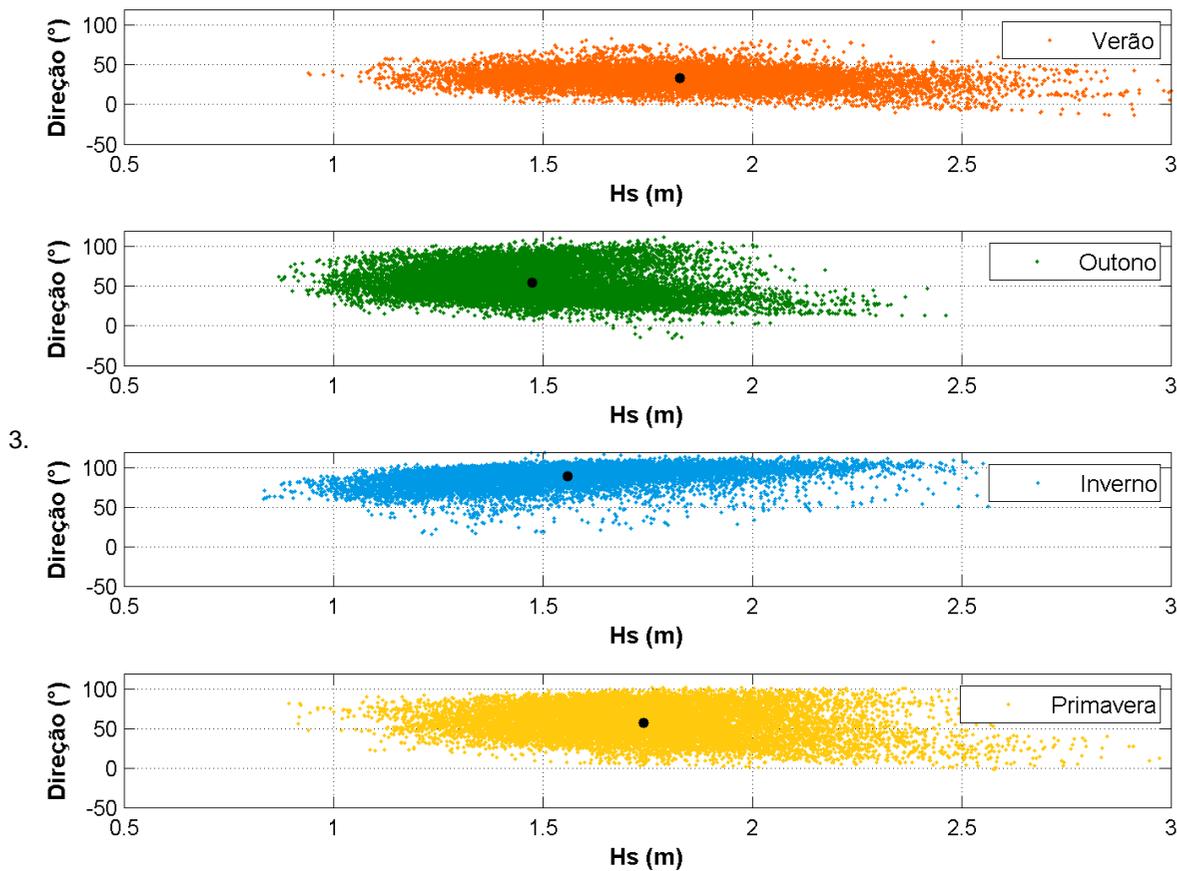


Figura II.5.1.2.2.D-7: Gráfico de dispersão de altura significativa e direção para as quatro estações. A média de cada estação é representada pelo ponto preto. Fonte dos dados: ECMWF.

Na Tabela II.5.1.2.2.D-2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são apresentados os percentis 5, 50 e 95 da altura significativa nas duas estações.

Tabela II.5.1.2.2.D-2: Percentis 5, 50 e 95 da altura significativa ao longo das estações do ano. Fonte dos dados: ECMWF.

Estação	5º Percentil	50º Percentil	95º Percentil
Verão	1,38 m	1,81 m	2,35 m
Outono	1,13 m	1,46 m	1,88 m
Inverno	1,15 m	1,54 m	2,03 m
Primavera	1,32 m	1,72 m	2,22 m

A seguir, apresentam-se tabelas de ocorrência conjunta de altura significativa por direção (Tabela II.5.1.2.2.D-3**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e de período de pico por direção (Tabela II.5.1.2.2.D-4**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Tabela II.5.1.2.2.D-3: Ocorrência conjunta de Hs e direção média, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados entre de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014. Fonte dos dados: ECMWF.

Direção										
Altura Sig. (m)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
0,5 - 1,0	0	81	87	0	0	0	0	0	168	0,32
1,0 - 1,5	338	8846	8163	2	0	0	0	0	17349	32,99
1,5 - 2,0	1699	15567	11309	14	0	0	0	0	28589	54,36
2,0 - 2,5	1066	3565	1435	7	0	0	0	0	6073	11,55
2,5 - 3,0	178	201	16	0	0	0	0	0	395	0,75
> 3,0	21	1	0	0	0	0	0	0	22	0,04
Total	3302	28261	21010	23	0	0	0	0	52596	-
Freq (%)	6,28	53,73	39,95	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-

Tabela II.5.1.2.2.D-4: Ocorrência conjunta de período e direção média para todo o período do dado. Fonte dos dados: ECMWF.

Direção										
Período (s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
4 - 6	0	20	618	0	0	0	0	0	638	1,21%
6 - 8	103	14168	19872	23	0	0	0	0	34166	64,96%
8 - 10	2054	13504	520	0	0	0	0	0	16078	30,57%
10 - 12	1039	562	0	0	0	0	0	0	1601	3,04%
12 - 14	104	7	0	0	0	0	0	0	111	0,21%
14 - 16	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0,00%

Total	3302	28261	21010	23	0	0	0	0	52596	-
Freq (%)	6,28	53,73	39,95	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-

A direção mais frequente é de nordeste (53,73%) seguida por ondas de leste (39,95%). Além disso, também se verifica ondas de norte (6,28%) e algumas ocasionais de sudeste (0,04%). A faixa de período entre 6 e 10 segundos concentra 95,53% das ocorrências de ondas, porém, ondas de até 16 segundos podem ocorrer na região. A faixa de altura significativa de 1,5 a 2m é a mais comum na região (54,36%), e 98,9% das ondas da região encontram-se na faixa de altura significativa de 1 a 2,5m. O estado de mar mais comum da região é composto por ondas de nordeste, com 1,5 a 2m de altura significativa e 6 a 8 segundos de período.

Nota-se novamente que a sazonalidade associada com a migração da ZCIT é dominante na modulação do clima de ondas da região.

II.5.1.2.2.D.1. Refração e deriva litorânea

Este capítulo busca atender a solicitação do IBAMA acerca da caracterização de refração de ondas e correntes de deriva litorânea na Baía Pará-Maranhão.

Para tal, um modelo regional de propagação de ondas é utilizado para propagar ondas características de uma determinada região, desde águas profundas até a costa. Devido às associadas e sucessivas variações na orientação da linha de costa deste litoral, não é possível realizar uma caracterização geral das correntes de deriva litorânea para a baía Pará Maranhão, conforme será discutido no item II.5.1.2.2.D.4. No entanto são feitas considerações sobre a dinâmica costeira tendo como base uma compilação de estudos de caracterização da área.

Para avaliar o clima de ondas nas proximidades do bloco e definir as ondas mais características da região, foram obtidos 35 anos de dados, de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014 de onda da reanálise do ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecast), da base ERA-Interim. ERA-Interim é a mais avançada reanálise produzida pelo ECMWF, que consiste em um banco de dados atmosféricos e de ondas gerado a partir de modelagem numérica e assimilação de dados. A posição do ponto utilizado para análise possui as coordenadas de 0,45° N e 44,25° W e é apresentada na **Figura II.5.1.2.2.D-1** **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

O SWAN (SWAN, 2014) foi o modelo escolhido para realizar a propagação dos cenários de ondas selecionadas desde águas profundas até a zona costeira. É um modelo de ondas de terceira geração utilizado para obtenção de estimativas reais de parâmetros de ondas de gravidade em áreas costeiras. Seus resultados serão utilizados para o estudo da refração de ondas.

Segundo a teoria de propagação de ondas, as mesmas interagem com o fundo oceânico e com barreiras como ilhas, quebra mares e afunilamentos físicos, alterando sua altura e direção de propagação (difração, refração e empinamento). A batimetria tem um importante papel na propagação das ondas e uma batimetria bem resolvida é crucial para a obtenção de bons resultados. Para esse trabalho foi utilizada a batimetria digitalizada da carta náutica que abrange a região da Baía do Oiapoque ao Rio Parnaíba.

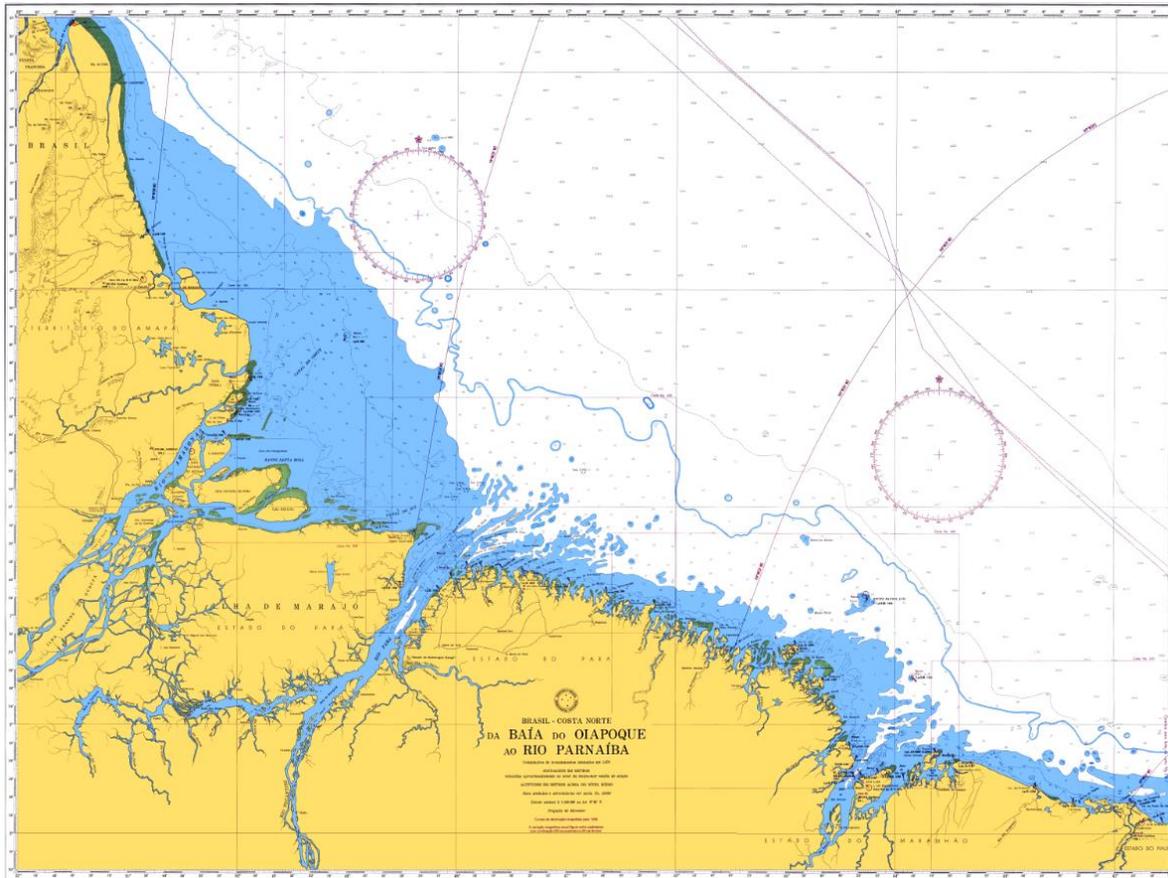


Figura II.5.1.2.2.D.1-1: Carta náutica utilizada na digitalização da batimetria para o modelo de propagação de ondas. Carta Náutica da Baía do Oiapoque ao Rio Parnaíba. Projeção Mercator e referidas ao Datum Córrego Alegre – MG.

II.5.1.2.2.D.2. Seleção dos cenários

A fim de se analisar as direções mais frequentes no local, e assim selecionar os cenários para a realização da modelagem, será utilizada a tabela de ocorrência conjunta de altura significativa (H_s) e direção das ondas (Tabela II.5.1.2.2.D-3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), apresentada anteriormente.

Nota-se que as direções de NE (53,73%), E (39,95%) e N (6,28%) são as mais frequentes, contabilizando juntas 99,96% das ocorrências. A partir da análise geral realizada com todo o conjunto de dados, foi realizado um refinamento da mesma análise, com intuito de se obter as características das ondas mais representativas da região para então serem utilizadas no estudo de propagação de onda.

Desta forma, são apresentadas a seguir tabelas de ocorrência conjunta de altura significativa (H_s) por período médio (T_p), para cada uma das três direções predominantes na região, nordeste (Tabela II.5.1.2.2.D.2-1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), leste (Tabela II.5.1.2.2.D.2-2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e norte (Tabela II.5.1.2.2.D.2-3).

Tabela II.5.1.2.2.D.2-1: Ocorrência conjunta de H_s e T_p para ondas de nordeste, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados entre de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014. Fonte dos dados: ECMWF.

Período (s)							Total	Freq (%)
Altura Sig. (m)	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16		
0,5 - 1,0	7	74	0	0	0	0	81	0,29
1,0 - 1,5	13	7079	1744	10	0	0	8846	31,30
1,5 - 2,0	0	6608	8769	189	1	0	15567	55,08
2,0 - 2,5	0	407	2864	293	1	0	3565	12,61
2,5 - 3,0	0	0	127	69	5	0	201	0,71
> 3,0	0	0	0	1	0	0	1	0,00
Total	20	14168	13504	562	7	0	28261	
Freq (%)	0,07	50,13	47,78	1,99	0,02	0,00		

Tabela II.5.1.2.2.D.2-2: Ocorrência conjunta de H_s e T_p para ondas de leste, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados entre de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014. Fonte dos dados: ECMWF.

Período (s)							Total	Freq (%)
Altura Sig. (m)	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16		
0,5 - 1,0	11	76	0	0	0	0	87	0,41
1,0 - 1,5	528	7604	31	0	0	0	8163	38,85
1,5 - 2,0	79	10960	270	0	0	0	11309	53,83
2,0 - 2,5	0	1224	211	0	0	0	1435	6,83
2,5 - 3,0	0	8	8	0	0	0	16	0,08
> 3,0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Total	618	19872	520	0	0	0	21010	
Freq (%)	2,94	94,58	2,48	0,00	0,00	0,00		

Tabela II.5.1.2.2.D.2-3: Ocorrência conjunta de Hs e Tp para ondas de norte, a partir da reanálise do ERA-Interim, com dados entre de 01 de janeiro de 1979 até 31 de dezembro de 2014. Fonte dos dados: ECMWF.

Período (s)	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16	Total	Freq (%)
Altura Sig. (m)								
0,5 - 1,0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
1,0 - 1,5	0	68	266	4	0	0	338	10,24
1,5 - 2,0	0	34	1346	318	1	0	1699	51,45
2,0 - 2,5	0	1	429	598	38	0	1066	32,28
2,5 - 3,0	0	0	13	118	47	0	178	5,39
> 3,0	0	0	0	1	18	2	21	0,64
Total	0	103	2054	1039	104	2	3302	
Freq (%)	0,00	3,12	62,20	31,47	3,15	0,06		

De acordo com as análises apresentadas, pode-se dizer que as condições apresentadas na Tabela II.5.1.2.2.D.2-4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são as mais frequentes. Serão esses os cenários de ondas a serem propagadas no modelo regional (SWAN).

Tabela II.5.1.2.2.D.2-4: Ondas mais frequentes para cada direção incidente.

	NE	E	N
Hsig (m)	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0
Período - Tp (s)	6 - 8	6 - 8	8 - 10

II.5.1.2.2.D.3. Propagação de ondas ao largo

A direção e altura com a qual a onda incide sobre a linha de costa são determinadas pela propagação das ondas geradas em águas profundas até a zona costeira que, ao interagirem com o fundo sofrem refração, empinamento e difração, alterando sua direção de propagação e altura.

A partir dos cenários de ondas determinados a partir de uma climatologia elaborada com mais de 30 anos de dados e apresentada acima, um modelo de ondas foi elaborado para a região de interesse e então os cenários de ondas selecionados foram propagados desde águas profundas até a linha de costa. Na Figura II.5.1.2.2.D.3-1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** o domínio e a batimetria do modelo utilizado podem ser observados.

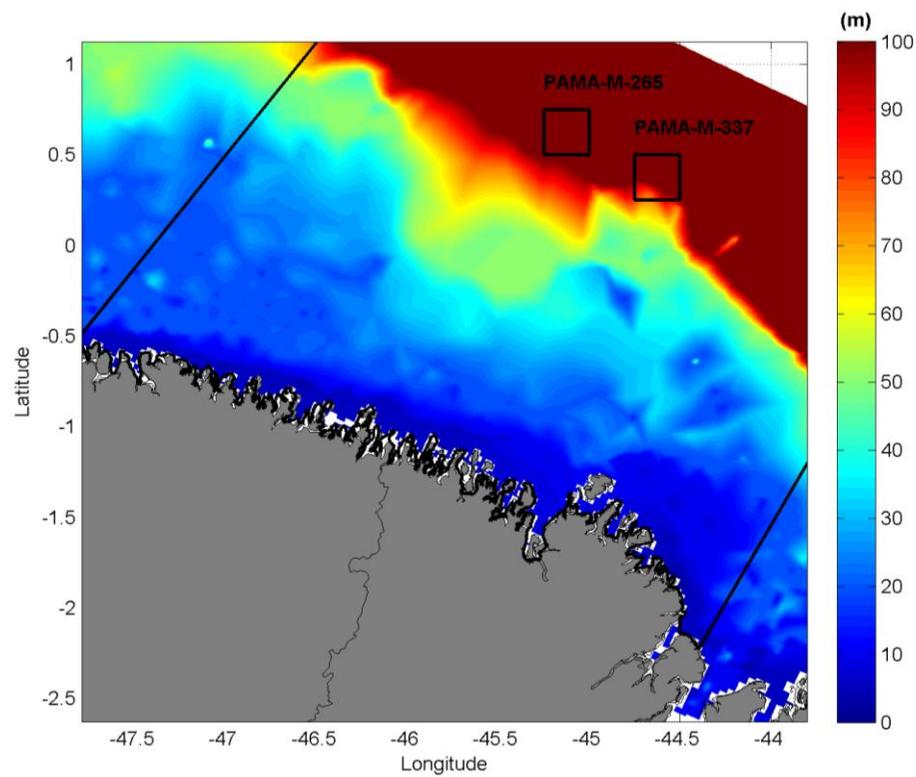
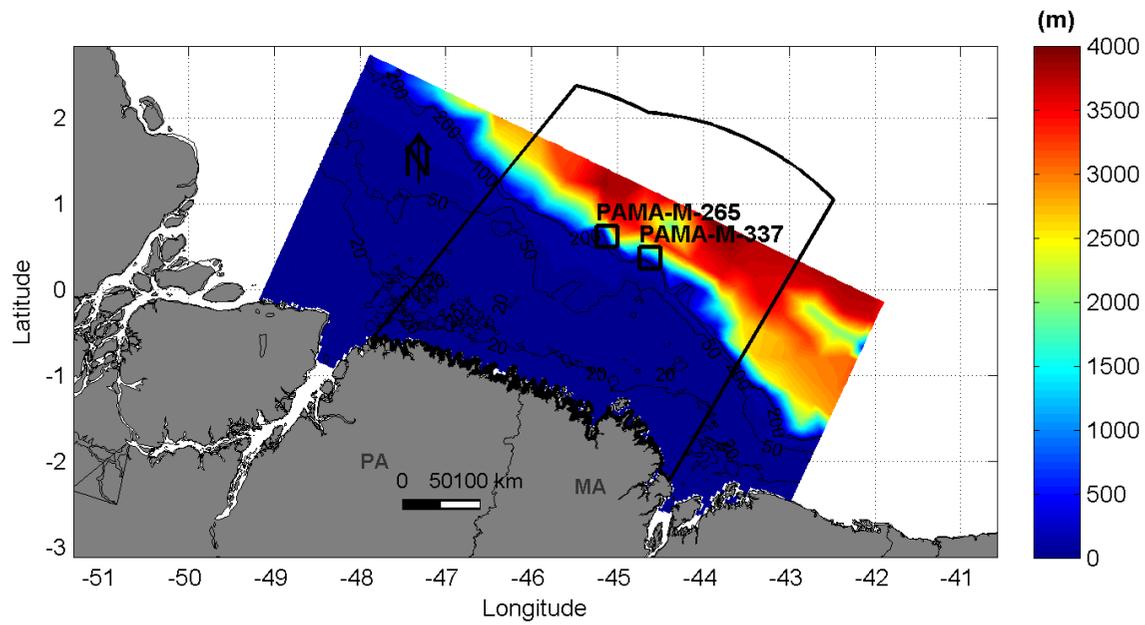


Figura II.5.1.2.2.D.3-1: Batimetria e domínio do modelo regional de propagação de ondas. Acima, todo o domínio de modelagem, abaixo, zoom na região costeira com escala de cores em menor amplitude (0 a 100m).

A seguir, da Figura II.5.1.2.2.D.3-2**Erro! Fonte de referência não encontrada.** a Figura II.5.1.2.2.D.3-4**Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam-se os mapas de refração de onda para os três cenários selecionados.

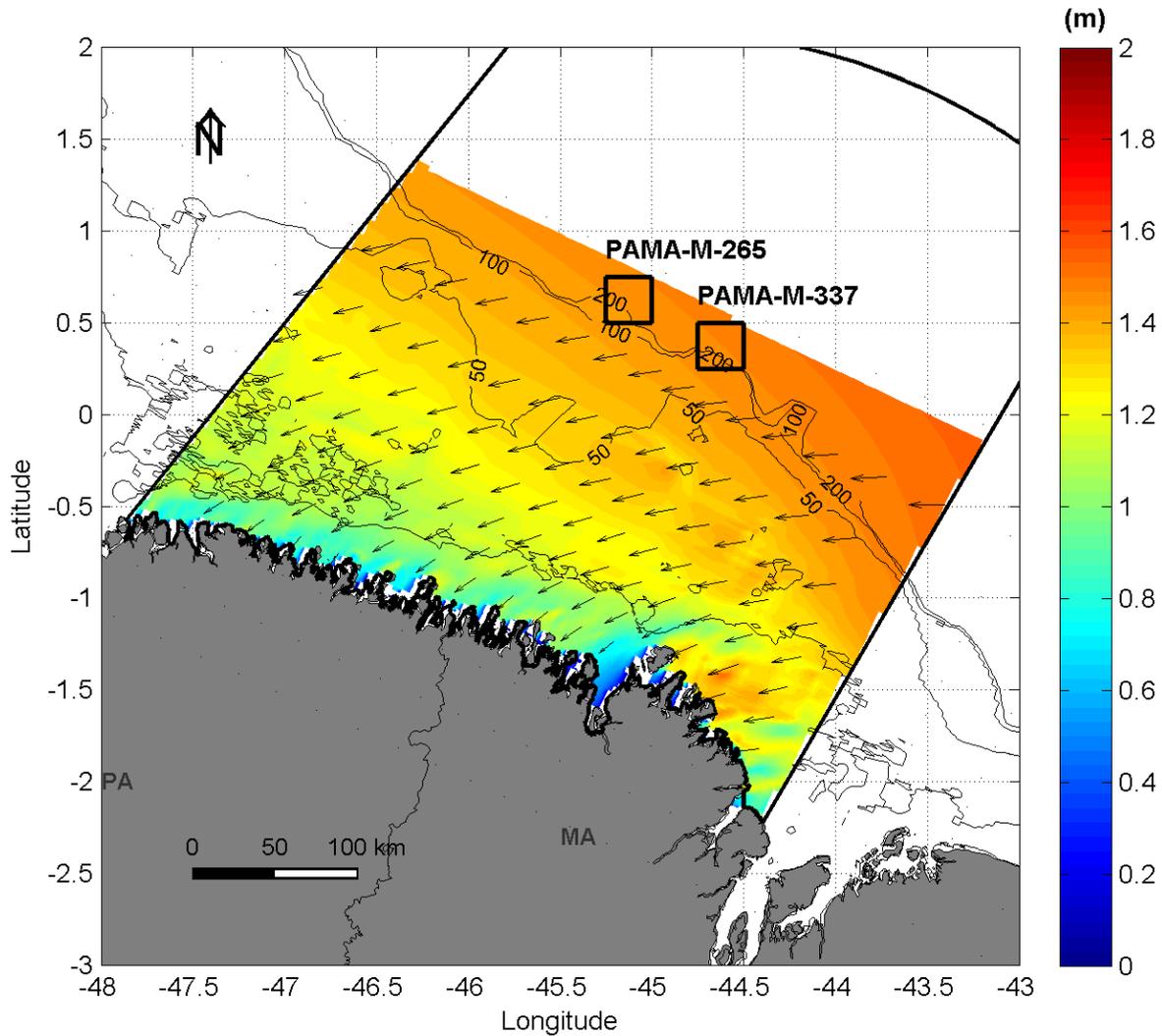


Figura II.5.1.2.2.D.3-2: Mapas de resultado de altura e direção de ondas originadas de E, com 1,75m e 7 segundos de período.

Os resultados apresentados na Figura II.5.1.2.2.D.3-2**Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostram que as ondas originadas de leste chegam à região costeira com direção nordeste e alturas entre 0,5 m e 1,4 em sucessivos pontos de amplificação e redução da energia das ondas.

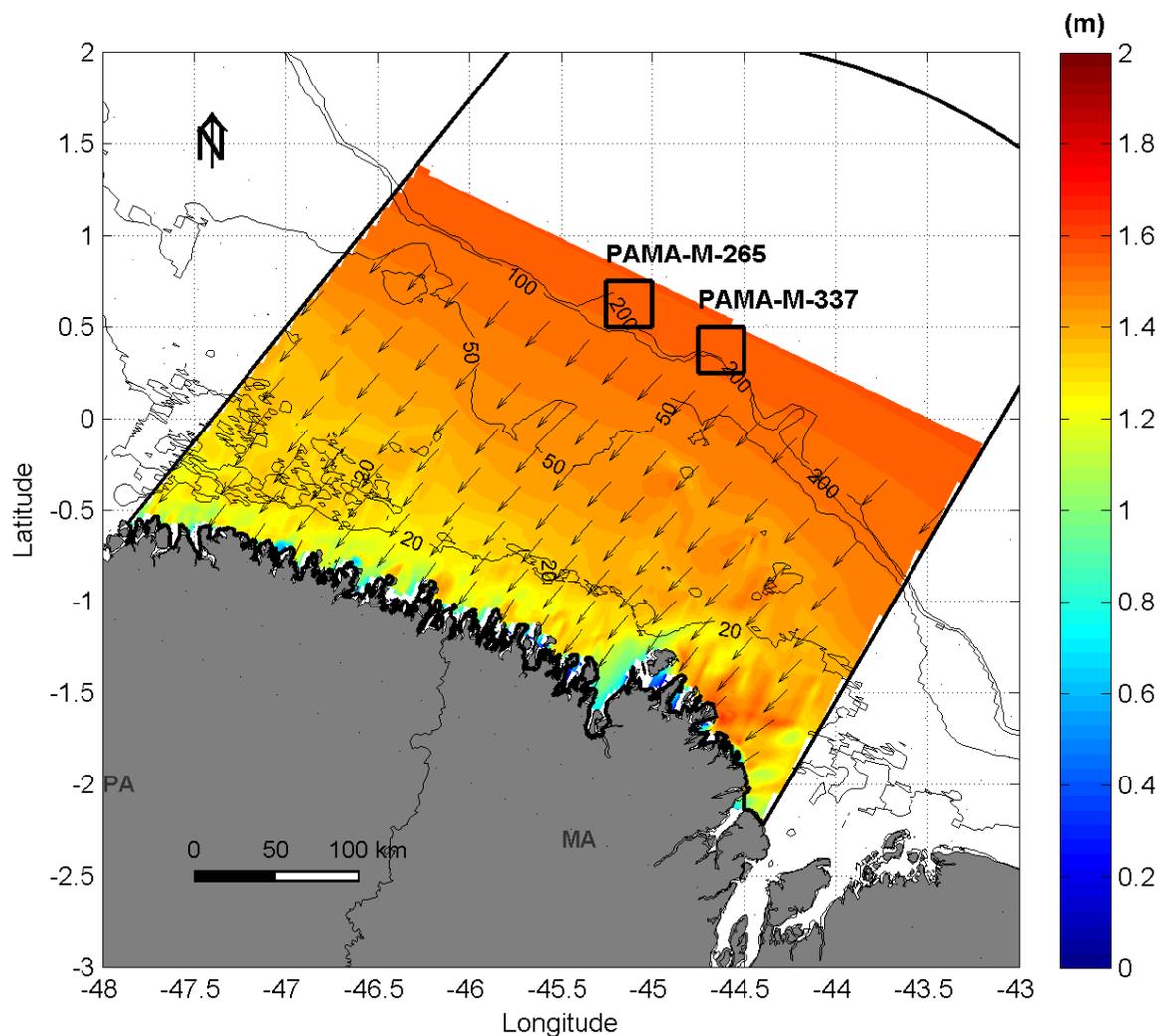


Figura II.5.1.2.2.D.3-3: Mapas de resultado de altura e direção de ondas originadas de NE, com 1.75 m e 7 segundos de período.

Os resultados apresentados na Figura II.5.1.2.2.D.3-3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostram que as ondas originadas de NE chegam à região costeira com alturas entre 0.8 e 1,6 metros na região. Notam-se novamente sucessivos pontos de amplificação e redução da energia de ondas incidente.

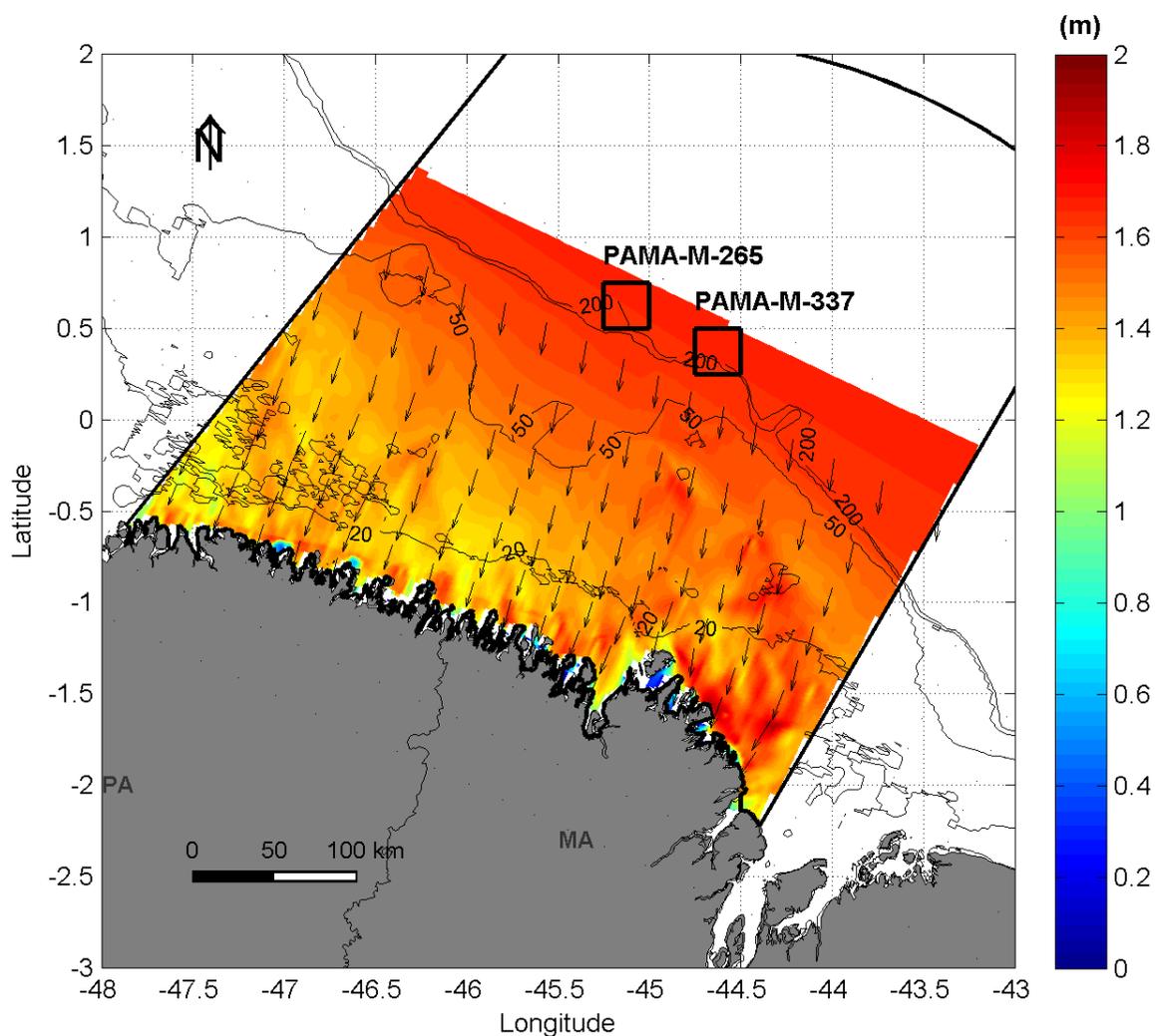


Figura II.5.1.2.2.D.3-4: Mapas de resultado de altura e direção de ondas originadas de N, com 1.75 m e 9 segundos de período.

As ondas de N, com percentual de ocorrência mais baixo (<7%), são as mais energéticas a alcançar a linha de costa. Devido à refração, alcançam o litoral com direção NNE com alturas entre 1,2 e 1,8 m, também em sucessivos pontos de amplificação e redução de sua energia.

II.5.1.2.2.D.4. Deriva Litorânea

As ondas, ao alcançarem a zona litorânea, além de dissiparem sua energia através da interação com o fundo, geram correntes costeiras. Segundo Komar (1967; 1998), a deriva litorânea é composta pela corrente longitudinal e a deriva de praia. A direção e magnitude dessa deriva é função da direção de incidência da onda em relação à linha de costa e a energia com a qual a onda chega à praia.

A intensidade do potencial da deriva (X) está relacionada com o ângulo de incidência e com a energia das ondas, que por sua vez é proporcional ao quadrado das alturas, segundo a expressão (DOMINGUEZ, 2007):

$$X = Y * H^2$$

$$Y = \text{sen}(\alpha) * \cos(\alpha)$$

Onde α é o ângulo que a frente de onda faz com a linha de costa e H é a altura significativa das ondas na zona costeira.

A deriva litorânea é, portanto, determinada pelo ângulo formado entre a frente de onda incidente na zona costeira e a orientação da linha de costa.

O litoral NE do Pará e NO do Maranhão que compõe a costa da bacia Pará-Maranhão é recortado por várias reentrâncias, formadas por baías flúvio-estuarinas, configurando um litoral de falsas rias, com vales fluviais afogados e ricas comunidades bióticas que formam um macro sistema de manguezais. Esta zona costeira é caracterizada por uma dinâmica significativa, palco de transformações morfo-sedimentares rápidas sob a influência de um regime de macromaré e transporte eólico de sedimentos (Muehe, 2006).

Devido às sucessivas variações na orientação da linha de costa (Figura II.5.1.2.2.D.4-1), um estudo geral da deriva litorânea para a região é inviável. Mesmo para uma região específica deste litoral, como a praia de Ajuruteua, Sousa Filho (2001 *apud* Muehe, 2006) conclui que ocorrem mudanças na deriva litorânea de um setor a outro, onde existem duas direções preferenciais devido às variações na orientação da linha de costa.

Porém, devido ao fato de que a região é dominada pela dinâmica de macromaré e o transporte de sedimentos se dá principalmente pela ação das correntes de maré e eólica, a influência das ondas incidentes é de importância reduzida. Na dinâmica sedimentar da região, as ondas seriam responsáveis pela formação de cristas e calhas nas planícies intermaré, intensificando tais cristas e aplainando as mesmas nos períodos de menor energia (período seco) e maior energia (chuvoso), respectivamente (Pedreros et al., 1996; Michel & Howa, 1999; Alves, 2001 *apud* Muehe, 2006).



Figura II.5.1.2.2.D.4-1: Detalhe da linha de costa da Bacia Pará-Maranhão. Nota-se que o litoral é composto por baías fluvio-estuarinas com sucessivas mudanças na orientação da linha de costa.

II.5.1.2.2.E. Regime de Marés

Podemos classificar a maré quanto ao seu período, ou seja, pode-se determinar se a maré é diurna, semi-diurna, mista principalmente diurna ou mista principalmente semi-diurna (POND; PICKARD, 1978).

Para classificar a maré, calcula-se um fator que leva em consideração a amplitude das principais componentes diurnas e semi-diurnas. Segundo Pond & Pickard (1978), esse fator é definido por:

$$F = \left(\frac{(K_1 + O_1)}{(M_2 + S_2)} \right)$$

De acordo com essa classificação temos:

$F = 0$ a $0,25$: Maré semi-diurna, ou seja, a maré cujo período é de aproximadamente 12h. Neste caso, tem-se duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas. A altura de uma preamar é praticamente igual a outra, o mesmo acontecendo com a baixamar.

$F = 0,25$ a $1,5$: Maré mista, principalmente semi-diurna, ou seja, a maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, semi-diurna, podendo ser diurna em algumas épocas do ano.

$F = 1,5$ a $3,0$: Maré mista, principalmente diurna, ou seja, a maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, diurna, podendo ser semi-diurna em algumas épocas do ano.

$F > 3,0$: Maré diurna, ou seja, a maré cujo período é de 24h, aproximadamente. Nesse caso, tem-se apenas uma maré alta e uma maré baixa em 24 horas.

Para a caracterização da maré na região costeira próxima aos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, foram utilizadas as constantes harmônicas obtidas da estação maregráfica da Ilha dos Irmãos - MA, localizada em 1.07° S e 45.90° W, obtida do catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras da Fundação de Estudos do MAR (FEMAR).

A partir destes, foram então retirados os dados de fase e amplitude de sete componentes (M2, S2, N2, K2, K1, O1 e Q1).

A localização dessa estação pode ser observada na Figura II.5.1.2.2.E-1**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e as constantes harmônicas encontram-se na Tabela II.5.1.2.2.E-1**Erro! Fonte de referência não encontrada.**

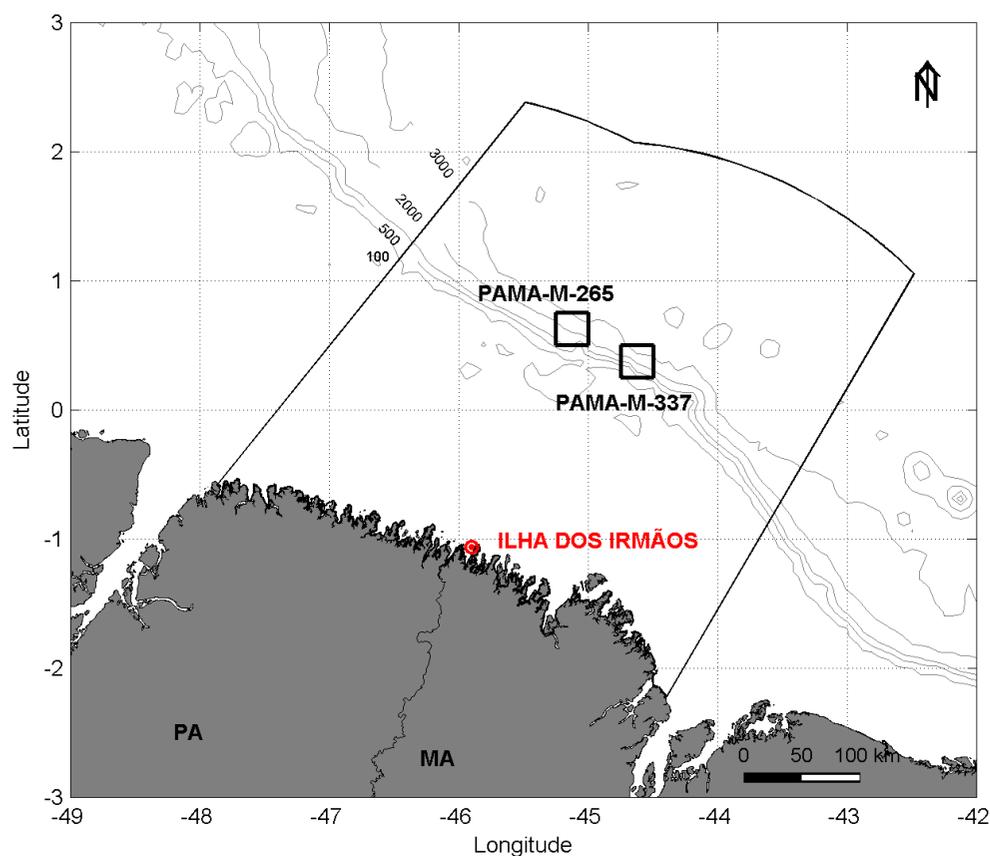


Figura II.5.1.2.2.E-1: Localização da estação maregráfica da FEMAR da Ilha dos Irmãos – MA (ponto vermelho).

Tabela II.5.1.2.2.E-1: Constantes harmônicas obtidas da estação da FEMAR da Ilha dos Irmãos.

Componente	Nome	Semi-amplitude (m)	Fase (°)
Q1	lunar elíptica diurna	0,012	211
O1	lunar principal diurna	0,066	212
K1	luni-solar principal diurna	0,069	242
N2	lunar elíptica semi-diurna	0,289	190
M2	lunar principal semi-diurna	1,466	186
S2	solar principal semi-diurna	0,439	224
K2	luni-solar semi-diurna	0,119	224

Utilizando os valores apresentados na Tabela II.5.1.2.2.E-1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, podemos concluir que na região de interesse temos:

$F = 0,071$ – maré semi-diurna.

Podemos calcular também, segundo a formulação de Pond & Pickard (1978), a média da amplitude das marés de sizígia, que nesse caso será:

$2(M_2+S_2) = 3,81$ m, para a estação da Ilha dos Irmãos - MA.

Na Figura II.5.1.2.2.E-2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é apresentada a série de elevação para todo o ano de 2013. Foram verificados valores de preamar máximos de aproximadamente 2,3 m, e de baixamar mínimos de -2,3 m. Através da figura, também podemos observar que a maré de quadratura na região possui amplitudes médias da ordem de 1 m.

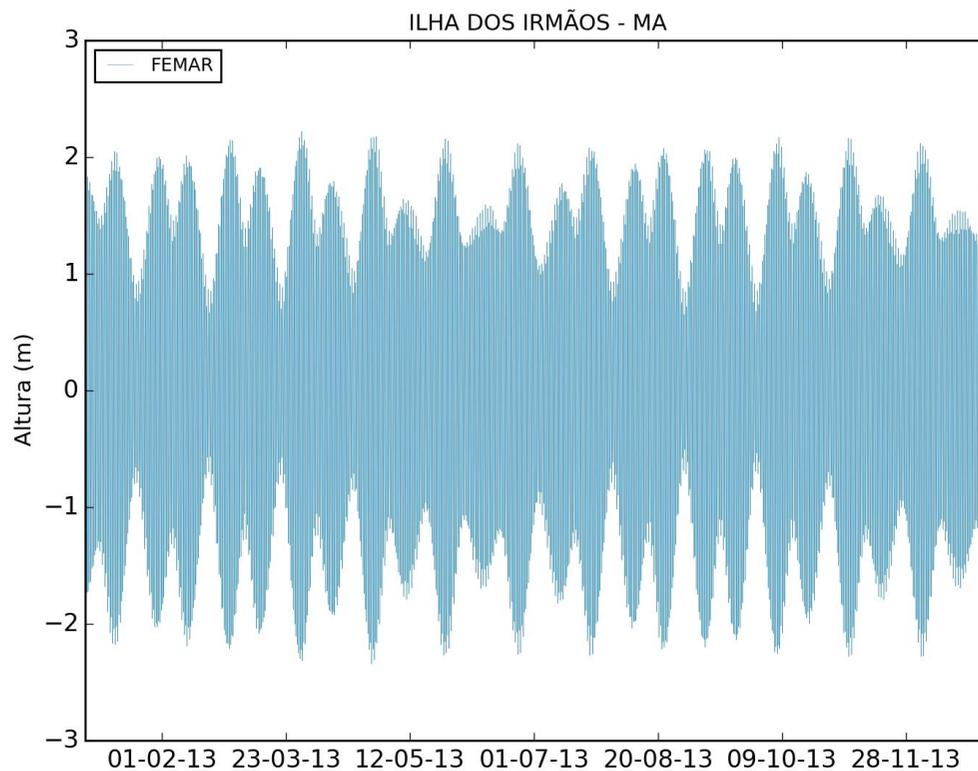


Figura II.5.1.2.2.E-2: Elevação da superfície do mar (m) para todo o ano de 2013 na região da Ilha dos Irmãos - MA.

Exemplos dos campos de semi-amplitude e fase da componente M2 (mais significativa na região) podem ser vistos na **Figura II.5.1.2.2.E-3** e na **Figura II.5.1.2.2.E-4**. A amplitude da componente M2 na costa norte do Brasil

apresenta valores máximos na região costeira entre a Baía de São Marcos – MA e a Foz do Rio Amazonas. Os mapas foram extraídos do modelo global de marés TPX07 (EGBERT; EROFEEVA, 2002). Este modelo possui resolução de 1/4° e utiliza dados do satélite altimétrico TOPEX/POSEIDON como fonte primária para assimilação.

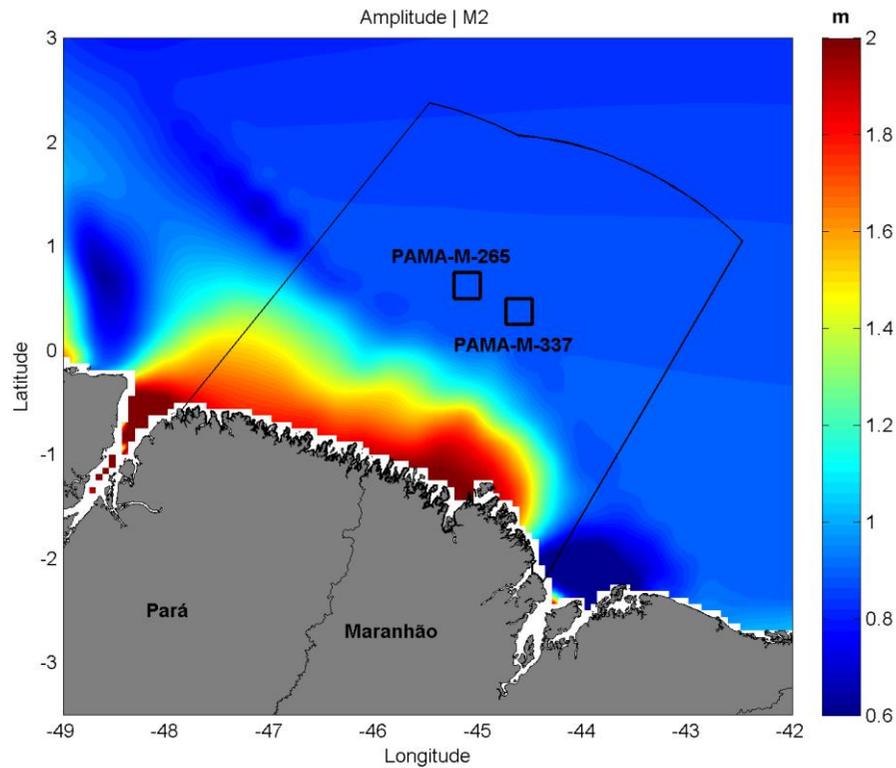


Figura II.5.1.2.2.E-3: Semi-amplitude da componente M2 para região de interesse.

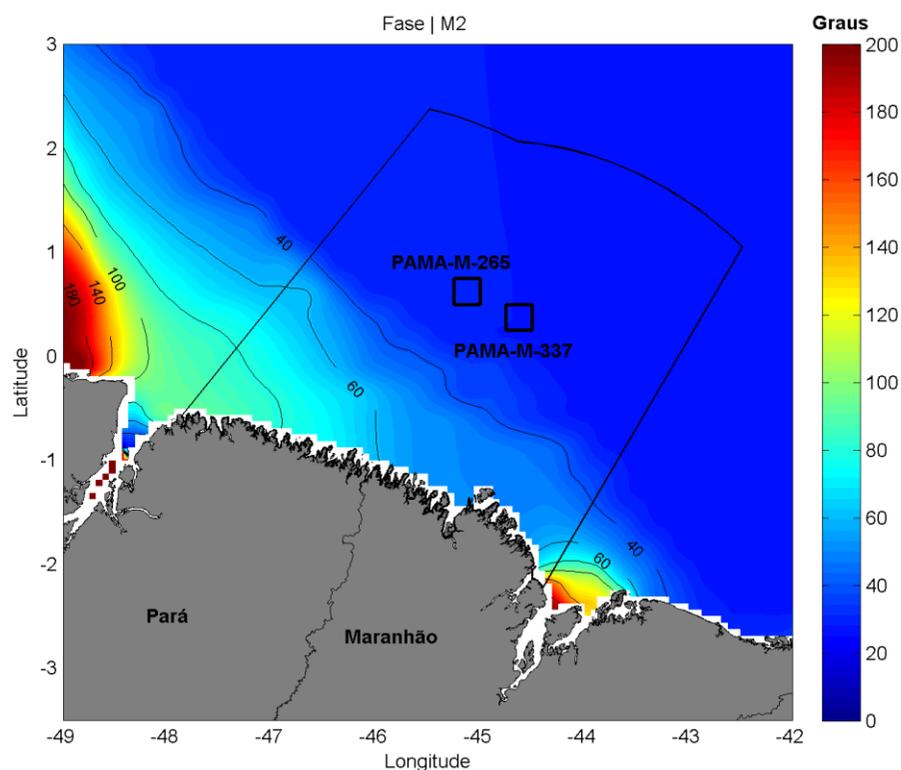


Figura II.5.1.2.2.E-4: Fase da componente M2 para região de interesse.

Portanto, podemos classificar a maré na região como sendo semi-diurna e com amplitudes médias de maré de sizígia variando em torno de 3,81 m e máximas atingindo valores acima de 4,5 m, o que configura um regime de macromaré.

II.5.1.2.3. Identificação da Sazonalidade

Assim como para a meteorologia, ao longo deste estudo os parâmetros oceanográficos foram analisados através de médias mensais e mapas médios para verão, inverno, primavera e outono - separação sazonal astronômica, determinada pela data dos equinócios e solstícios.

A partir dos estudos feitos para as correntes oceânicas na região de estudo, não se observou uma sazonalidade bem definida, sobretudo nos padrões direcionais. No ponto estudado representativo do talude, foram observadas apenas pequenas variações de intensidade nos meses de inverno, porém não suficientes para uma distinção de fenômenos.

Já para as ondas incidentes na Bacia Pará-Maranhão, verificou-se, assim como para os parâmetros meteorológicos, duas “macro-estações”, agrupando verão e outono, inverno e primavera. Esse ciclo tem como principal forçante a migração oscilatória da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT, como apontado na caracterização meteorológica, passa de sua posição mais ao norte nos meses de inverno austral, para sua posição mais ao sul nos meses de verão austral. Com isso, as ondas apresentam maiores alturas significativas e de nordeste nos meses de dezembro a março e ondas com menores alturas e de leste nos meses de maio a agosto.

No período de verão (janeiro a junho), as temperaturas da superfície do mar são mais elevadas, e a água menos salina, devido a maior pluviosidade do período. No período de inverno (julho a dezembro), devido a maior intensidade dos ventos, há um espessamento da camada de mistura. Neste período a camada de mistura tem aproximadamente 100m de profundidade, enquanto que no período de verão, é de aproximadamente 50 m.

Foi identificado que a principal variação sazonal apresentada nos parâmetros oceanográficos está relacionada à migração da ZCIT (caso das ondas), assim como visto nas variáveis meteorológicas. Dessa forma, é adequado tratar as mesmas macro-estações apresentadas na sazonalidade dos parâmetros atmosféricos como sazonalidade para a oceanografia: meses de dezembro a maio (período chuvoso) e meses de junho a novembro (período seco).

A Tabela II.5.1.2.3-1 resume os valores das médias climatológicas para cada variável oceanográfica em cada período definido anteriormente.

Tabela II.5.1.2.3-1: Valores climatológicos obtidos para cada variável analisada na Bacia Pará-Maranhão e estações definidas: período chuvoso – dezembro a maio, e período seco – junho a novembro.

Variáveis	Média climatológica – Período Chuvoso	Média climatológica – Período Seco
Vel. de Corrente Superficial (m/s)	0,83	1,17
Dir. de Corrente Superficial (graus)	295	298
Altura de Ondas (m)	1,76	1,58
Direção de Ondas (graus)	42	79
Temperatura (°C)	27,6	27
Salinidade	35,55	36,2

II.5.1.2.4. Identificação de fenômenos oceanográficos extremos

Neste item buscou-se identificar a ocorrência de eventos extremos a partir das séries de dados de correntes e ondas existentes para a Bacia do Ceará. A definição utilizada para evento extremo é a de evento raro, conforme definido no Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA nº 36/14. Desta forma, eventos extremos são aqueles que estão a uma distância da média de mais ou de menos duas vezes o desvio padrão.

Apresenta-se a seguir, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** II.5.1.4-1 Erro! Fonte de referência não encontrada., uma síntese dos eventos extremos onde, para cada variável, podem-se observar os limiares positivos e negativos (duas vezes acima e abaixo da média, respectivamente), a frequência de ocorrência de ambos nas séries e os meses onde esses eventos extremos ocorreram mais vezes dentro das séries analisadas.

Assim como apontado na meteorologia, entendemos que esta definição de evento extremo pode não ser adequada, muitas vezes indicando valores mais comuns como extremos. Assim, de forma complementar, também foram retirados os percentis 99,99% e 0,01% como limites superiores e inferiores para consideração de eventos extremos (Tabela II.5.1.2.4-2).

Para velocidade de correntes, foram analisados os resultados do ROMS para a região oceânica, e para os dados de ondas, foram avaliados os resultados do ERA-Interim.

Tabela II.5.1.2.4-1: Tabela síntese de eventos extremos de correntes e ondas. Limiares superiores e inferiores, frequência de ocorrência acima e abaixo dos limiares e meses críticos para ocorrência.

Variável	Limiar superior	Frequência de ocorrência	Mês Crítico
Vel. de correntes (m/s)	1,7	1,82%	Agosto
Altura de ondas (m)	2,25	3,27%	Janeiro

Tabela II.5.1.2.4-2: Tabela síntese de eventos extremos de correntes e ondas. Limiares superiores e inferiores e meses críticos para ocorrência. Os limites considerados para os limiares foram obtidos a partir dos percentis 0,01% e 99,99%.

Variável	Mínimo	Limiares		Máximo	Meses críticos	
		Inferior	Superior		Inferior	Superior
Vel. de correntes (m/s)	0,37	0,43	1,78	1,89	Março	Agosto
Altura de ondas (m)	0,83	0,85	3,24	3,43	Julho	Dezembro

II.5.1.2.5. Considerações finais

A análise dos dados oceanográficos da região da Bacia Pará-Maranhão demonstrou a presença de uma termoclina permanente na região, que se inicia entre aproximadamente 100 m de profundidade e se estende até 700-800 m. Em aproximadamente 800 m de profundidade, também é encontrado o mínimo de salinidade (~34,5), associado à AIA. No período de verão e outono (janeiro a junho), ocorrem os maiores índices de precipitação na região, fazendo com que salinidades mais baixas sejam encontradas em superfície. Este também é o período de cheia do Rio Amazonas, fazendo com que uma pluma de baixa salinidade relacionada à descarga do rio seja verificada na porção oeste da Bacia Pará-Maranhão. A análise dos diagramas T-S, elaborados com dados coletados na campanha de baseline, mostrou a presença da Água de Mistura (AM), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) – sendo que nas proximidades do bloco PAMA-M-265 e PAMA-M-337.

A partir da análise do clima de ondas da região foi observado que a classe de altura mais frequente foi de 1 a 2 m, enquanto que o período foi de 6 a 8s. Notou-se, também, a presença de ondulações maiores, atingindo quase 3,5 m de altura e 14s de período médio, associadas a situações de *swell*, gerados por tempestades no Atlântico Norte, mais frequentes no período de inverno. Os dados de correntes mostram que a região é influenciada, principalmente, pela Corrente Norte do Brasil (CNB). Até aproximadamente 600 m de profundidade o fluxo tem direção preferencial para NW. A partir dessa profundidade, há uma inversão no sentido das correntes devido ao transporte da AIA. Na área dos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, por estes se localizarem na porção externa da plataforma continental, e sobre o talude, não é esperada grande influência das correntes de maré na circulação. Entretanto, em regiões próximas, situadas em áreas mais internas da plataforma continental, estas passam a ser mais significativas.

Na região costeira próxima aos blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337, as marés apresentam amplitudes médias de sizígia de 3,81 m. Nesta zona também podem ser esperados os maiores valores de temperatura e os menores de salinidade.

De uma forma geral, observa-se que os parâmetros oceanográficos sofrem grande influência da migração da ZCIT e das alterações meteorológicas provocadas por esta na região de estudo.

Bibliografia

AOML, 2013. Disponível em: <http://www.aoml.noaa.gov/>. Acessado em outubro de 2013.

ARAGÃO, J. O. R.; 1997. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no nordeste do Brasil. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (Sectma) do Governo do Estado de Pernambuco.

CASTRO, B. M., MIRANDA, L. B., 1998. *Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf Located between 4°N and 34°S Coastal Segment (4, W)*. Chapter 8. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo

CLAUZET, G. Escalas de variabilidade no atlântico tropical inferidas a partir da rede de bóias PIRATA. São Paulo, 2001, 109pp. Dissertação (Mestrado em Ciências da Terra), Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

CAVALCANTI, I. F. A., 1996, Episódios "El Niño"/Oscilação Sul durante a década 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil, Climanálise Especial 10 anos, São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em: <http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/nino.html>. Acessado em janeiro de 2006.

Covey C., A. Dai, D. Marsh y R. Lindzen , 2011. *The Surface-Pressure Signature of Atmospheric Tides in Modern Climate Models*. J. Atmos. Sci., 28, 495-514.

DAVIES J. L. 1972. *Geographical variation in coastal development*. Logman Inc New York, 204 p.

FERREIRA, N. S., 1996, Zona de Convergência Intertropical, Climanálise Especial 10 anos, São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em: http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/zcit_1.html. Acessado em janeiro de 2006.

FISCH, G., MARENGO, J., & NOBRE, C. A., 1996, Clima da Amazônia, Climanálise Especial 10 anos, São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/fish.html>. Acessado em janeiro de 2006.

GUSMÃO, A. M., 1996, Alta da Bolívia, Climanálise Especial 10 anos, São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em: <http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/17.html>. Acessado em janeiro de 2006.

INNOCENTINI, V. ; PRADO, S. C. C. ; ARANTES, F. O. ; BRANDÃO, I. N. . Marulhos no Litoral Norte do Brasil Gerados por Furacões: caso 24 de outubro de 1999. Revista Brasileira de Meteorologia, 2001.

KANAMITSU, M., W. EBISUZAKI, J. WOOLEN, S-K YANG, J.J. HNILO, M. FIORINO, and G. L. POTTER, 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). Bull. Amer. Met. Soc., 83, 1631-1643.

LOCARNINI, R. A., A. V. MISHONOV, J. I. ANTONOV, T. P. BOYER, H. E. GARCIA, O. K. BARANOVA, M. M. ZWENG, AND D. R. JOHNSON, 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 68, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.

LOUREIRO, R.S.; GOMES, R. G.; Rocha, E. J. P. 2006. Análise de uma linha de instabilidade costeira na região leste do Estado do Pará. Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.3b, 258-270.

- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L. & BITTENCOURT, A.C.S.P. 1998. *Climatic control of coastal erosion during a sealevel fall episode*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 1998.
- MENEZES, V. V., 1999. Relação entre processos físicos e a cor do Oceano Atlântico Tropical. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- MOLLERI, G. S. F., KAMPEL, M., NOVO, E. M. L. de M., PAIVA, R. S, Utilização de Álgebra Booleana para a Identificação de Massas d'Água na Plataforma Continental Amazônica. III Simpósio Brasileiro de Oceanografia. IOUSP, 2006.
- MUEHE D (2006). Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. Ministério do Meio Ambiente, pp:43:130, isbn: 85-7738-028-9.
- PICKARD, G. & EMERY, W. 1982. *Descriptive Physical Oceanography - An Introduction*. Pergamon Press.
- POND, S. & G.L. PICKARD, 1978. *Introductory Dynamical Oceanography*. Pergamon Press, Oxford. 329p
- RI PRO06. Relatório Interno. Meio Físico. Meteorologia. Terminal Aquaviário de Barra do Riacho. Preparado por: Lincon Alves. 2007.
- SCHWIDERSKI, E. W. (1979). *On Charting Global Ocean Tides, Part II: The Semidiurnal Principal Lunar Tide (M2)*, *Atlas of Tidal Charts and Maps*, NSW (TR 79-414).
- SILVA, L.C.F., C.A.F. ALBUQUERQUE, W.W. CAVALHEIRO, C.M.P. HANSEN, 1982: Gabarito tentativo para as massas de água da costa sudeste brasileira. Separata dos Anais Hidrográficos - Tomo XLI. 30p.
- SOUZA, R. B.; LORENZETTI, J. A.; LUCCA, E. V. D. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: Souza, R. B. (Org.). *Oceanografia por Satélites*. São Paulo: Oficina de textos, p. 102-115, 2005.
- STARK, J. D. CRAIG J. DONLON, MATTHEW J. MARTIN and MICHAEL E. McCULLOCH, 2007, *OSTIA : An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system.*, Oceans '07 IEEE Aberdeen, conference proceedings. Marine challenges: coastline to deep sea. Aberdeen, Scotland.IEEE.
- STRAMMA L., 1991: *Geostrophic Transport of the South Equatorial Current in the Atlantic*. *Journal of Marine Research*, 49. 281 - 294p
- STRAMMA, L. , SCHOTT, F. , 1999. *The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean*. *Deep-Sea Research II* 46 (1999) 279-303

STRAMMA, L., RHEIN, M. BRANDT, P., DENGLER, M., BONING, C., WALTER, M. 2005. *Upper ocean circulation in the western tropical Atlantic in the boreal fall*. Deep-Sea Research I 52: 221 –240.

TOMCZAC, M., GODFREY, J.S., 1994. *Regional Oceanography: An Introduction*. Elsevier, Oxford, 422 p.

TRENBERTH, K. E., 1997. *The definition of El Niño*. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 78, n. 12, p. 2771-2777.

UVO, C. R. B. & NOBRE, C. A. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: a posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. *Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 4, n. 7, p. 34-40, 1989.