

### 5.1.3. Oceanografia

#### a) Introdução

A caracterização ambiental de uma determinada região representa uma importante ferramenta de planejamento do uso dos recursos naturais e de otimização de investimentos.

A Bacia Marítima do Pará-Maranhão é pouco conhecida do ponto de vista meteorológico e oceanográfico e apresenta ambientes de grande sensibilidade ambiental, destacando-se o Parque Estadual Marinho “Parcel Manoel Luís” e praticamente toda a linha de costa, desde a porção leste do Pará até o oeste do Maranhão, composta por manguezais, praias e bancos lamosos.

Assim sendo, o presente relatório técnico apresenta uma análise dos aspectos mais relevantes da oceanografia da Bacia do Pará-Maranhão, mais precisamente, nas proximidades dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17.

Para tanto, foram pesquisadas informações secundárias de bases regionais, assim como dados coletados *in situ* 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, clima de ondas (direção, período e altura significativa), maré e hidrodinâmica local.

#### b) Localização

A Bacia Pará-Maranhão, localizada na margem Equatorial Brasileira, encontra-se entre os meridianos 44° W e 48° W, constituindo uma área submersa total de 48.000 km<sup>2</sup>. Os Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 encontram-se na porção leste da Bacia do Pará-Maranhão a aproximadamente 210 km ao norte de São Luis (MA) e a 128 km do ponto mais próximo da costa.

#### c) Aspectos Metodológicos

A caracterização oceanográfica apresentada neste diagnóstico foi conduzida com o objetivo de abranger a região da Bacia do Pará-Maranhão e, sempre que possível, apresentar informações relativas às proximidades do BM-PAMA-16 e do BM-PAMA-17.

Para elaboração do trabalho foram utilizados dados de variadas fontes, obtidos a partir de publicações e relatórios técnicos produzidos por diferentes instituições, que realizaram

levantamentos primários na área de interesse deste diagnóstico. As principais fontes utilizadas são citadas a seguir:

- Dados existentes no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.
- Dados de temperatura e salinidade do *National Oceanographic Data Center* (NODC) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).
- Dados de temperatura e salinidade do programa de *baseline* obtidos pela consultora Pir2/FUGRO.
- Dados orbitais do tipo *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) do *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).
- Dados orbitais de altimetria obtidos por radar pelos satélites JASON e GFO.
- Produtos operacionais de previsão oceânica oriundos do projeto ATLASUL (INPE).
- Dados de corrente do Programa *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE).
- Dados de derivadores oceânicos do Projeto MONDONorte.
- Dados provenientes da climatologia de correntes superficiais, a partir de um conjunto de 1250 bóias de deriva do *Global Drifter Program*.
- Dados de maré obtidos da Fundação de Estudos do Mar (FEMAR).
- Dados bibliográficos existentes para a região.

Um resumo da localização dos dados utilizados nesta caracterização oceanográfica é apresentado no Quadro 5.1.3-1 e no Mapa-5.1.3-1.

**Quadro 5.1.3-1.** Tabela resumo das localizações das fontes de dados.

FONTES	COORDENADAS		PARÂMETROS
	LATITUDE	LONGITUDE	
NODC (área)	2° 37' 30"S - 1° 37' 30"N	42° W - 46° W	T e S
BNDO (área)	0° S - 2° S	42° W - 45° W	T e S
Pir2/FUGRO	0° 21' S - 0° 51' S	43° 51' W - 44° 9' W	T e S
NODC (climatologia)	1° 30' S - 3° N	41° 30' W - 47° 30' W	T e S
AVHRR/NOAA	3° S - 3° N	41° W - 48° W	TSM
BNDO (área)	0° - 2° N	45° W - 47° W	Ondas
GFO/JASON	1° N	46° W	Ondas
FEMAR	0° 50' S	44° 15' 30" W	Maré
IGLDD/AOML	4° S - 4° N	40° W - 50° W	Correntes
WOCE	0° 5' N - 0° 15' N	44° 18' 36"W-44° 23' 24"W	Correntes
MONDO NORTE	0° 30' S - 0° 38' S	44° W	Correntes

**Mapa-5.1.3-1.** localização das estações de coleta dos dados utilizados.

**Mapa-5.1.3-1.** localização das estações de coleta dos dados utilizados.

Nos itens a seguir são apresentadas as análises dos parâmetros oceanográficos de maior interesse para essa caracterização, a saber:

- Temperatura e Salinidade;
- Massas d'água;
- Regime de Ondas;
- Regime de Marés;
- Regime de Correntes;

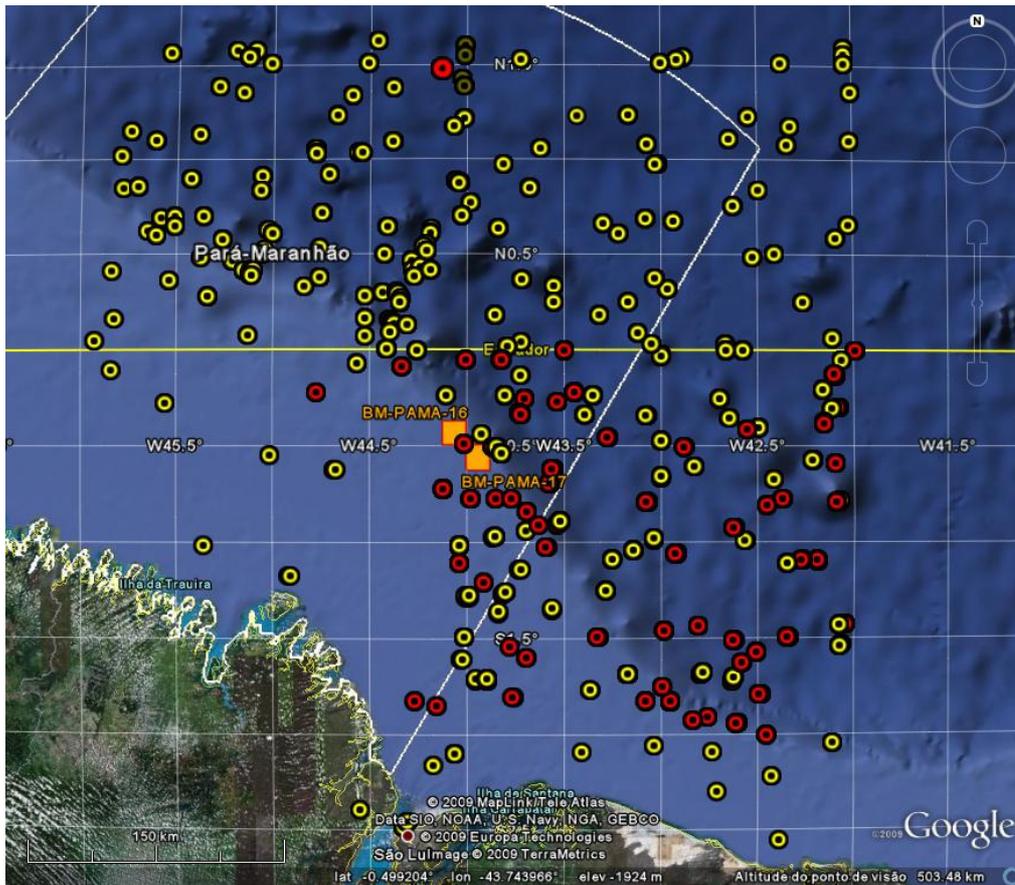
#### ◆ Temperatura e Salinidade

O estudo da temperatura e salinidade nos oceanos é de extrema importância para o conhecimento das estruturas verticais de massas d'água, bem como para o entendimento do papel dos oceanos com reservatório de sal, gases e calor (Ferrero & Wainer, 2008).

Frentes termais, localizadas principalmente próximas a zonas de ressurgências e vórtices oceânicos, têm sido identificadas como locais com grandes concentrações de indivíduos de determinadas espécies, por isso, se faz bastante útil o estudo da temperatura superficial do mar (TSM) (Souza, 2005).

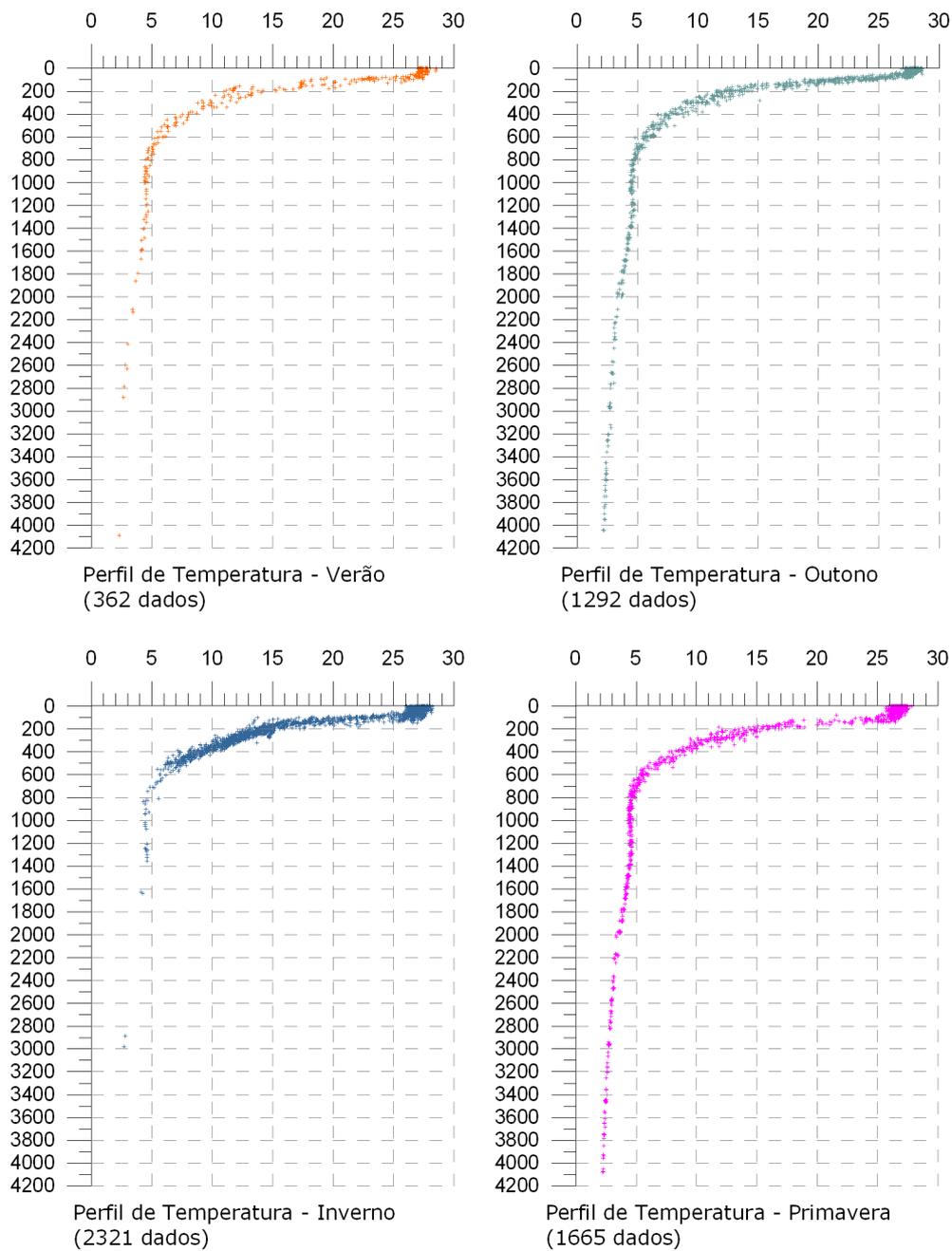
Para a análise da variação vertical da temperatura e salinidade da água do mar na região adjacente aos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 foram utilizados os dados de temperatura e salinidade disponíveis no BNDO e no NODC, correspondentes às campanhas realizadas na região, no período entre os anos de 1932 e 1996.

Na Figura 5.1.3-1 são apresentadas as localizações das estações de coleta presentes nos dados do BNDO e do NODC.

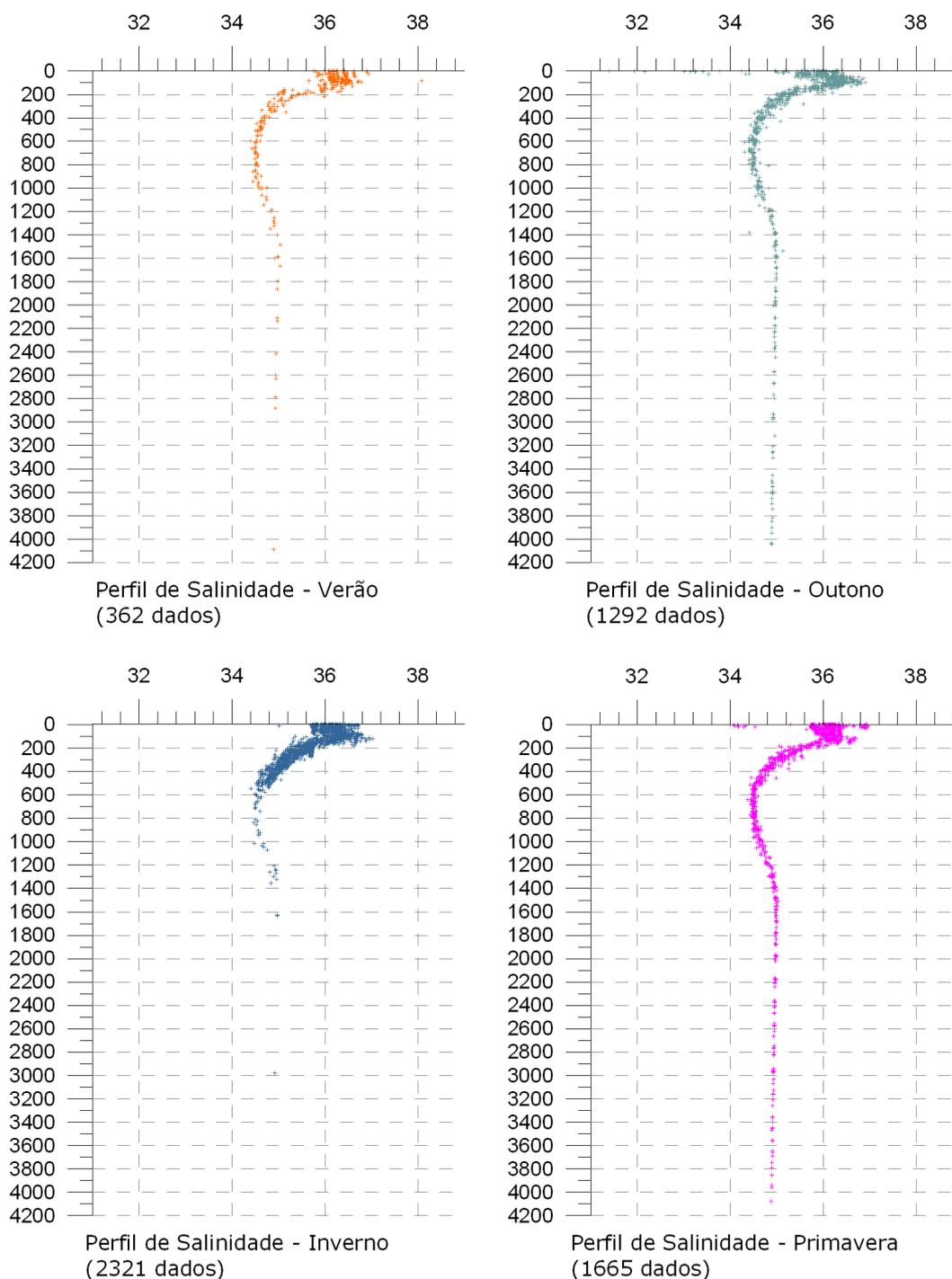


**Figura 5.1.3-1.** Localização das estações de coleta utilizadas para avaliação da variação vertical da temperatura e salinidade. Em amarelo podem ser vistas as estações obtidas no NODC e, em vermelho, as obtidas no BNDO.

Na Figura 5.1.3-2 e Figura 5.1.3-3 são apresentados os perfis verticais, bem como o número de amostragens de temperatura e salinidade para os períodos de verão, outono, inverno e primavera.



**Figura 5.1.3-2.** Perfis de Temperatura nas quatro estações do ano.



**Figura 5.1.3-3.** Perfis de salinidade nas quatro estações do ano.

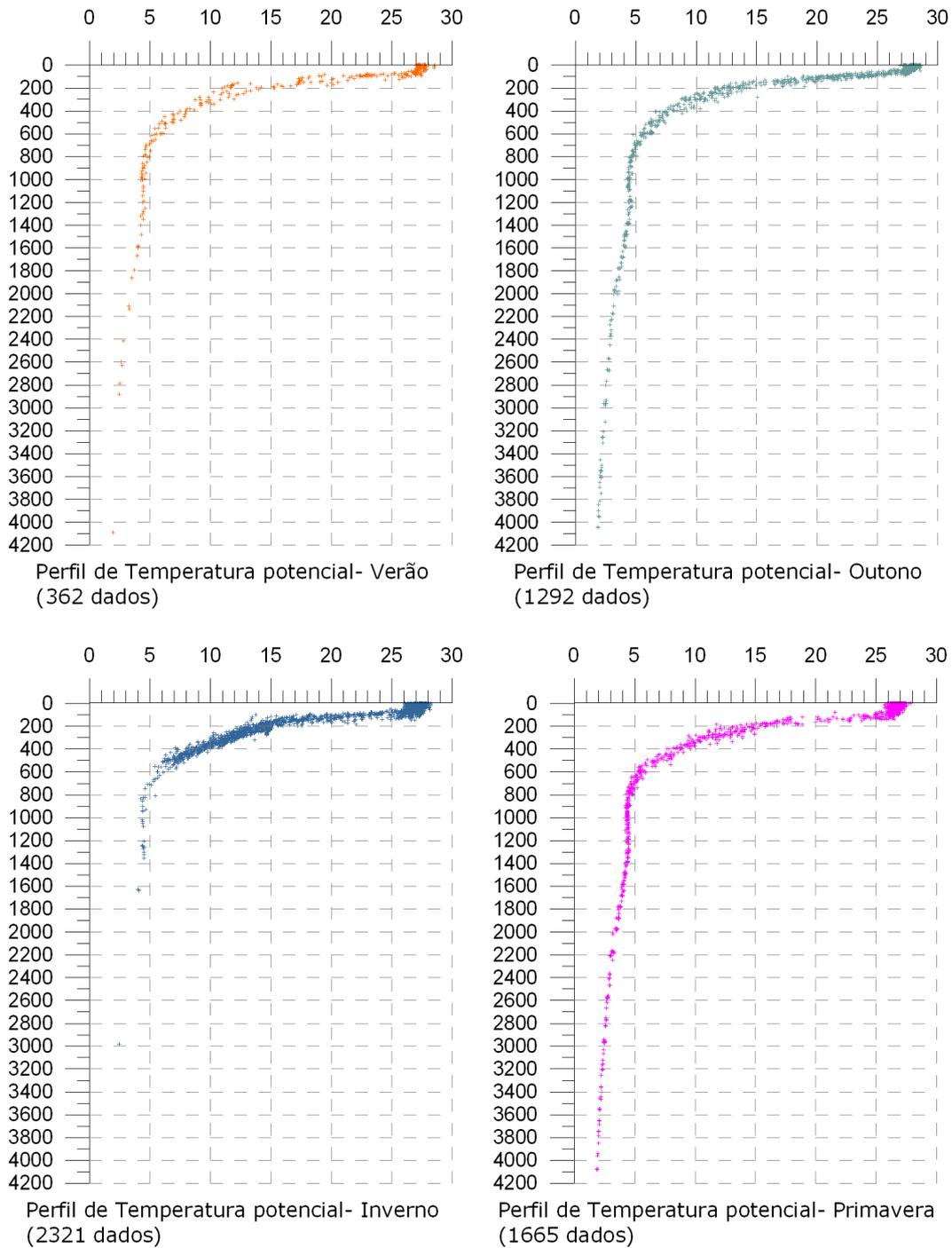
Na região equatorial a sazonalidade não é bem marcada como em outras regiões. Esse fato pode ser verificado pela grande semelhança entre os perfis de temperatura em todas as estações do ano. No período de verão e outono a temperatura superficial varia entre 27 e ~ 28,5°C, sendo ligeiramente inferior no inverno e na primavera, quando varia entre 26 e 28°C. A camada de

mistura se estende até cerca de 100 m de profundidade, e se aprofunda no inverno e na primavera, quando pode se aproximar dos 200 m de profundidade.

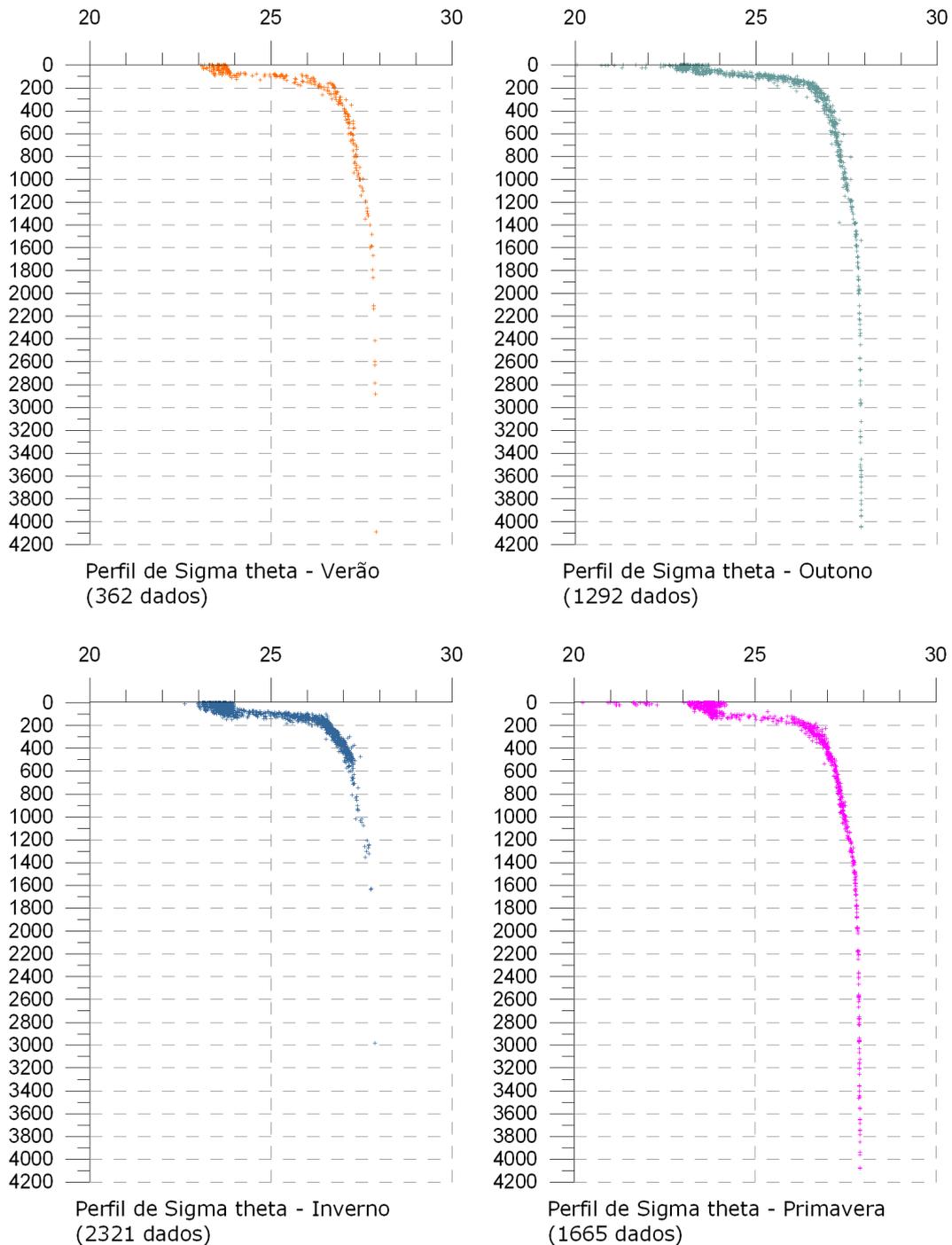
A região da Bacia do Pará-Maranhão, nas proximidades dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, apresenta uma termoclina permanente que se inicia entre 100 e 200 m de profundidade e se estende até aproximadamente 700 m de profundidade, onde a temperatura é de aproximadamente 4°C.

Os perfis de salinidade também não apresentam grande variação ao longo do ano. Observa-se que, no outono e na primavera, podem ser encontradas salinidades mais baixas em superfície (34 na primavera e 32 no outono), porém, de uma forma geral a variação da salinidade superficial se dá entre 35,6 e 36,8. Em profundidade, o mínimo de salinidade (~ 34,4) é encontrado em cerca de 700 m de profundidade. A partir deste ponto, há um aumento na salinidade até os 1400 m de profundidade. Abaixo dos 1400 m a salinidade permanece constante, com valores próximos a 34,9.

Para melhor avaliação da estrutura vertical da coluna d'água, na Figura 5.1.3-4 e na Figura 5.1.3-5 são apresentados os perfis de  $\theta$  (temperatura potencial) e  $\sigma\theta$  (sigma theta), respectivamente, nas quatro estações do ano. A temperatura potencial da água do mar representa a temperatura da água do mar, desconsiderando-se os efeitos da pressão, e  $\sigma\theta$  é a densidade da água do mar referenciada a um nível especificado, no caso, a superfície do mar.



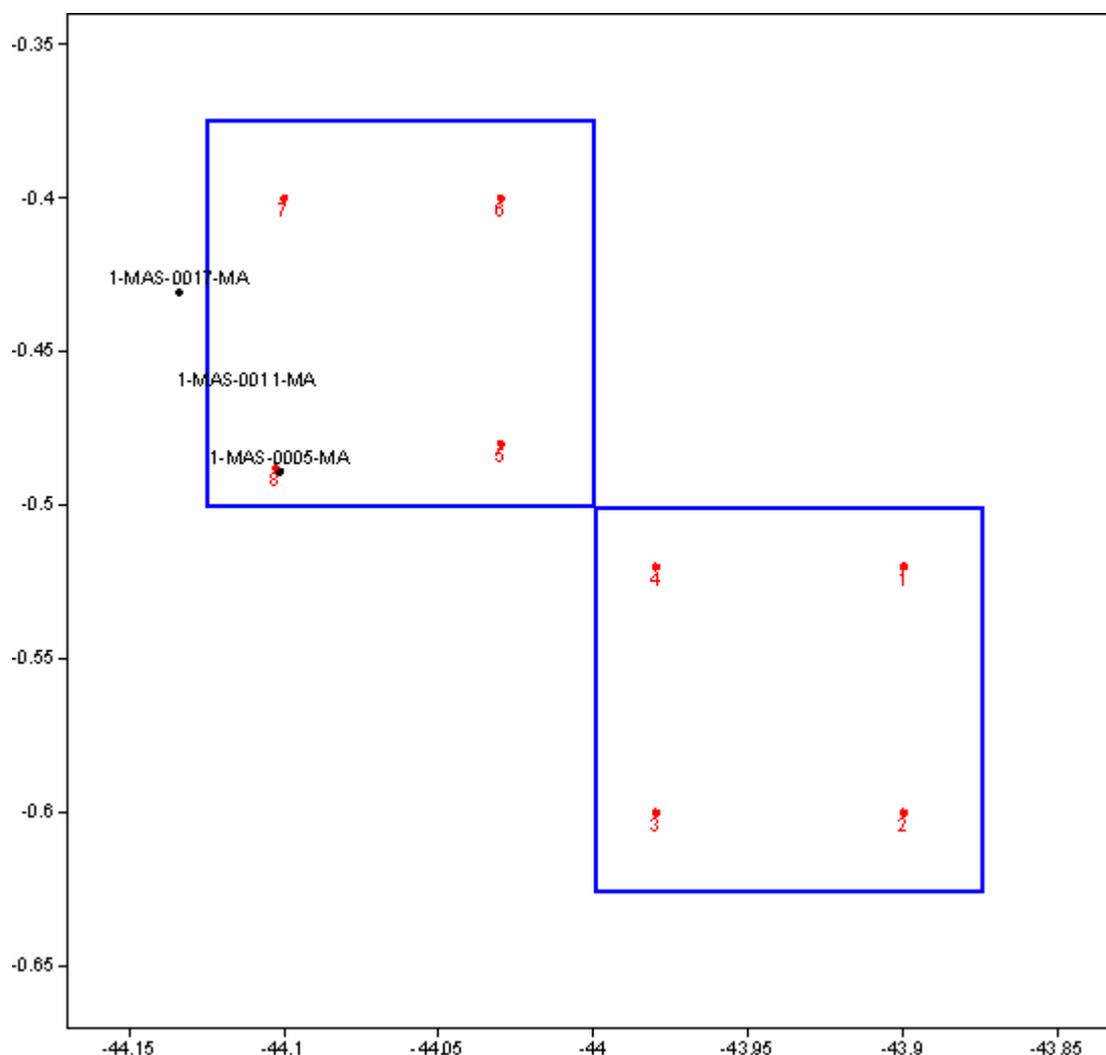
**Figura 5.1.3-4.** Perfis de  $\theta$  (temperatura potencial) nas quatro estações do ano.



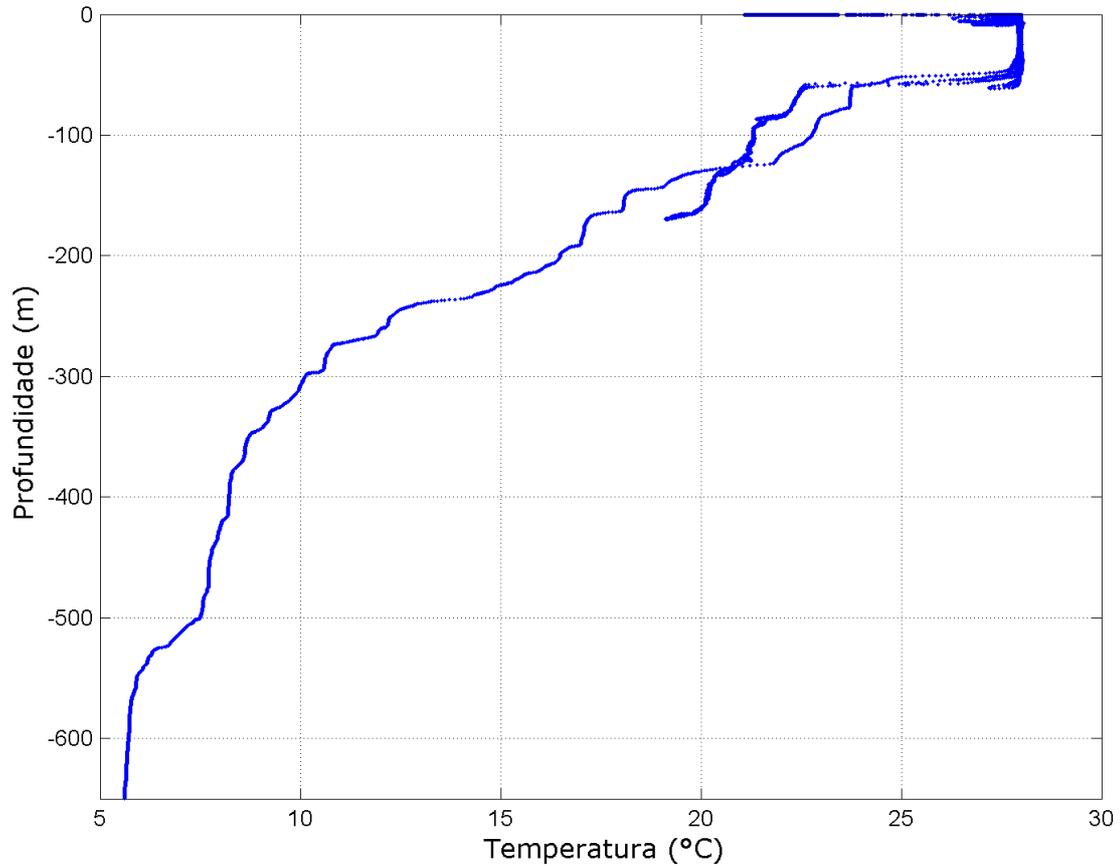
**Figura 5.1.3-5.** Perfis de  $\sigma\theta$  (sigma theta) nas quatro estações do ano.

Os perfis de  $\theta$  apresentam o mesmo padrão dos perfis de temperatura, com poucas variações entre estes. Os perfis de  $\sigma\theta$  também não apresentam variações significativas ao longo do ano, exceto em superfície, onde no verão e no inverno, a densidade das águas superficiais se encontra entre 23 e 24, e no outono e na primavera, são encontradas densidades superficiais menores, variando de ~20 a 24.

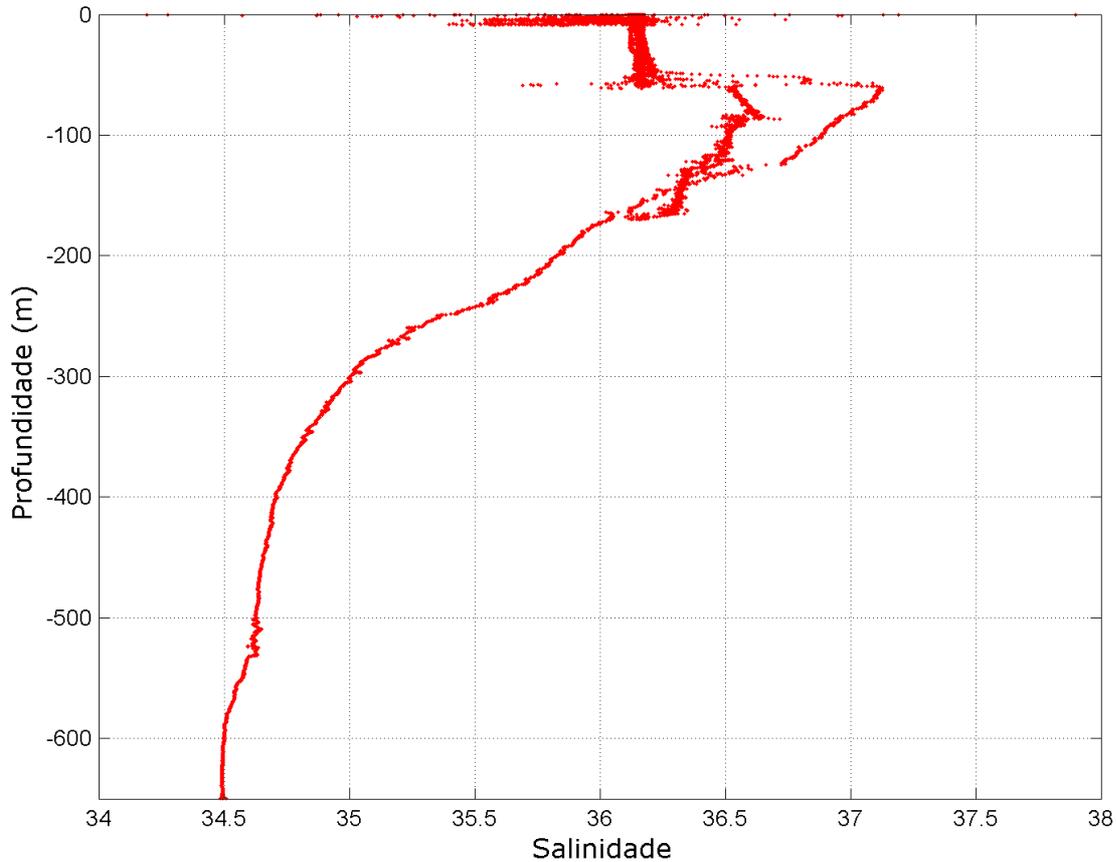
De forma a complementar a caracterização, foram também elaborados perfis de temperatura (Figura 5.1.3-7) e salinidade (Figura 5.1.3-8) a partir de dados de CTD do Programa Ambiental de Baseline desenvolvido pela Pir2 Consultoria Ambiental para a OGX Petróleo e Gás Ltda na área específica dos blocos em questão. São dados provenientes de 8 estações, distribuídas nos dois blocos. Sendo quatro estações no bloco BM-PAMA-17 (estações de 1, 2, 3 e 4), e quatro estações no Bloco BM-PAMA-16 (estações 5, 6, 7 e 8), com uma profundidade máxima de 650 metros. Deve ser ressaltado que estes dados representam um curto período, tendo sido aquisitados entre os dias 23 e 25 fevereiro de 2009. A Figura 5.1.3-6 apresenta a localização das estações de coleta.



**Figura 5.1.3-6.** Localização das estações amostrais na região dos blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17. Adaptado de Pir2/FUGRO, 2009.



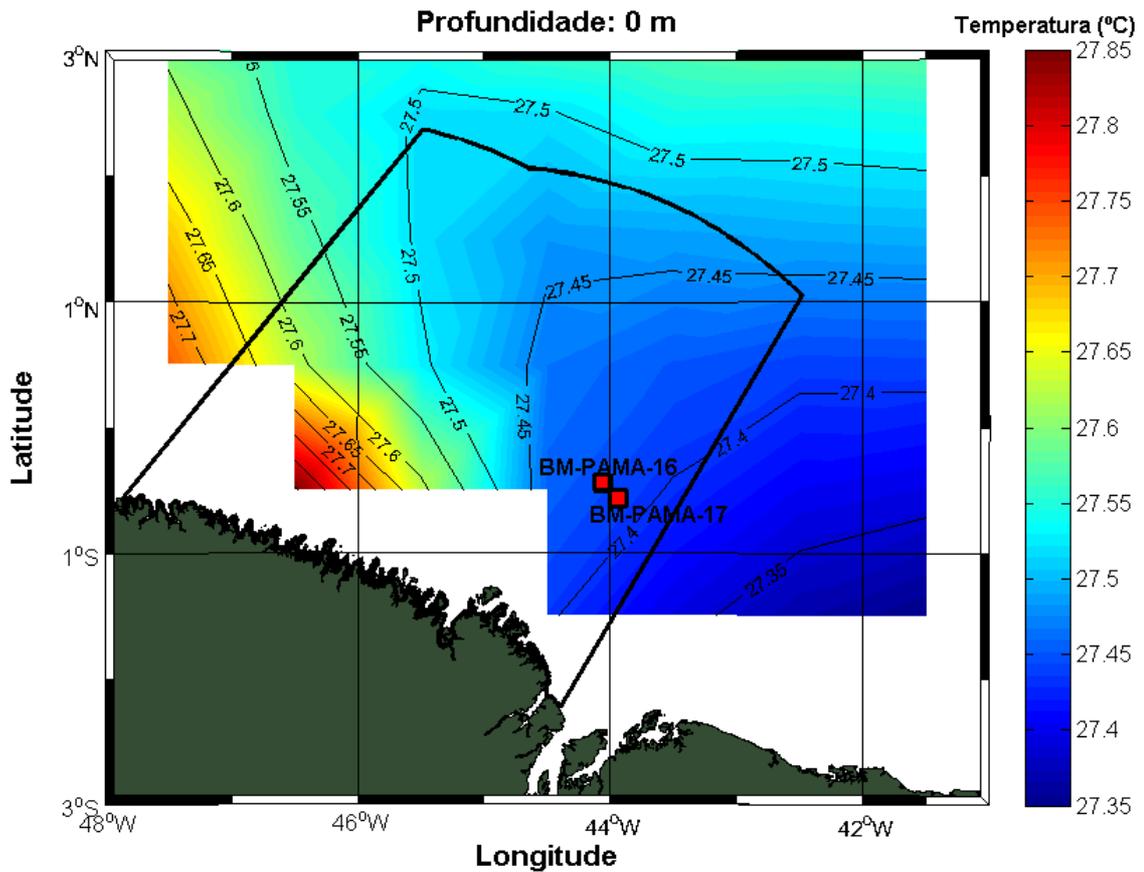
**Figura 5.1.3-7.** Perfis de temperatura obtidos com o CTD para todas as 8 estações, nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17.



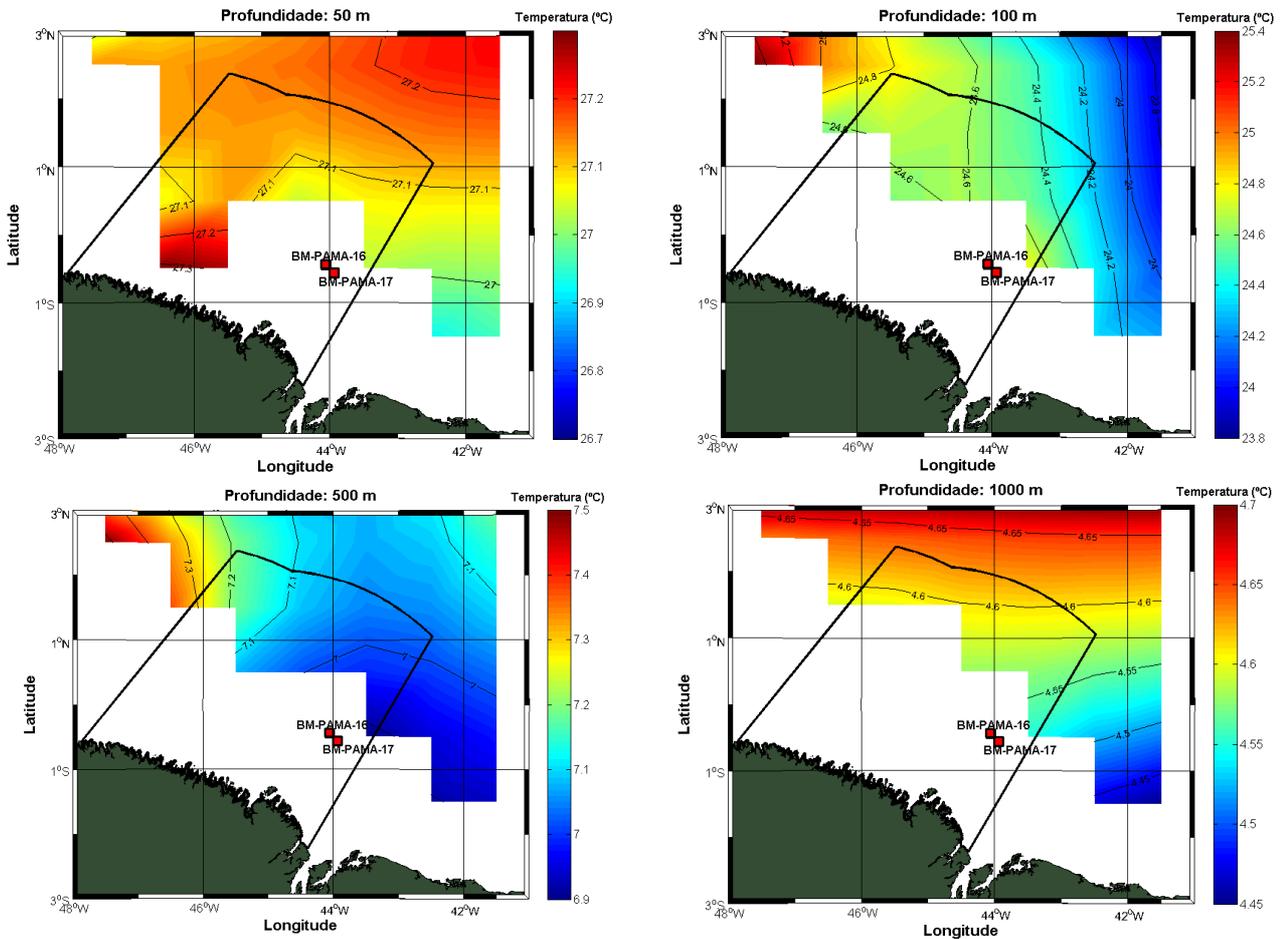
**Figura 5.1.3-8.** Perfis de salinidade obtidos com o CTD para todas as 8 estações, nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17.

Como os dados coletados para o monitoramento dos Blocos em questão refletem apenas as condições do período no qual foram coletados, comparações com os dados históricos obtidos no BNDO e no NODC ficam prejudicadas. Entretanto, pode-se observar que a camada de mistura na região teve aproximadamente 50 m de profundidade nas diferentes estações realizadas.

A partir da climatologia do NODC é possível obter uma boa estimativa da temperatura e da salinidade climatológicas na região adjacente aos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17. A seguir, as Figuras 5.1.3-9 e 5.1.3-10 são apresentadas as temperaturas climatológicas nos níveis de 0, 50, 100, 500 e 1000 m, na região da Bacia Pará-Maranhão.



**Figura 5.1.3-9.** Temperatura climatológica superficial na região da Bacia Pará-Maranhão.



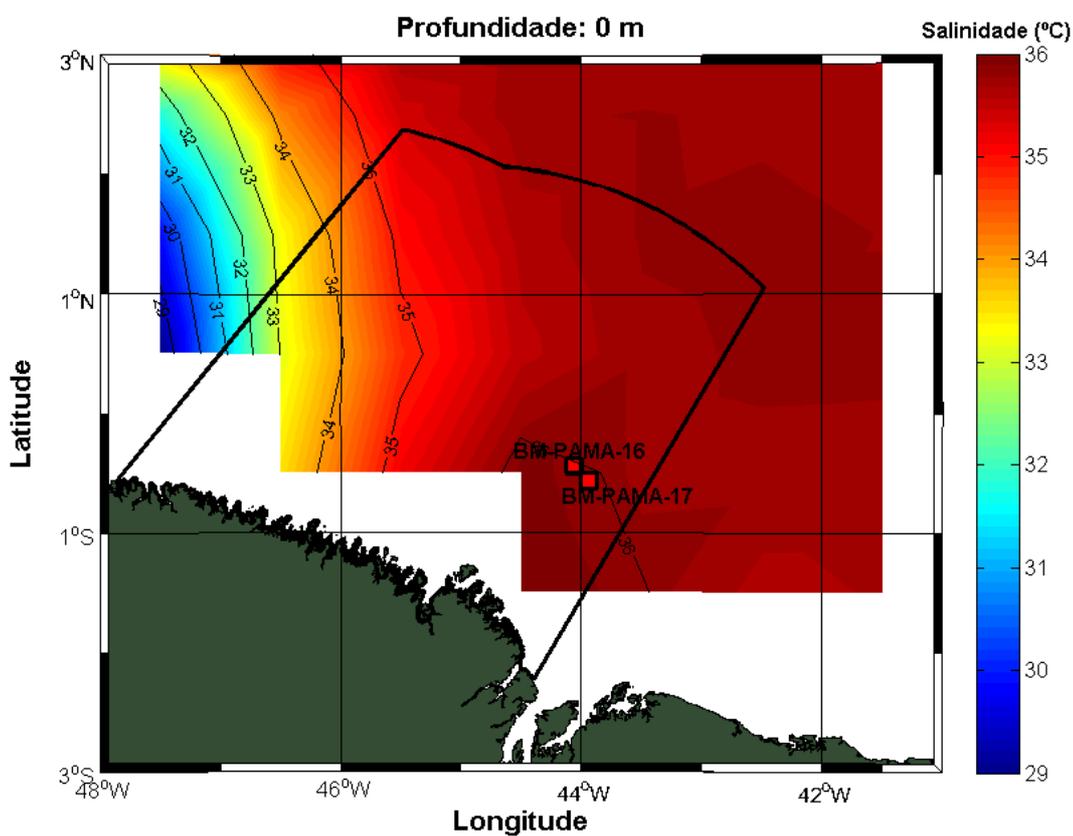
**Figura 5.1.3-10.** Temperatura climatológica a 50, 100, 500 e 1000 m de profundidade na região da Bacia Pará-Maranhão.

Embora não haja informações de temperatura, em profundidade, na área dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, estes dados são úteis para caracterização de áreas adjacentes, por vezes mais profundas, mas ainda na Bacia Pará-Maranhão. Observa-se que a temperatura superficial climatológica fica entre 27,4 °C e 27,45 °C (Figura 5.1.3-9) Em termos mais gerais, observa-se que a temperatura superficial aumenta em direção a foz do Amazonas, região oeste da Bacia Pará-Maranhão. O mesmo pode ser observado nas profundidades de 100 e 500 m. No nível de 50 m há menor variação espacial da temperatura, com um máximo (27,3°C) ocorrendo próximo à costa. Em 1000m de profundidade a temperatura aumenta gradativamente em direção ao norte. No Quadro 5.1.3-2 observa-se a variação apresentada em todos os níveis analisados.

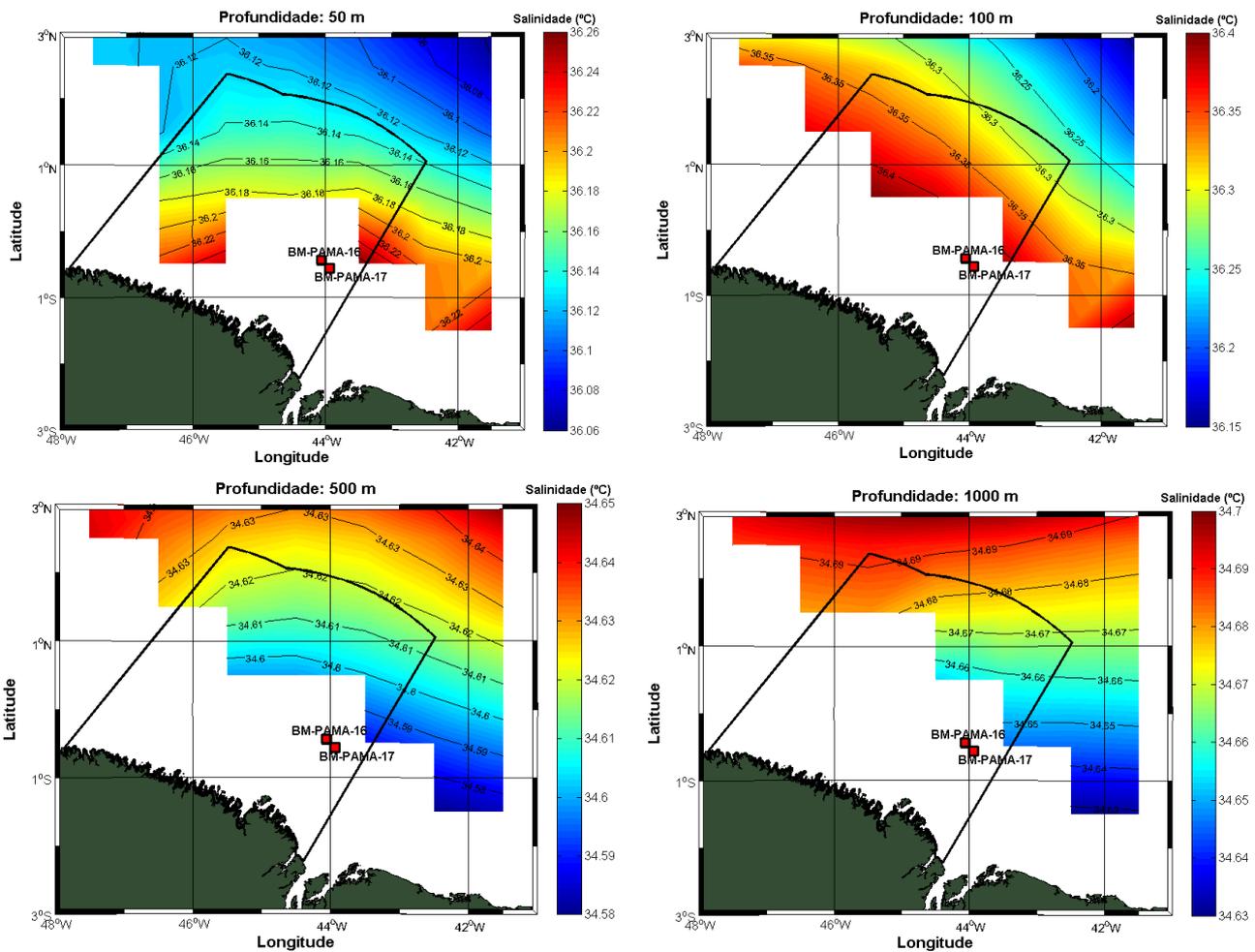
**Quadro 5.1.3-2.** Variação da temperatura climatológica nos níveis de 0, 50, 100, 500, 1.000 m de profundidade.

PROFUNDIDADE	MÍNIMA (°C)	MÁXIMA (°C)
Superfície	27,35	27,85
50 m	26,7	27,3
100 m	23,8	25,4
500 m	6,9	7,5
1000 m	4,45	4,7

As Figuras 5.1.3-11 e 5.1.3-12 são apresentadas as salinidades climatológicas, nos mesmos níveis já apresentados.



**Figura 5.1.3-11.** Salinidade climatológica superficial na região da Bacia Pará-Maranhão.



**Figura 5.1.3-12.** Salinidade climatológica a 50, 100, 500 e 1.000 m de profundidade na região da Bacia Pará-Maranhão.

A salinidade climatológica superficial na região dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 fica próxima a 36. Observa-se também uma redução abrupta na salinidade na porção oeste da Bacia Pará-Maranhão, região próxima à foz do Amazonas. No Quadro 5.1.3-3 observa-se a variação da salinidade nos níveis analisados.

**Quadro 5.1.3-3.** Variação da salinidade climatológica nos níveis de 0, 50, 100, 500 e 1.000 m de profundidade.

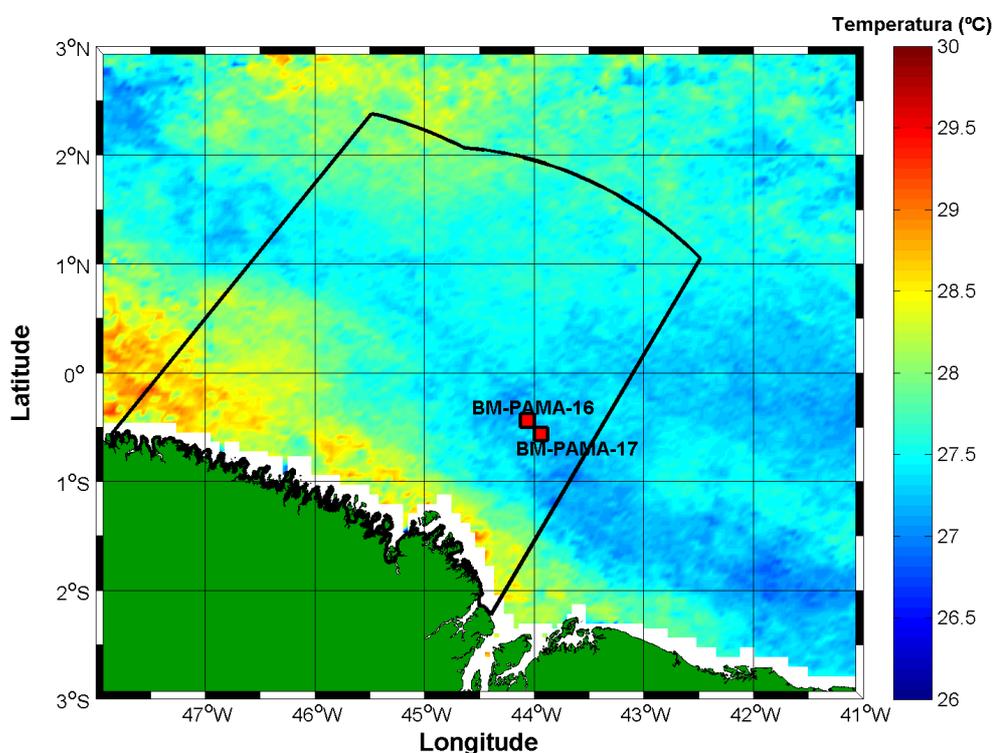
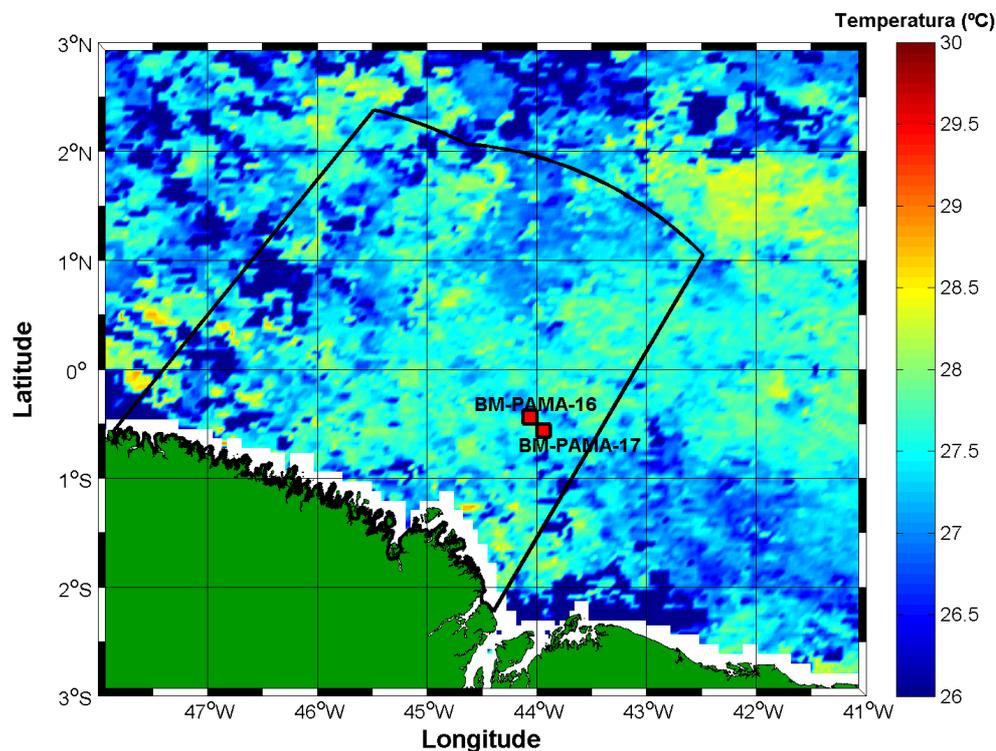
PROFUNDIDADE	MÍNIMA	MÁXIMA
Superfície	29	36
50 m	36,06	36,2
100 m	35,15	36
500 m	34,58	34,6
1000 m	34,63	34,7

Para o estudo da variabilidade sazonal da TSM foram utilizados dados obtidos por sensores orbitais do tipo *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR). Este sensor é um radiômetro multiespectral que está em operação nos diversos satélites da série TIROS-N NOAA (Souza, 2005). Os dados têm resolução espacial de 4 km e estão disponíveis para o período entre 1985 e meados de 2008 através da página <http://poet.jpl.nasa.gov/>.

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

A seguir são apresentadas imagens termais da superfície do mar obtidas através de sensores orbitais do tipo AVHRR a bordo de satélites da NOAA. As imagens apresentadas a seguir representam uma composição média de imagens dos referidos meses.

Na Figura 5.1.3-13 podemos observar a média mensal da TSM nos meses de janeiro e julho de 2007, a partir de imagens de satélite, representando os períodos de verão e inverno.



**Figura 5.1.3-13.** Imagem termal AVHRR na região da Bacia Pará-Maranhão no período de verão (acima): média mensal de janeiro de 2007; e no período de inverno (abaixo): média mensal de julho de 2007. As áreas em branco representam ausência de dados devido à nebulosidade.

Analisando as imagens observa-se que o padrão e os valores de temperatura da climatologia do NODC estão de acordo com o observado nas imagens AVHRR. No período de verão, a TSM, na região adjacente aos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, se encontra em cerca de 28,5°C, enquanto, no período de inverno, está na faixa entre 27 e 27,5°C.

#### ◆ Massas D'água

As massas d'água são corpos de água com história comum de formação, definidos por suas características de temperatura e salinidade que, por sua vez, definem sua densidade. Esta última determina a posição que estes corpos irão ocupar na coluna d'água (Miranda, 1991).

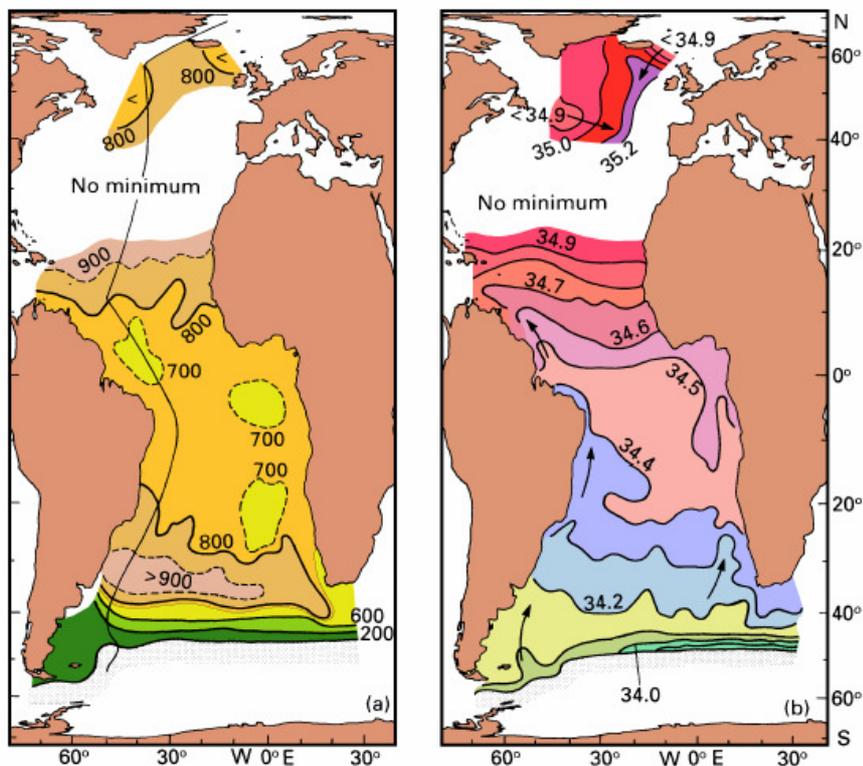
Segundo Stramma & Schott (1999) e Castro & Miranda (1998), que realizaram uma descrição preliminar das massas d'água presentes na costa norte brasileira, espera-se encontrar as seguintes massas de água na região da Bacia Marítima Pará-Maranhão:

- Água Costeira (AC) – água de salinidade abaixo de 33 devido à influência que sofre do continente.
- Água Tropical (AT) – é formada pela mistura de camadas do Tropical Atlântico e apresenta 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 da Contra Corrente Norte do Brasil (CCNB).
- Água Intermediária Antártica (AIA) – apresenta valores de temperatura entre 2,75°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.

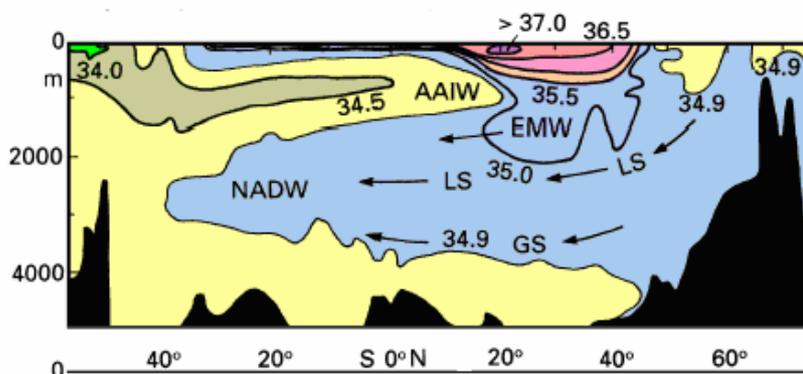
Na Figura 5.1.3-14 são apresentados mapas do Oceano Atlântico mostrando em quais profundidades (Figura 5.1.3-14a) são encontrados valores mínimo de salinidade (Figura 5.1.3-14b), que indica a presença da Água Intermediária Antártica.

É apresentada na Figura 5.1.3-15 uma seção vertical de salinidade variando com a latitude e a profundidade. Esta seção é indicada por um traço contínuo na Figura 5.1.3-14a.



**Figura 5.1.3-14.** Mapa dos valores mínimos de salinidade provocados pela Água Intermediária. (a) profundidade da mínima; (b) salinidade na profundidade mínima.

Fonte: Tomczak & Godfrey (1994).

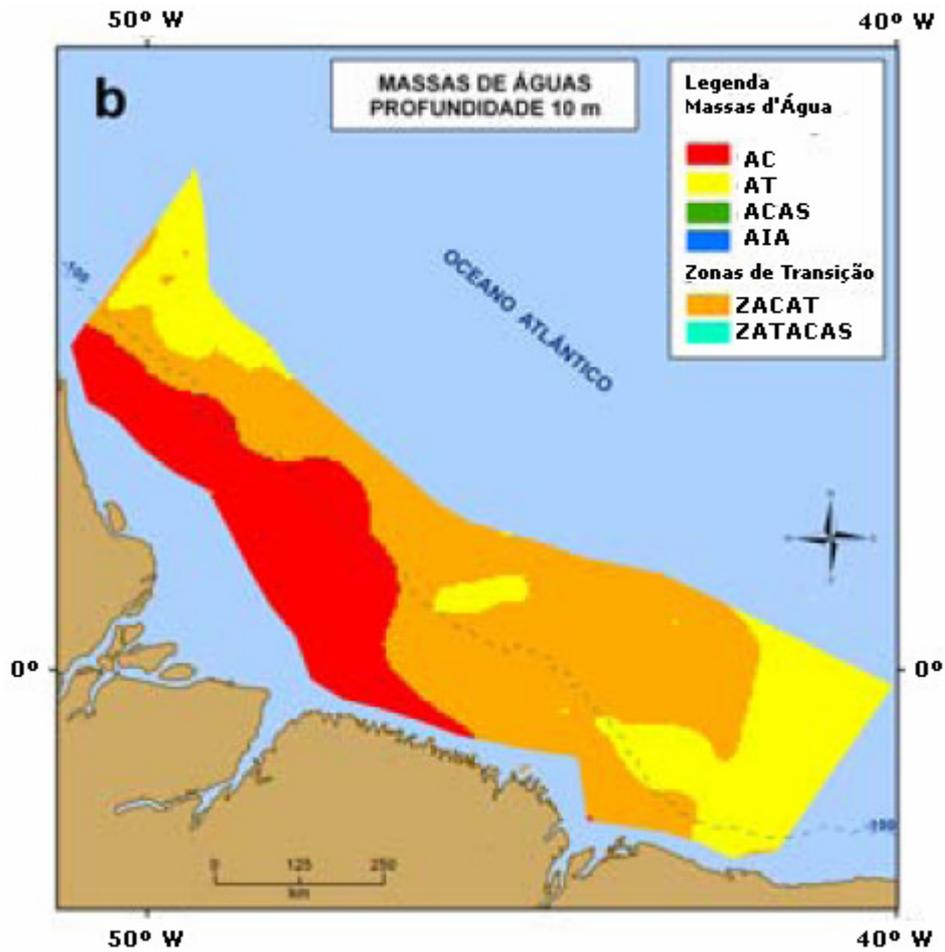


**Figura 5.1.3-15.** Seção vertical de salinidade através da bacia oeste do Oceano Atlântico. AIA – Água Intermediária Antártica (AAIW), APAN - Água Profunda do Atlântico Norte (NADW), Mar do Labrador (LS), Mar da Groenlândia (GS), AME - Água Mediterrânea Eurafricana (EMW).

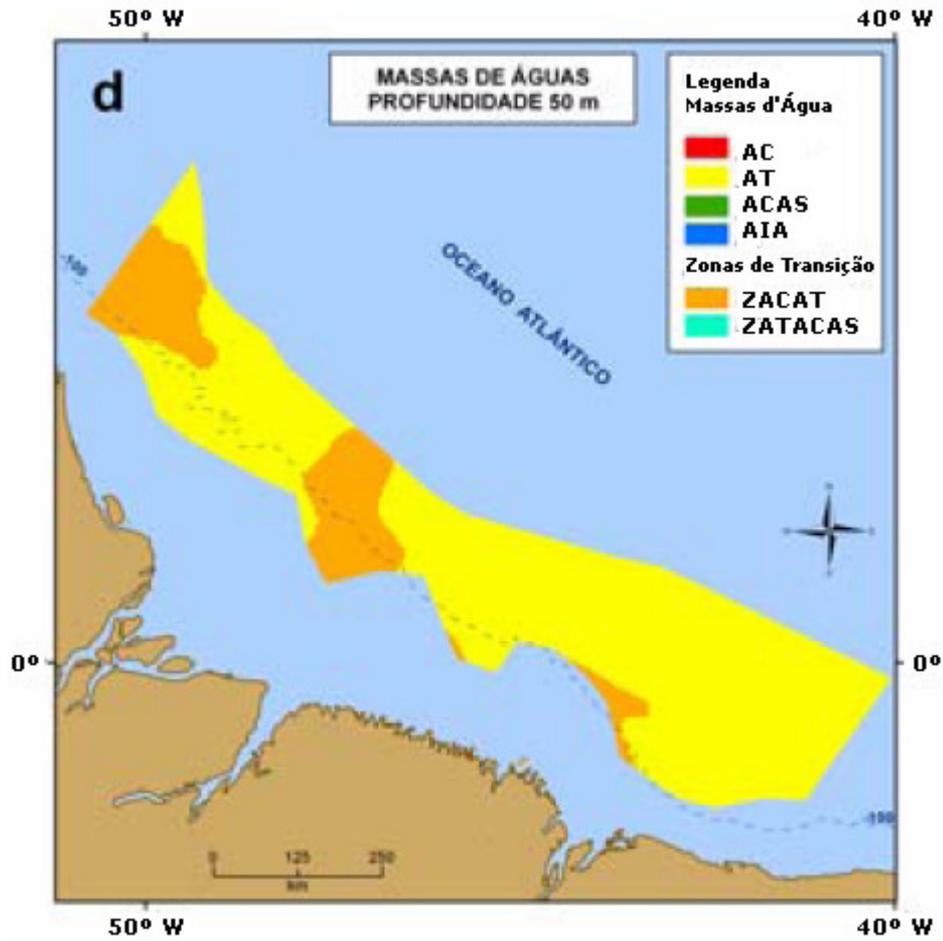
Fonte: Tomczak & Godfrey (1994).

É possível notar, para a latitude da região de estudo, a presença da AIA e da APAN, além das águas mais superficiais com maiores valores de salinidade.

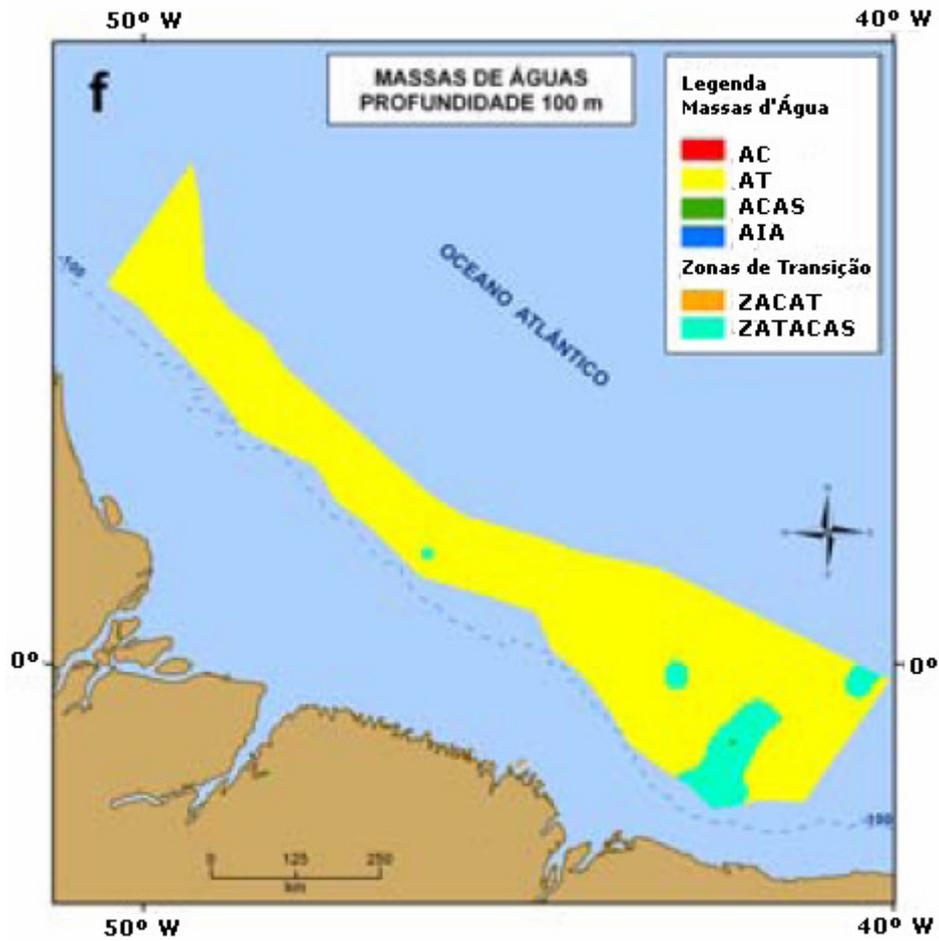
Da Figura 5.1.3-16 a Figura 5.1.3-22 são apresentados os mapeamentos das massas d'água na região da plataforma continental amazônica (PCA) nas profundidades de 10, 50, 100, 150, 200, 600-700, e > 800 m, respectivamente.



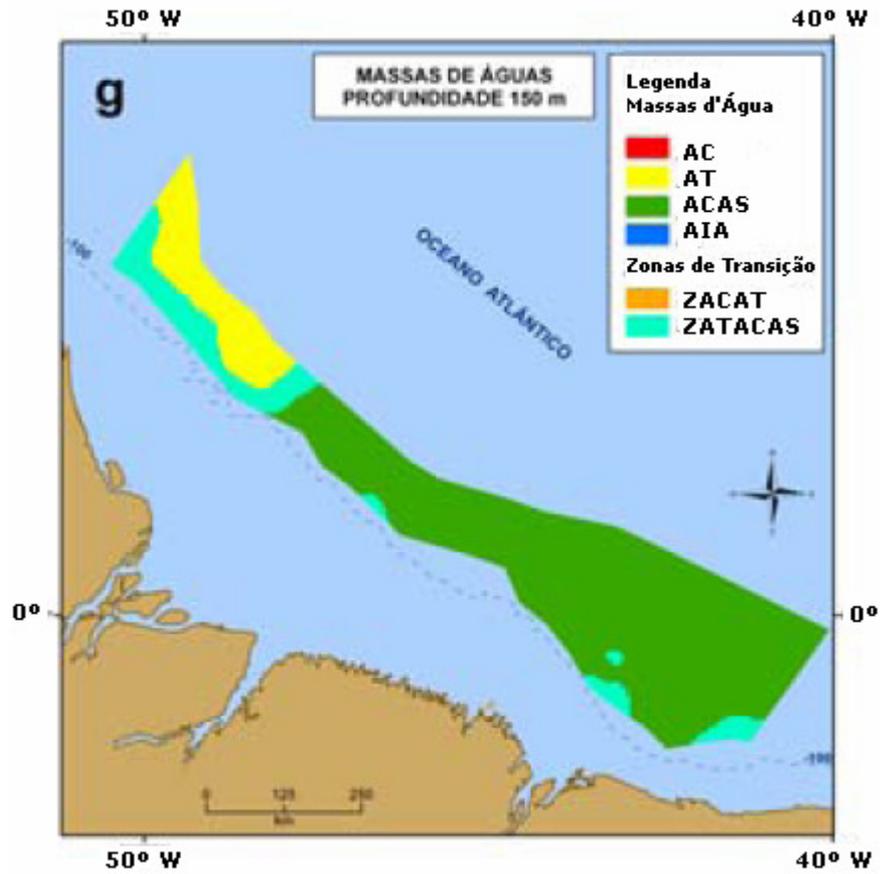
**Figura 5.1.3-16.** Massas d'água na plataforma continental amazônica (PCA) na profundidade de 10 m. Fonte: Moller et al. (2006).



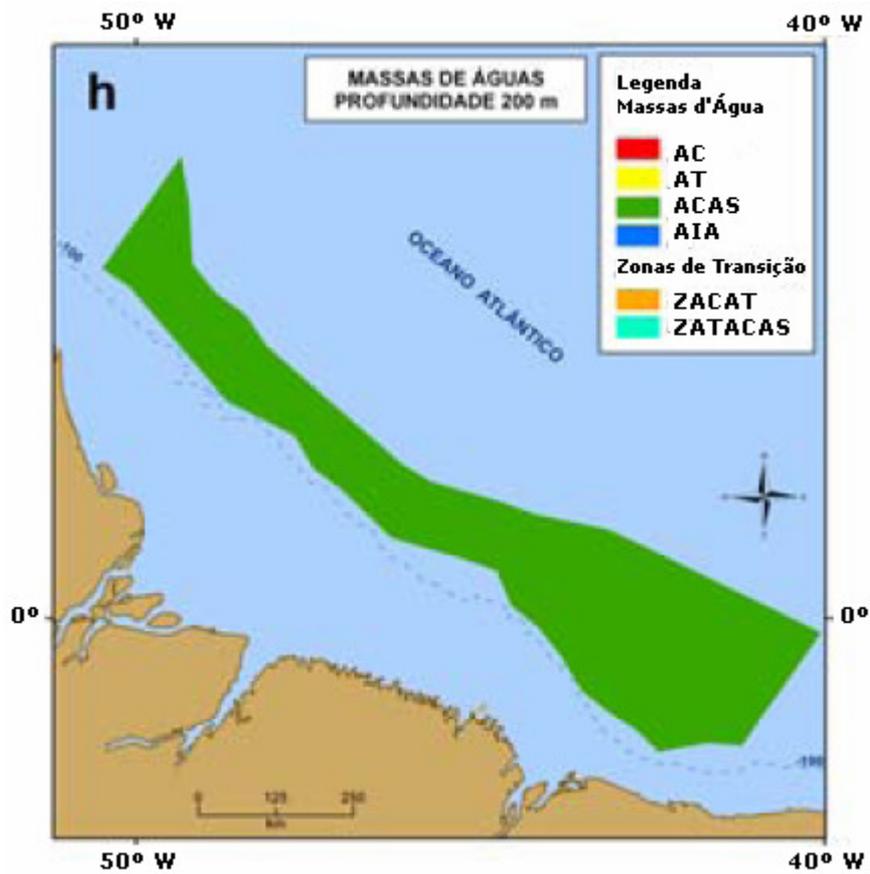
**Figura 5.1.3-17.** Massas d'água na plataforma continental amazônica (PCA) na profundidade de 50 m. Fonte: Moller et al. (2006).



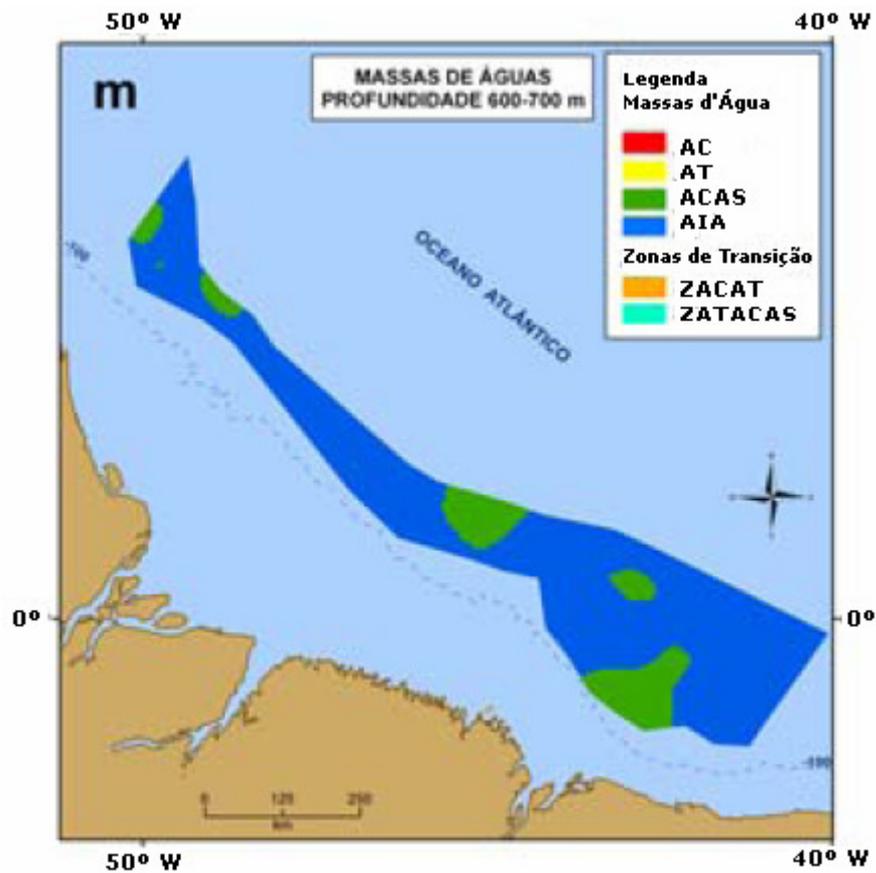
**Figura 5.1.3-18.** Massas d'água na plataforma continental amazônica (PCA) na profundidade de 100 m. Fonte: Moller et al. (2006).



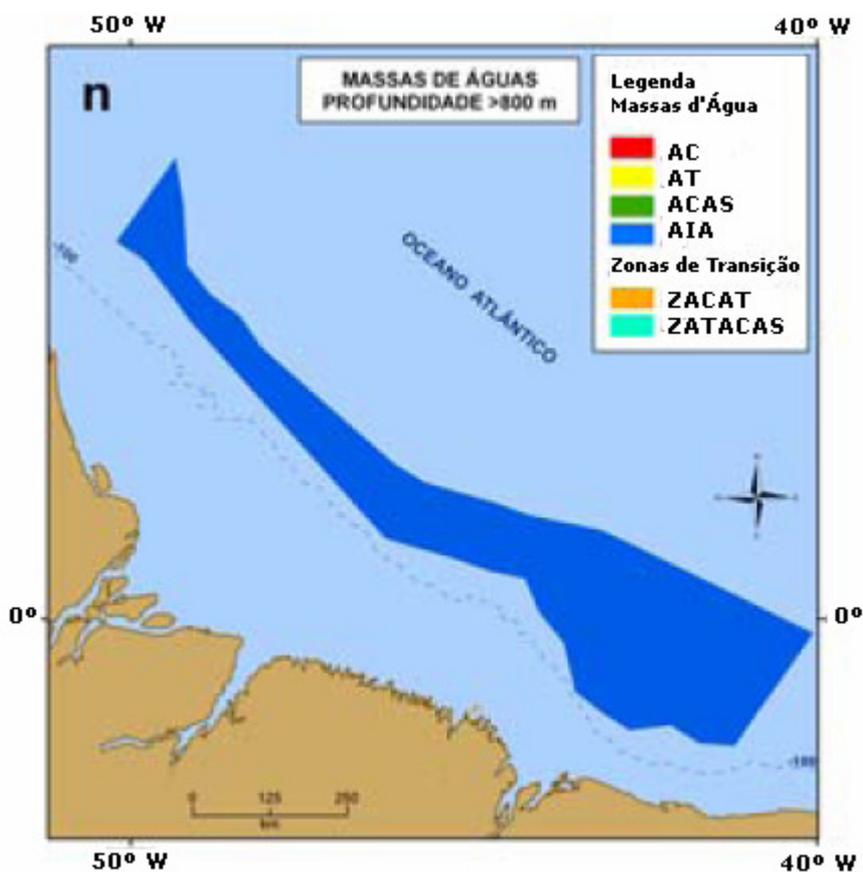
**Figura 5.1.3-19.** Massas d'água na plataforma continental amazônica (PCA) na profundidade de 150 m. Fonte: Moller et al. (2006).



**Figura 5.1.3-20.** Massas d'água na plataforma continental amazônica (PCA) na profundidade de 200 m.  
Fonte: Moller et al. (2006).



**Figura 5.1.3-21.** Massas d'água na plataforma amazônica (PCA) na profundidade de 600-700 m. Fonte: Molleri et al. (2006).



**Figura 5.1.3-22.** Massas d'água na plataforma continental amazônica (PCA) em profundidades de maiores que 800 m. Fonte: Molleri et al. (2006).

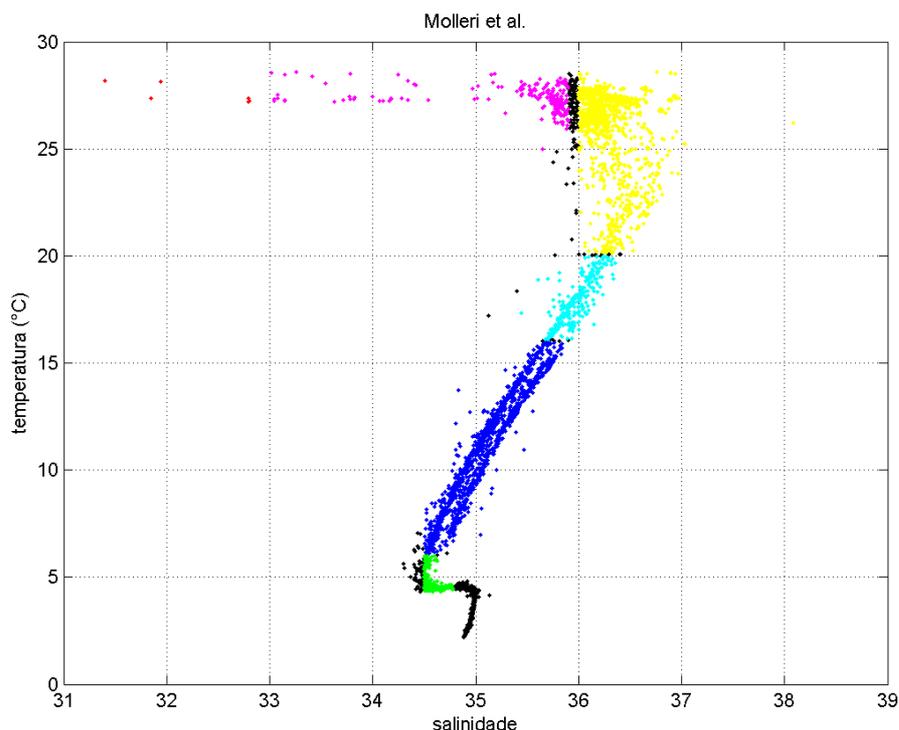
O Quadro 5.1.3-4 demonstra um resumo das massas d'água encontradas por Molleri *et al.* (2006) nas diferentes profundidades. A massa d'água ZATACAS refere-se à zona de transição entre AT e a ACAS.

**Quadro 5.1.3-4.** Massas d'água encontradas por Molleri et al. (2006) nos níveis de 10, 50, 100, 150, 200, 600-700 e >800 m na PCA.

PROFUNDIDADE (m)	MASSA D'ÁGUA
10	AC, AT, AM
50	AC, AM
100	AT, ZATACAS
150	AT, ZATACAS, ACAS
200	ACAS
600-700	ACAS, AIA
>800	AIA

## ◆ Diagrama TS

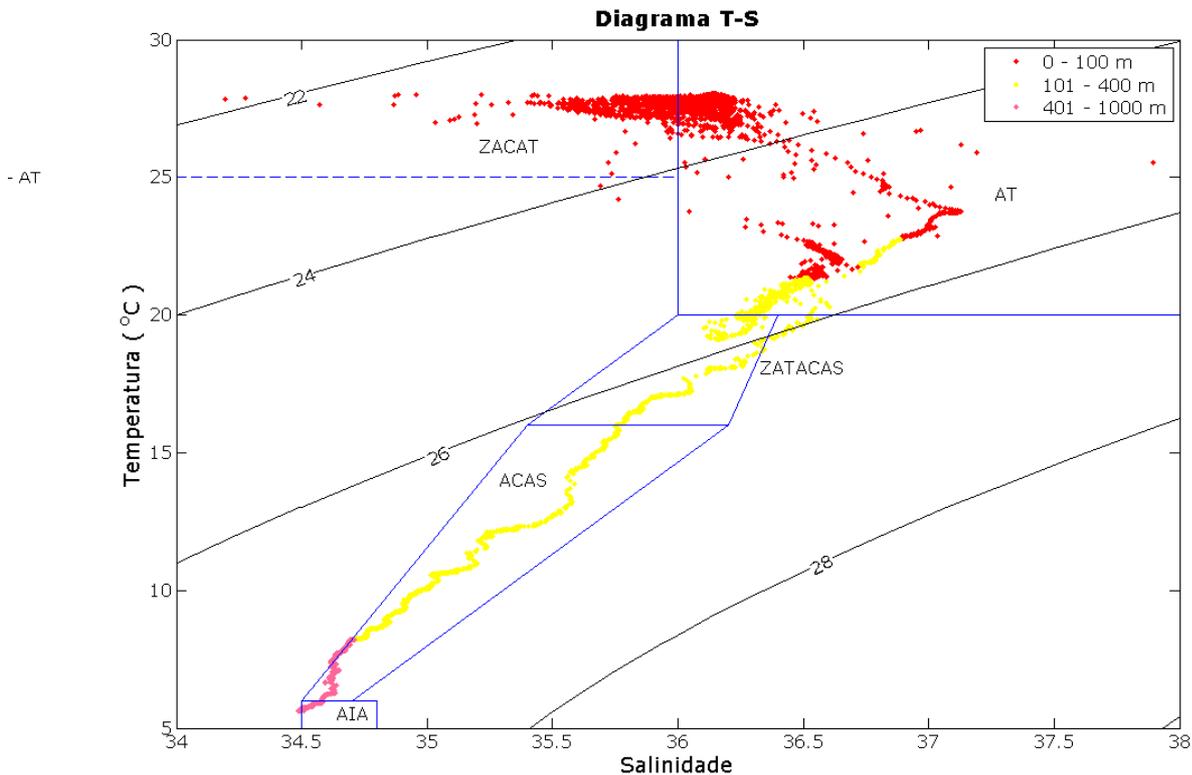
Na Figura 5.1.3-23 é apresentado o diagrama TS espalhado elaborado com os dados do NODC e do BNDO com o gabarito utilizado por Molleri *et al.* (2006). No diagrama TS, os pares de temperatura e salinidade representados por pontos pretos, não estão associados a nenhuma das massas d'água apresentadas no gabarito utilizado por Molleri *et al.* (2006).



**Figura 5.1.3-23.** Diagrama TS espalhado para a região da Bacia Pará-Maranhão elaborado com os dados do NODC e do BNDO. As cores representam as massas d'água: vermelho (AC), rosa (AM), amarelo (AT), azul claro (ZATACAS), azul escuro (ACAS) e verde (AIA).

Observa-se a presença, nos dados analisados, de todas as massas d'água caracterizadas por Molleri *et al.* (2006).

Também foi elaborado um diagrama T-S (Figura 5.1.3-24) a partir de dados de CTD disponibilizados pela operadora.



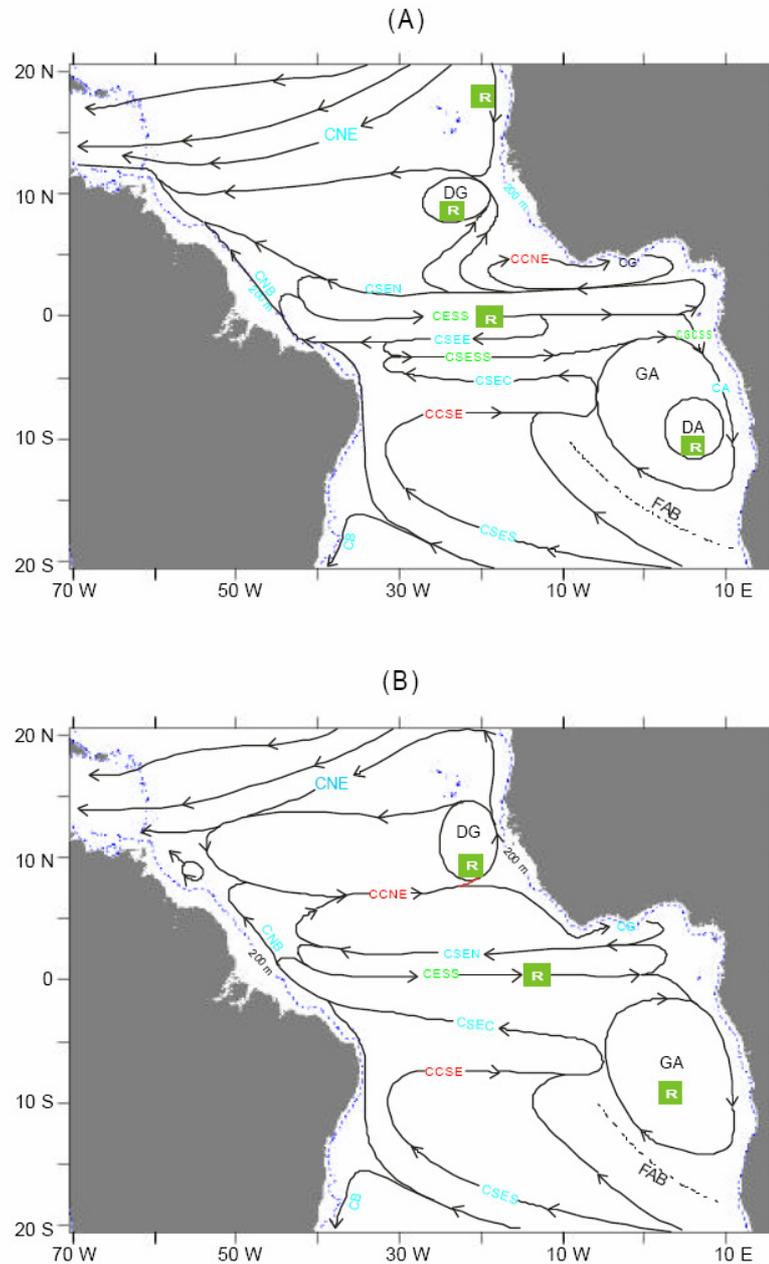
**Figura 5.1.3-24.** Diagrama TS espalhado para a região dos blocos BM-PAMA-16 e 17 elaborado com os dados de CTD disponibilizados pela operadora. A linha em azul representa o gabarito utilizado por Moller et al (2006).

Através dos perfis de CTD foram obtidos nas 8 estações originais previstas no *baseline*, verifica-se que os resultados obtidos nos perfis de CTD apresentados no diagrama T-S, mostram que a coluna d'água nas estações amostradas, foi caracterizada principalmente pela presença de uma massa d'água, Água Tropical (AT) e da ZACAT. Somente na estação 1 foi possível observar a presença da massa d'água Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e da Água Intermediária Antártica, assim como a ZATACAS. Nas outras estações 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 um padrão similar e em consonância com os resultados esperados para a região foi encontrado, considerando-se a profundidades dos blocos.

#### ◆ Correntes

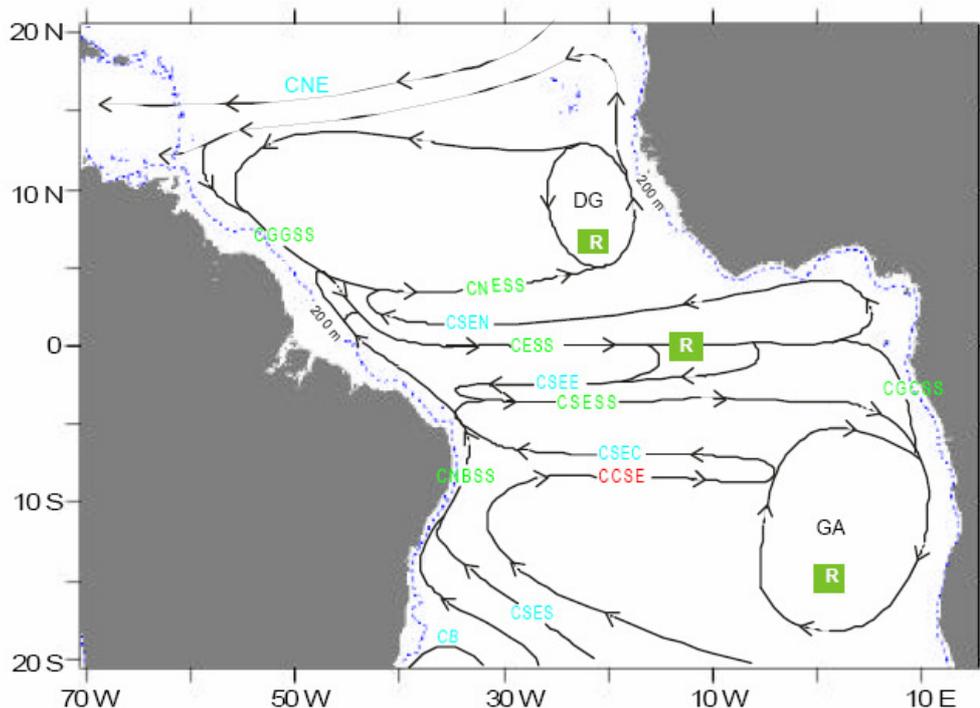
A região onde estão localizados os Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 sofre a influência direta da Corrente Norte do Brasil (CNB). A CNB é formada a partir da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul-Equatorial (CSE), que flui para oeste em direção ao cabo de São Roque (ponto mais a leste da América do Sul), dividindo-se em duas partes: a Corrente Norte do Brasil (CNB) e a

Corrente do Brasil (CB) (STRAMMA, 1991). Na Figura 5.1.3-25 e na Figura 5.1.3-26 são apresentados mapas das principais correntes no Atlântico Tropical em superfície entre 0 e 100 metros, e em subsuperfície (100 e 500 metros).



**Figura 5.1.3-25.** Mapas esquemáticos mostrando a distribuição das principais correntes na camada superficial (entre 0 e 100 m) no Atlântico Tropical: (a) situação típica de outono/HS (março, abril e maio). (b) situação típica de primavera/HS (setembro, outubro e novembro).

Fonte: Menezes, 1999.



**Figura 5.1.3-26.** Mapa esquemático mostrando a distribuição das principais correntes na camada subsuperficial (entre 100 e 500 m) no Atlântico Tropical. Fonte: Menezes, 1999.

Nessas figuras, CA é a Corrente de Angola; CB - Corrente do Brasil; CCNE - Contra-corrente Norte Equatorial; CCSE - Contra-corrente Sul Equatorial; CESS - Corrente Equatorial Subsuperficial; CG - Corrente da Guiné; CGCSS - Corrente do Gabão-Congo Subsuperficial; CNB - Corrente Norte do Brasil; CNE - Corrente Norte Equatorial; CSEC - Corrente Sul Equatorial ramo central; CSEE - Corrente Sul Equatorial ramo equatorial; CSEN - Corrente Sul Equatorial ramo norte; CSES - Corrente Sul Equatorial ramo sul; CSESS - Corrente Sul Equatorial Subsuperficial; DA - Domo de Angola; DG - Domo da Guiné; FAB - Frente Angola-Benguela; GA - Giro da Guiné; R -Áreas de provável ressurgência.

A circulação superficial do Atlântico Tropical, segundo Pickard & Emery (1995), 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<sup>-1</sup>;
- Contra-corrente Norte Equatorial (CCNE), fluindo para leste entre 8° N e 3° N;
- Corrente Sul Equatorial (CSE) fluindo para oeste a sul de 3° N.

Atualmente, a CSE por apresentar uma estrutura muito complexa é subdividida em 3 ramos distintos: 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).

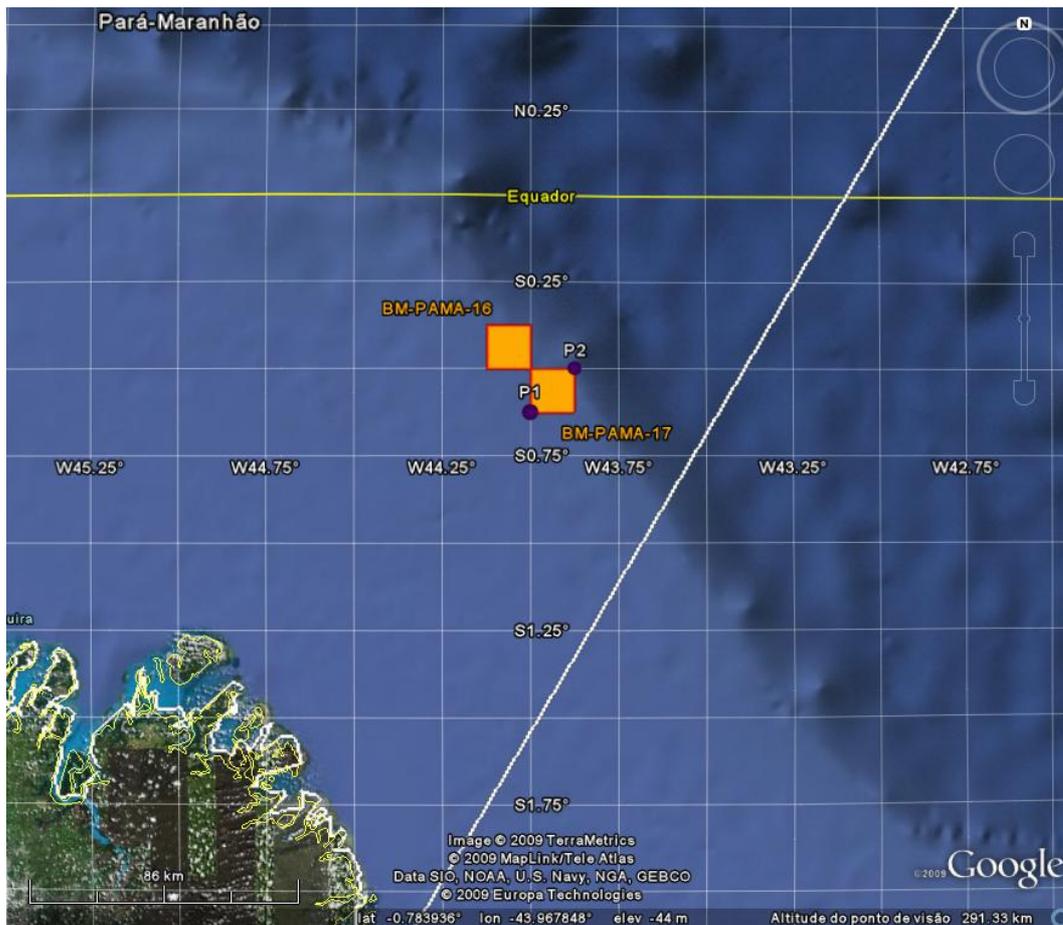
Próximo à costa do Brasil, a sul de 10° S, a CSES ramifica-se formando a Corrente do Brasil (CB) que flui para sul com velocidade média de 10-15 cm.s<sup>-1</sup> e a Corrente Norte do Brasil (CNB) que cruza o equador e acelera, alcançando em 2° N a velocidade de 81 cm.s<sup>-1</sup>. Nesta localidade a CNB une-se à CSEN, fluindo próximo à costa na direção norte (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).

Na segunda metade do ano, tipicamente de julho a setembro, a CNB divide-se próximo a 8° N – 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 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, a uma velocidade média de cerca de 100-110 cm.s<sup>-1</sup>.

Informações sobre as correntes na região dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 são escassas e, uma das fontes de dados mais recente, e robusta, sobre as correntes superficiais na região, veio do esforço da operadora OGX em parceria com a PROOCEANO. No escopo do Projeto MONDO norte foram coletados dados lagrangeanos de corrente através do lançamento de derivadores oceânicos. O intuito do Projeto foi gerar dados primários na região norte do Brasil e, particularmente, nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17.

Durante o mês de dezembro de 2008 foram lançados ao mar 36 derivadores, sendo 30 I-Sphere (derivadores sem vela, cuja deriva busca reproduzir o comportamento de manchas de óleo na superfície do mar) e 6 SVP (derivadores com vela, projetados para minimizar o impacto do vento sobre sua deriva e maximizar a ação exclusiva das correntes). As localizações dos pontos de lançamento encontram-se na Figura 5.1.3-27.



**Figura 5.1.3-27.** Localização dos pontos de lançamentos dos derivadores do Projeto MONDO norte nos limites dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17.

Do Ponto 1 foram lançados os grupos de derivadores do tipo i-Sphere e SVPs, do Ponto 2, localizado na quebra do talude continental, foram lançados apenas derivadores do tipo SVP, com o objetivo de se obter medições da Corrente Norte do Brasil, que flui nessa região.

Na Figura 5.1.3-28 são apresentadas as trajetórias oriundas dos derivadores do grupo I (i-Sphere), lançados ao mar no dia 04/12/08.

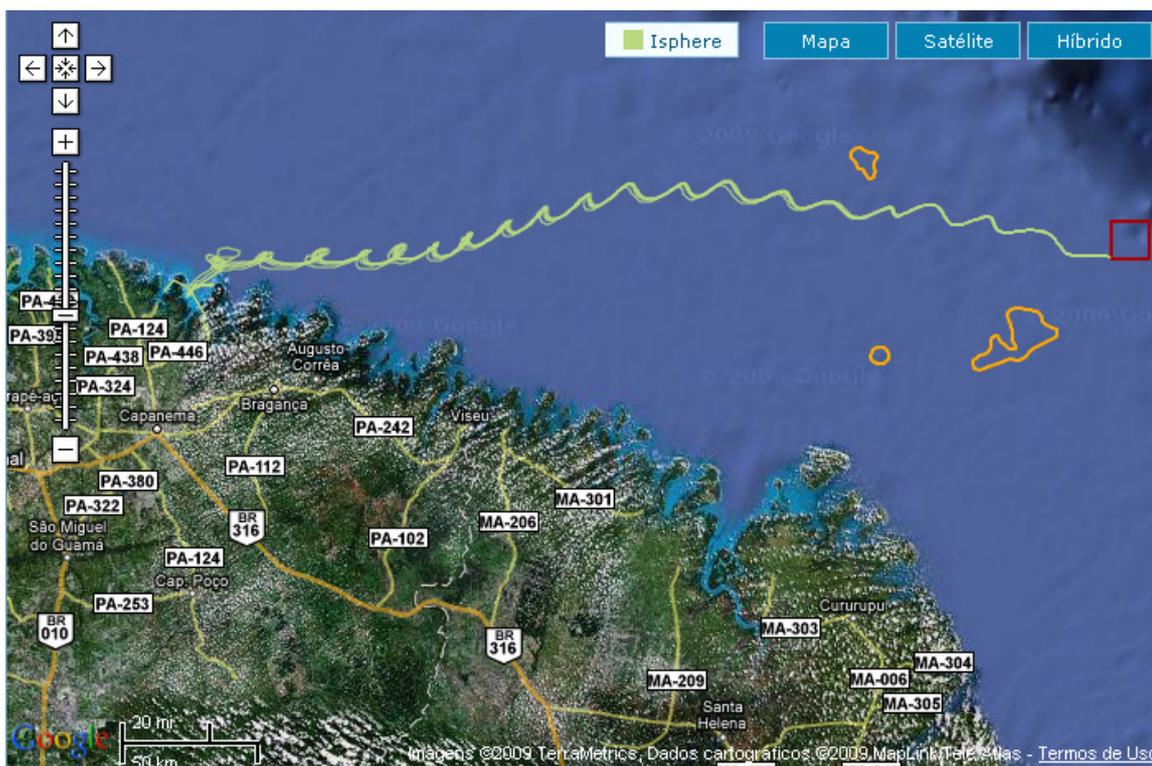


Figura 5.1.3-28. Trajetória seguida pelo Grupo I de derivadores do tipo i-Sphere.

Através da análise direta das trajetórias seguidas pelos derivadores é possível constatar um fluxo preferencial para oeste do ponto de lançamento. As marcadas oscilações apresentadas pelas trajetórias, também mostram uma forte influência da maré na corrente superficial sobre a plataforma continental da região.

O Quadro 5.1.3-5 apresenta os resultados obtidos pelos 30 derivadores i-Sphere lançados ao longo do Projeto. Além das informações relativas ao fluxo das correntes, também foram obtidas informações sobre a temperatura da água do mar na região.

Quadro 5.1.3-5. Resumo dos resultados obtidos pelos 30 derivadores i-Sphere lançados.

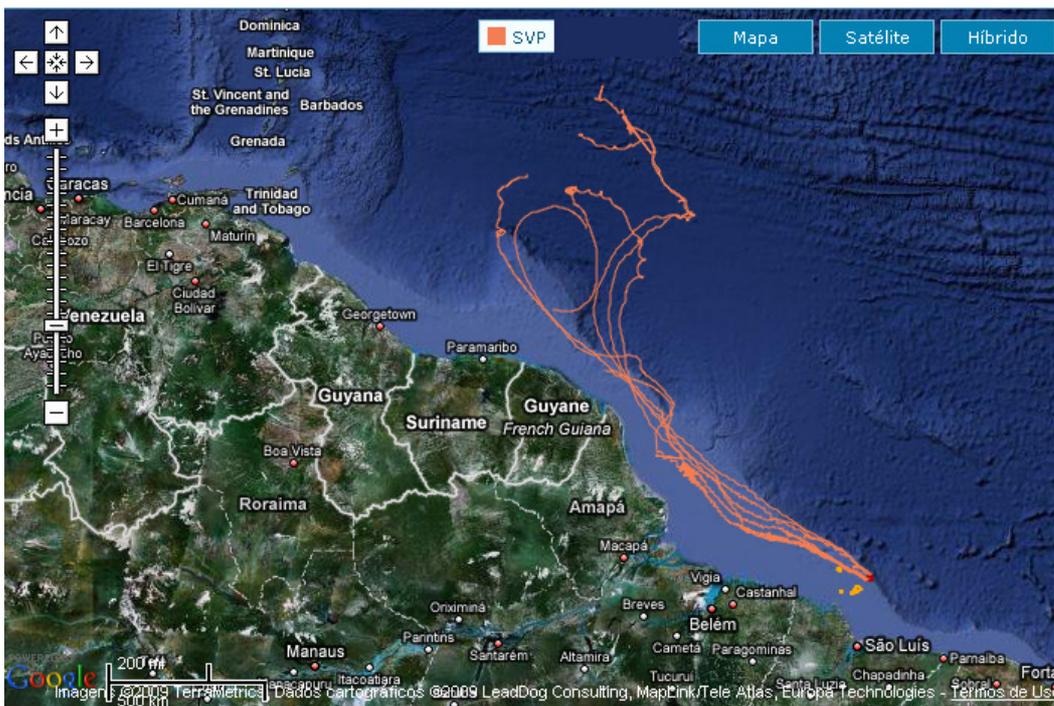
i-SPHERES	VELOCIDADE (m.s <sup>-1</sup> )			TEMPERATURA (°C)			
	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MÁXIMA	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	MÁXIMA	MÍNIMA
<b>Grupo 1</b>	0,51	0,21	1,17	26,30	0,14	26,70	25,90
<b>Grupo 2</b>	0,53	0,22	1,11	26,20	0,13	26,50	25,90
<b>Grupo 3</b>	0,54	0,23	1,25	26,20	0,14	26,50	25,90
<b>Grupo 4</b>	0,48	0,19	1,06	26,30	0,14	26,80	25,40
<b>Grupo 5</b>	0,49	0,18	0,94	26,20	0,11	27,20	26,00
<b>Grupo 6</b>	0,55	0,21	1,10	26,20	0,09	26,60	25,90
<b>Consolidado</b>	0,52	0,21	1,25	26,23	0,13	27,20	25,40

As velocidades médias dos grupos ficaram em torno de  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ , com a máxima chegando a  $1,25 \text{ m.s}^{-1}$  (Grupo 3). A temperatura média obtida pelos derivadores foi de  $26,23 \text{ }^\circ\text{C}$ , com máxima de  $27,20 \text{ }^\circ\text{C}$  e mínima de  $25,40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

O lançamento dos derivadores SVP teve objetivos distintos: No Ponto 1 o objetivo foi determinar os valores de corrente superficial na plataforma continental norte do Brasil, particularmente na região ao redor dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17. Já no Ponto 2, o objetivo foi o de se conhecer o comportamento da Corrente Norte do Brasil, que flui na quebra do talude continental.

A Figura 5.1.3-29 apresenta as trajetórias percorridas pelos derivadores e a localização dos mesmos até fevereiro de 2009.

Até o momento, todos os 06 derivadores SVP continuam no mar transmitindo dados.



**Figura 5.1.3-29.** Trajetórias de todos os derivadores do tipo SVP lançados, entre o dia 06/12/2008 e 27/12/2008.

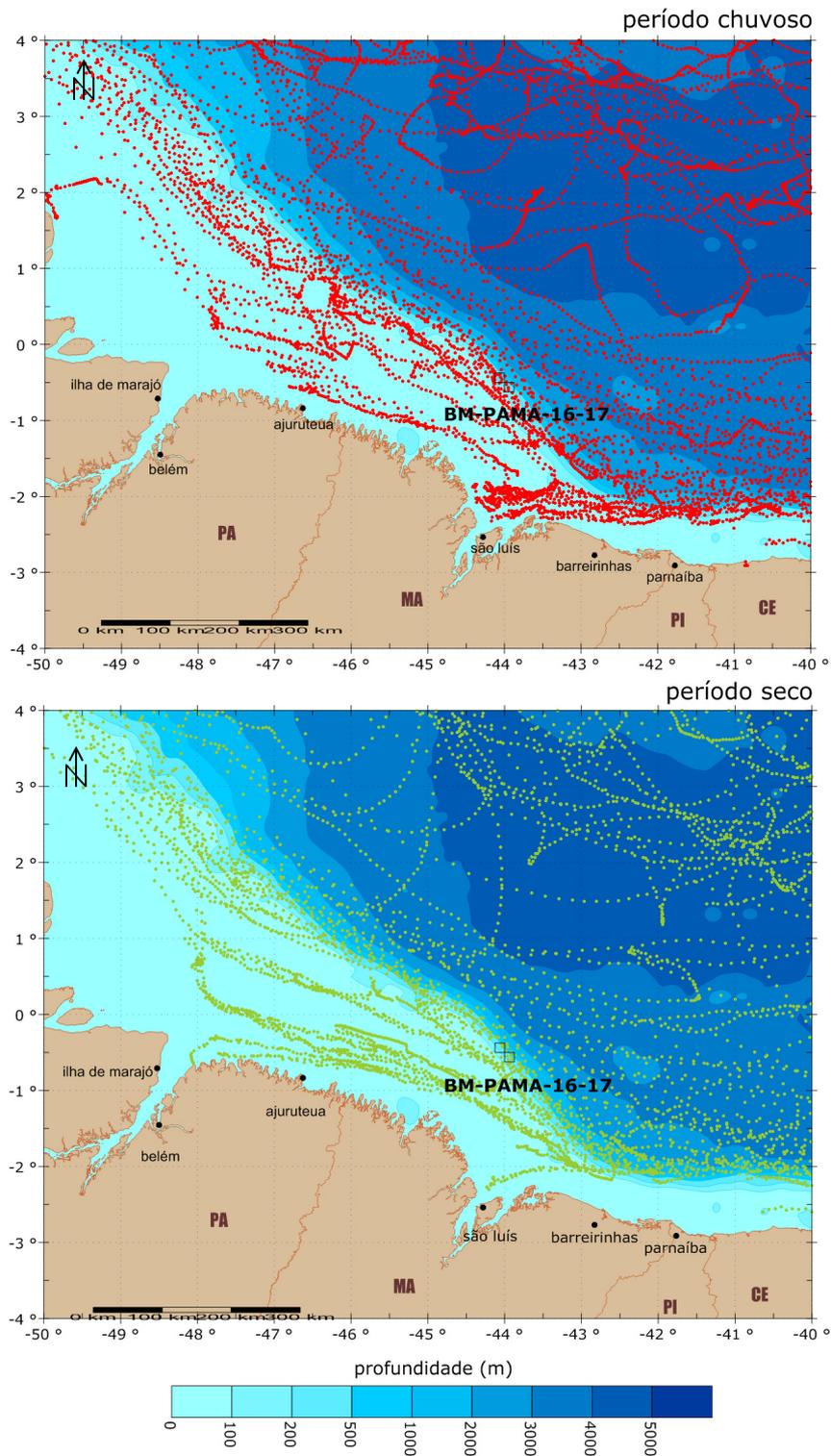
No período analisado, as trajetórias descritas pelos derivadores lançados do Ponto 1 seguiram rumo noroeste, paralelamente à linha de costa, com tendência de aproximação da costa na região próxima à foz do rio Amazonas, retornando à tendência original após essa região até a costa do Amapá.

Administrador de Recursos Ambientais  
Atividade de Perfuracão Marítima nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17  
Baía do Pará - Maranhão



# Atividade de Perfuracão Marítima nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 Baía do Pará - Maranhão





**Figura 5.1.3-30.** Distribuição espacial dos dados de corrente para o período chuvoso e seco.

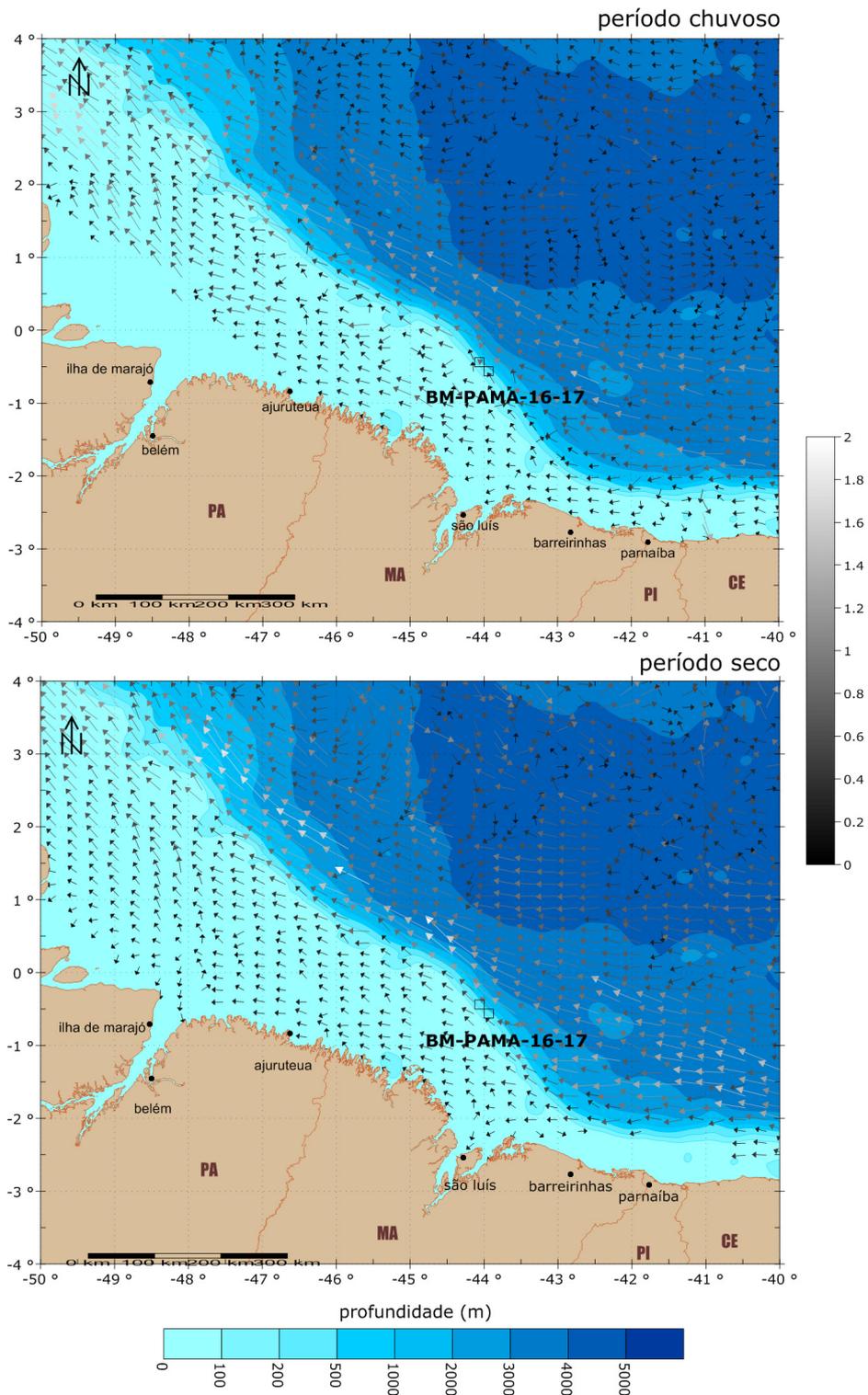


Figura 5.1.3-31. Vetores de correntes para o período chuvoso e seco.

É possível observar, baseado nos dados analisados, que as correntes superficiais na região estudada apresentam sentido preferencial noroeste, indicando de acordo com a bibliografia, a

presença da CNB sobre o Bloco. No entanto, no verão (período chuvoso), a intensidade da CNB apresenta-se menor quando comparada com o inverno (período seco). Foram obtidos valores de intensidade máxima em torno de  $1,75 \text{ m.s}^{-1}$  na CNB, para o período chuvoso, e  $1,95 \text{ m.s}^{-1}$  no período seco.

Outra maneira de se obter informações a respeito das correntes superficiais é através da estimativa realizada por meio de dados altimétricos obtidos por sensores a bordo de satélites.

Os satélites altimétricos, por se basearem em dados de RADAR (micro-ondas), fornecem dados que independem de cobertura de nuvens. Já está hoje estabelecido que, através de mapeamentos que utilizam dados de pelo menos dois satélites altimétricos intercalibrados, é possível resolver as feições de meso-escala (Vianna & Menezes, 2005).

A VM Oceânica realizou durante o ano de 2002 um estudo da dinâmica das águas superficiais do Atlântico Ocidental Equatorial entre 1995 e 2000, através de dados altimétricos multi-satélite. A base de dados utilizada foi produzida pela VM através de um mapeamento objetivo espaço-temporal dos dados colineares dos satélites Topex/Poseidon e ERS2 em grade de  $27 \times 27 \text{ km}$ .

Utilizando altimetria de radar, o satélite TOPEX/Poseidon (NASA/CNES) forneceu a primeira cobertura global e contínua da topografia da superfície dos oceanos. Localizado a aproximadamente 1330 km acima da superfície da Terra, o TOPEX/Poseidon é capaz de medir a altura da superfície de 95% da área dos oceanos, com uma acurácia de  $\sim 3,5 \text{ cm}$ . O satélite ERS2 (*European Remote-Sensing Satellites*), desenvolvido pela Agência Espacial Européia, também equipado radar altimétrico, encontra-se a 800 km de altitude. O ERS2 leva 100 minutos para realizar uma órbita entorno da Terra, e completa seu ciclo em aproximadamente 35 dias.

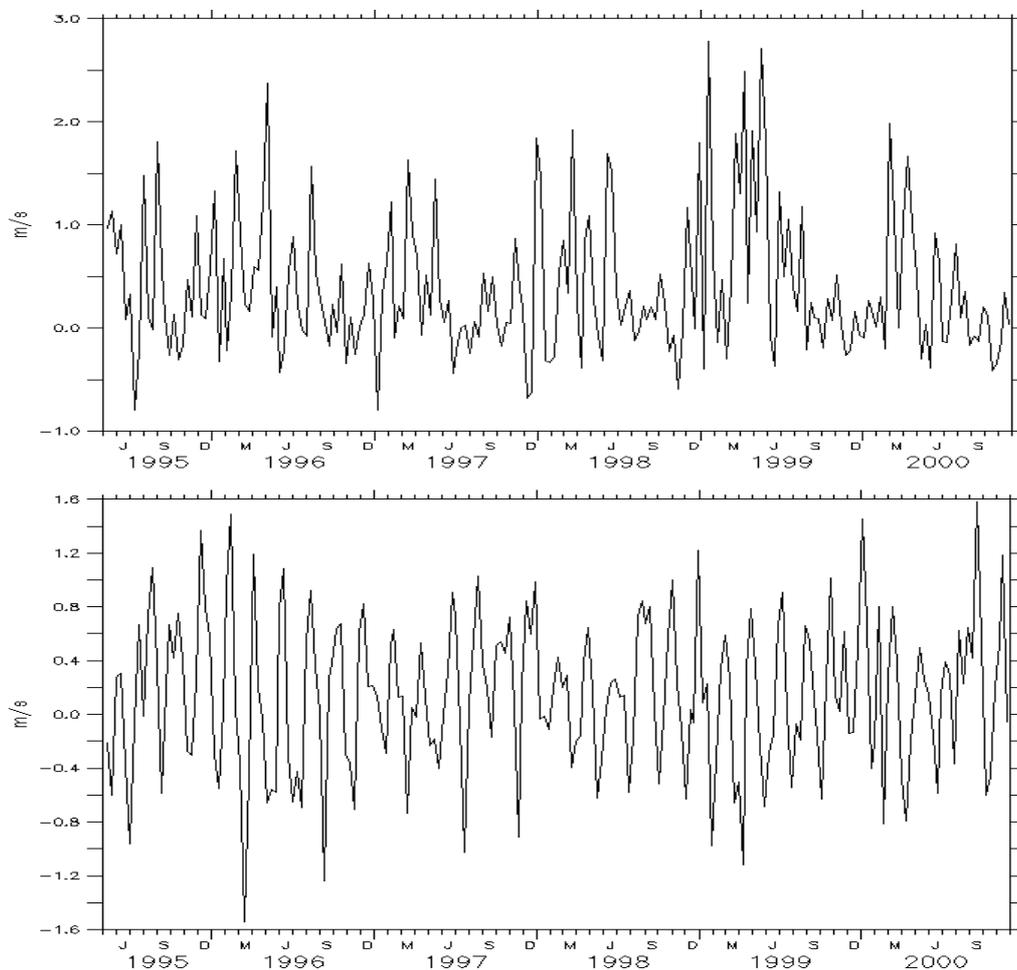
A resolução temporal foi de 10 dias. As respectivas grades de circulação foram computadas usando a Topografia Dinâmica de Boyer & Levitus (1997), e uma formula geostrófica não linear válida sobre o Equador. Para maiores detalhes consultar Vianna & Menezes (2003). Este estudo permitiu que se descobrisse que a área oceânica no entorno dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 é dominada, de fato, por variabilidades intra-sazonais, principalmente devidas a ondas de 50-60 dias, apresentando picos de corrente de mais de  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Este resultado não inclui correntes de maré, nem as correntes de Ekman que, na região, têm o sentido de noroeste, e são limitadas aos primeiros 40 m.

Os campos de circulação geostrófica supracitados reproduzem ocorrências de grandes picos de corrente na faixa intra-sazonal, cujas amplitudes variam de ano para ano. Trata-se de uma área oceânica onde ocorre uma bifurcação transitória da CNB devido à reflexão de ondas de Rossby pelo talude continental, conforme processo descrito por Holvorcem & Vianna (1992). Este

trabalho demonstra que as amplitudes de corrente esperadas na região que engloba os Blocos BM-PAMA-16 e 17, devido à ocorrência destas ondas de 50 dias, são as maiores de todo o Atlântico tropical ocidental.

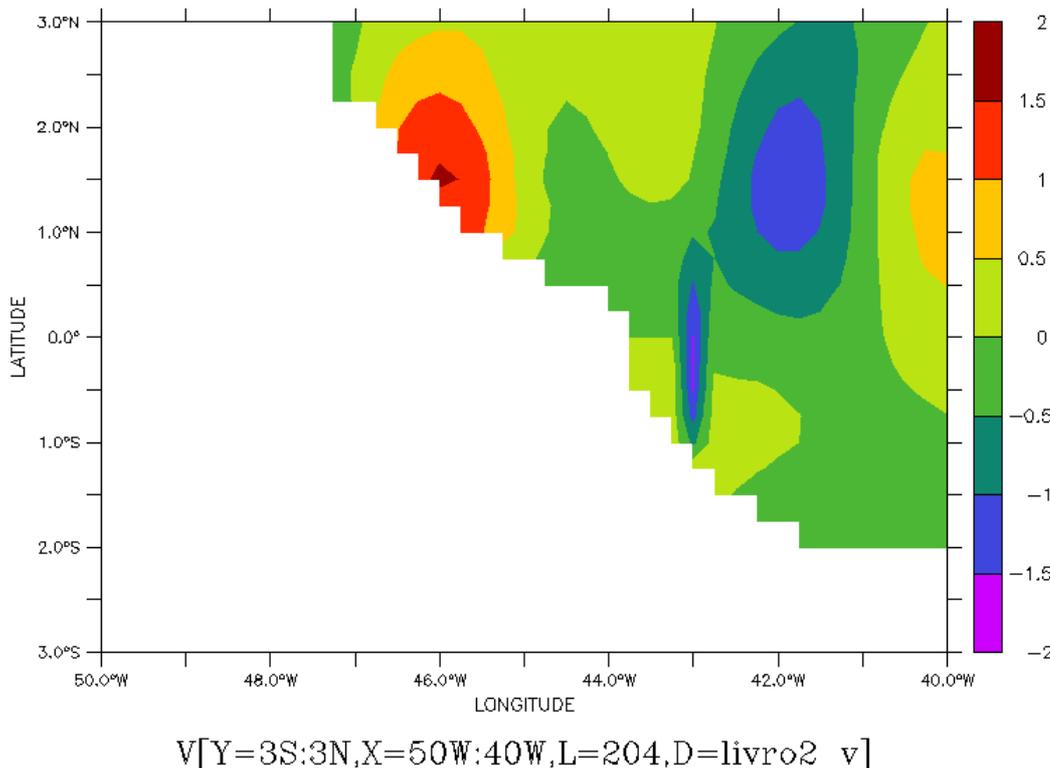
Tudo indica que, juntando os resultados das referências supracitadas, estes fenômenos ocorrem desde a superfície até, pelo menos, 500 m de profundidade, gerando correntes intensas e picos de intensidade de corrente da ordem de  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ .

Para ilustrar as escalas de turbulência de meso-escala que dominam a região, é apresentada na Figura 5.1.3-32 a série temporal para a componente E-W e N-S da corrente, na posição de  $1,5^\circ \text{ N}$  e  $45,5^\circ \text{ W}$ . Pode-se observar a variação interanual das intensidades, bem como a dominância de oscilações intra-sazonais.



**Figura 5.1.3-32.** Série temporal de corrente zonal (u, superior) e meridional (v, inferior) superficial em região próxima aos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, obtidos por dados altimétricos multi-satélites.

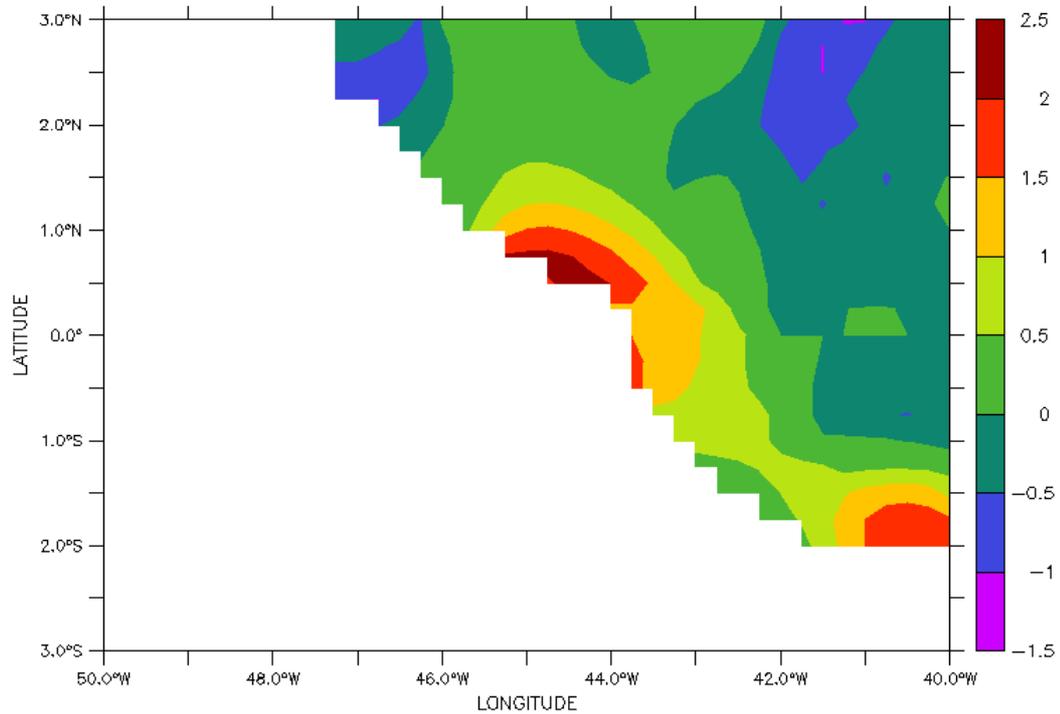
Na Figura 5.1.3-33 é apresentado um mapeamento regional da componente meridional da velocidade de corrente, que apresenta a assinatura típica de uma onda de Rossby, vinda de leste, e espalhada pelo talude continental, obtida pelos mapeamentos altimétricos. A data escolhida foi a de 15/11/2000, época em que se deu o cruzeiro descrito em Stramma *et al.* (2005).



**Figura 5.1.3-33.** Mapeamento da componente meridional das correntes na região oceânica em torno dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, baseada em dados altimétricos e topografia dinâmica média obtida dos dados Boyer-Levitus.

É possível admitir que as “bolhas” alternadas de intensidade entre 1°N e 2°N são assinaturas de ondas de Rossby refletidas pelo talude continental.

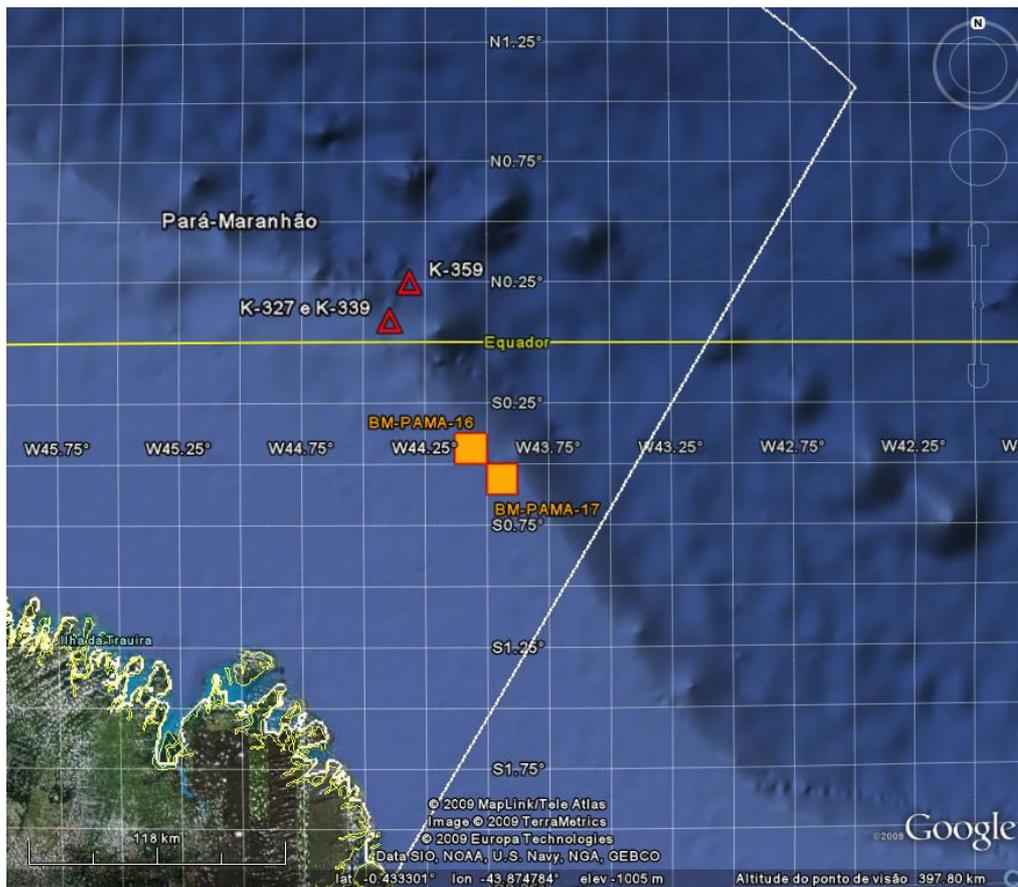
A Figura 5.1.3-34 indica a zona de confluência entre a corrente que vem de NW com a que vem de SE (CNB), causando variabilidades mais rápidas, devido ao acoplamento entre ondas de Kelvin de talude ou “costeiras”, que convergem e se propagam para leste como ondas de Kelvin equatoriais.



U[Y=3S:3N,X=50W:40W,L=204,D=livro2\_u]

**Figura 5.1.3-34.** Mapeamento da componente zonal das correntes na região oceânica em torno dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17, baseada em dados altimétricos e topografia dinâmica média obtida dos dados Boyer-Levitus.

Para a análise das correntes em profundidade foram utilizados dados registrados em áreas adjacentes, obtidos do Programa *Current Meter Data do World Ocean Circulation Experiment (WOCE)*, da *Oregon State University*. A base de dados do WOCE contempla um arranjo de linhas de fundeios na bacia norte do Brasil em lâminas d'água compatíveis com a dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17. O arranjo ACM7 (Figura 5.1.3-35) contém os fundeios K327 e K339, localizados na latitude 0,087° N e longitude 44,390° W e o fundeio K359 localizado na latitude de 0,243° N longitude 44,310° W. Estes fundeios foram efetuados em épocas diferentes.



**Figura 5.1.3-35.** Localização dos fundeios K327, K339 e K359 do arranjo ACM7 do WOCE.

As rosas de correntes elaboradas com os dados do fundeio K327, medidos entre o período de setembro de 1989 a outubro de 1990, são apresentadas na Figura 5.1.3-36.

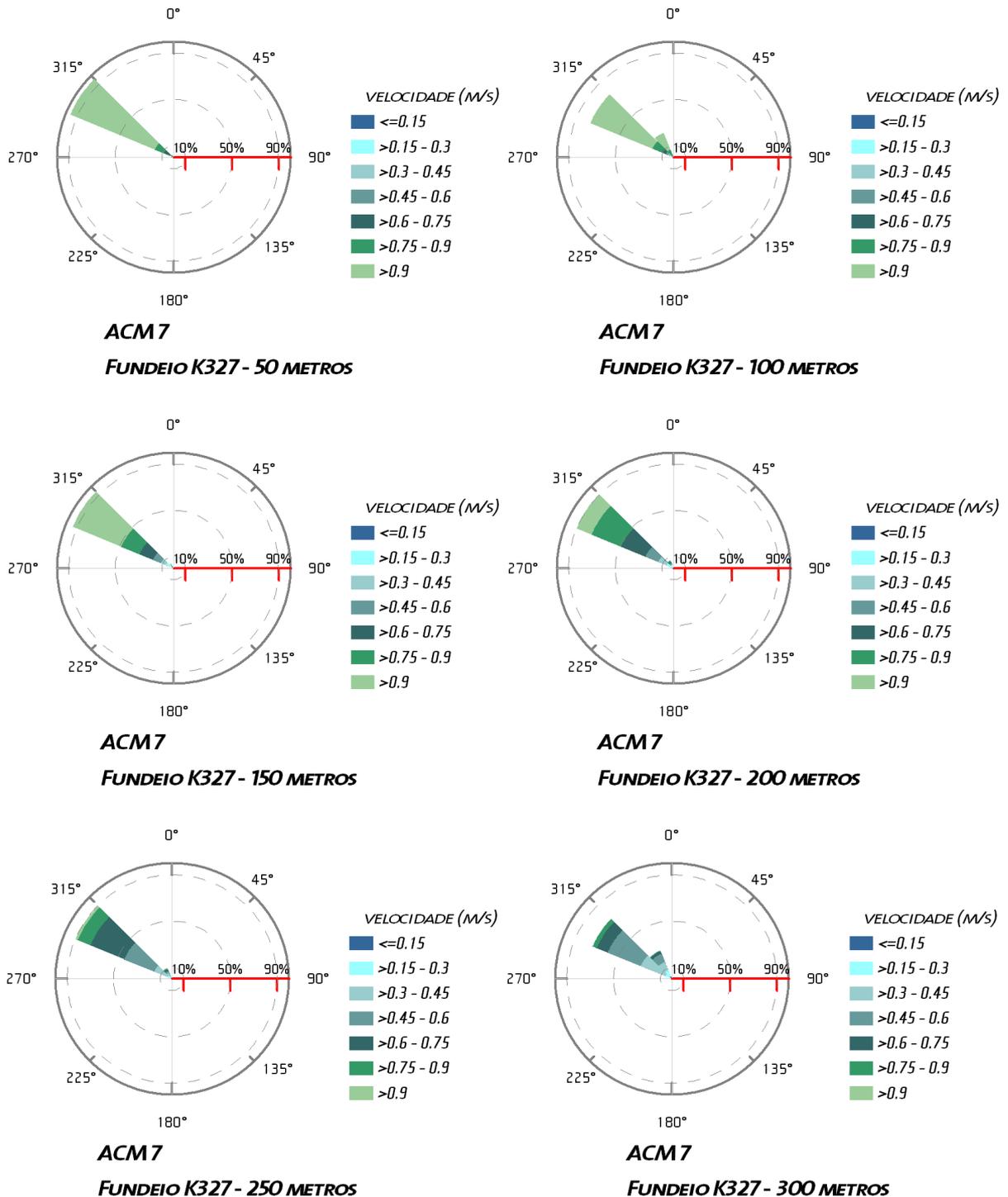


Figura 5.1.3-36. Rosa de correntes elaborada com os dados do fundeio K327 do WOCE.

É possível notar que em todas as profundidades analisadas o sentido preferencial da corrente se dá no sentido noroeste. No entanto, com o aumento da profundidade ocorre um decréscimo nos valores de velocidade, apresentando uma velocidade máxima de  $1,95 \text{ m.s}^{-1}$  em 50 metros e mínima de  $0,05 \text{ m.s}^{-1}$  a 300 metros.

As rosas de correntes que correspondem aos dados do fundeio K339 são apresentadas na Figura 5.1.3-37. Estes dados foram coletados no período de outubro de 1990 a setembro de 1991.

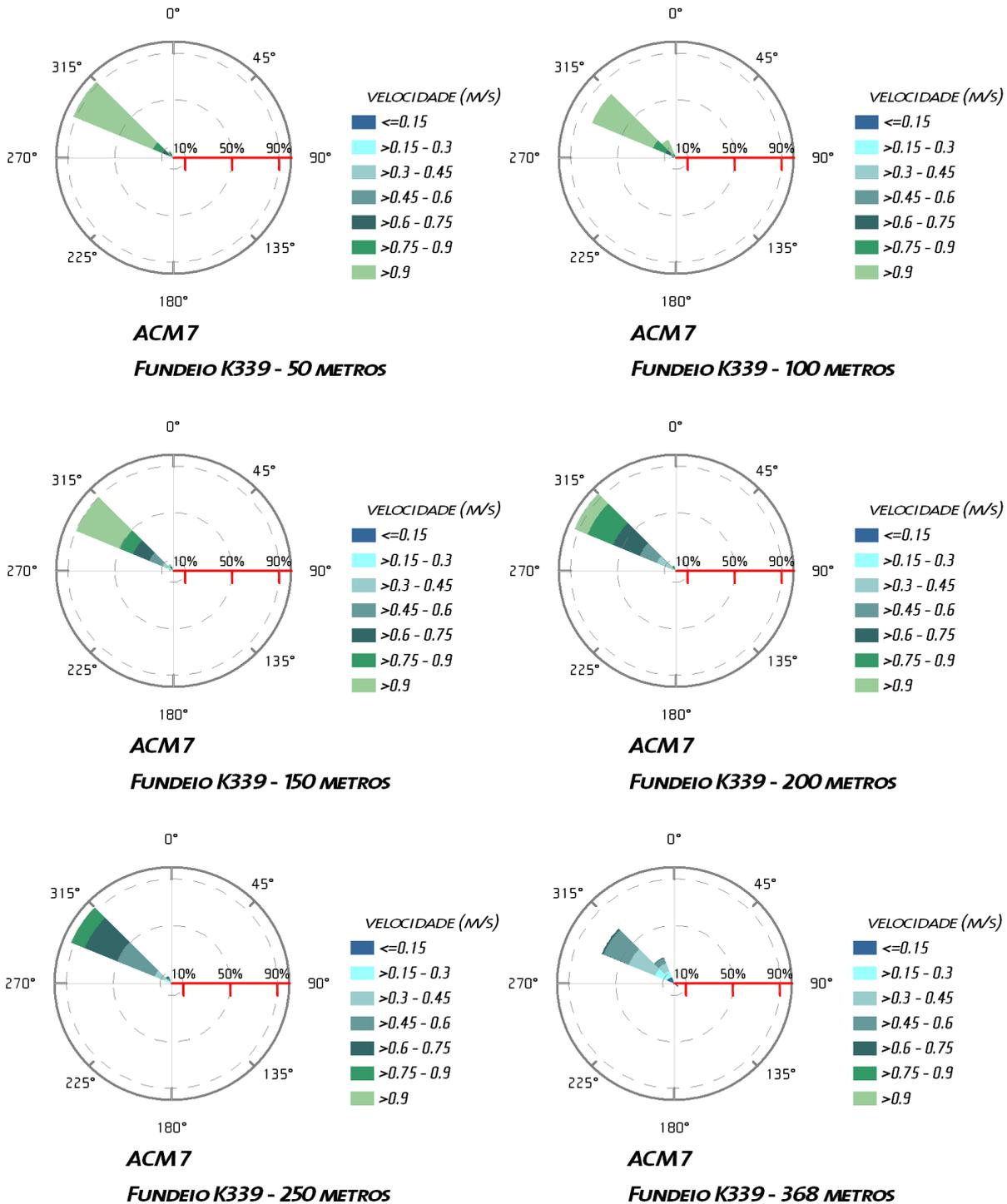
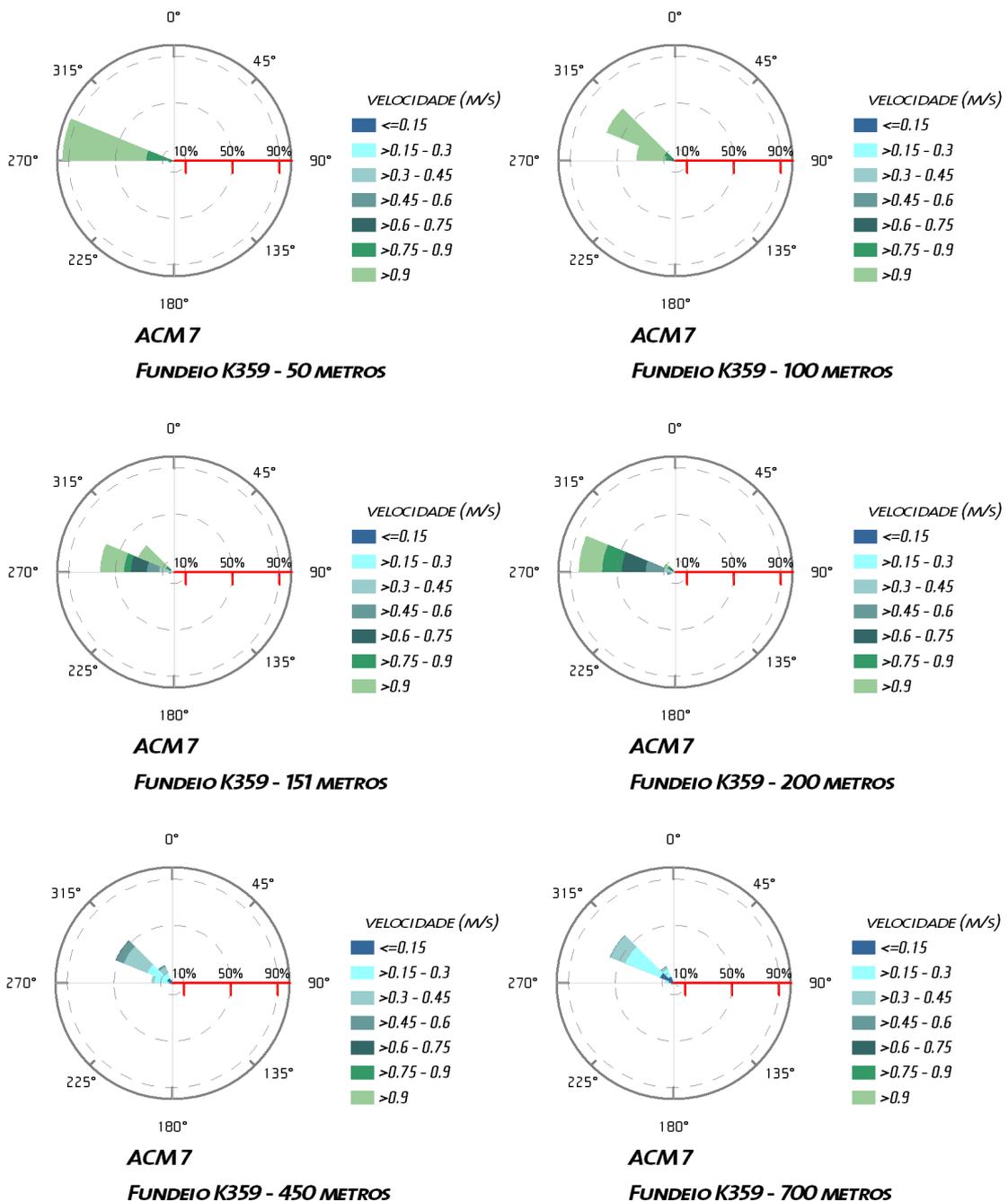


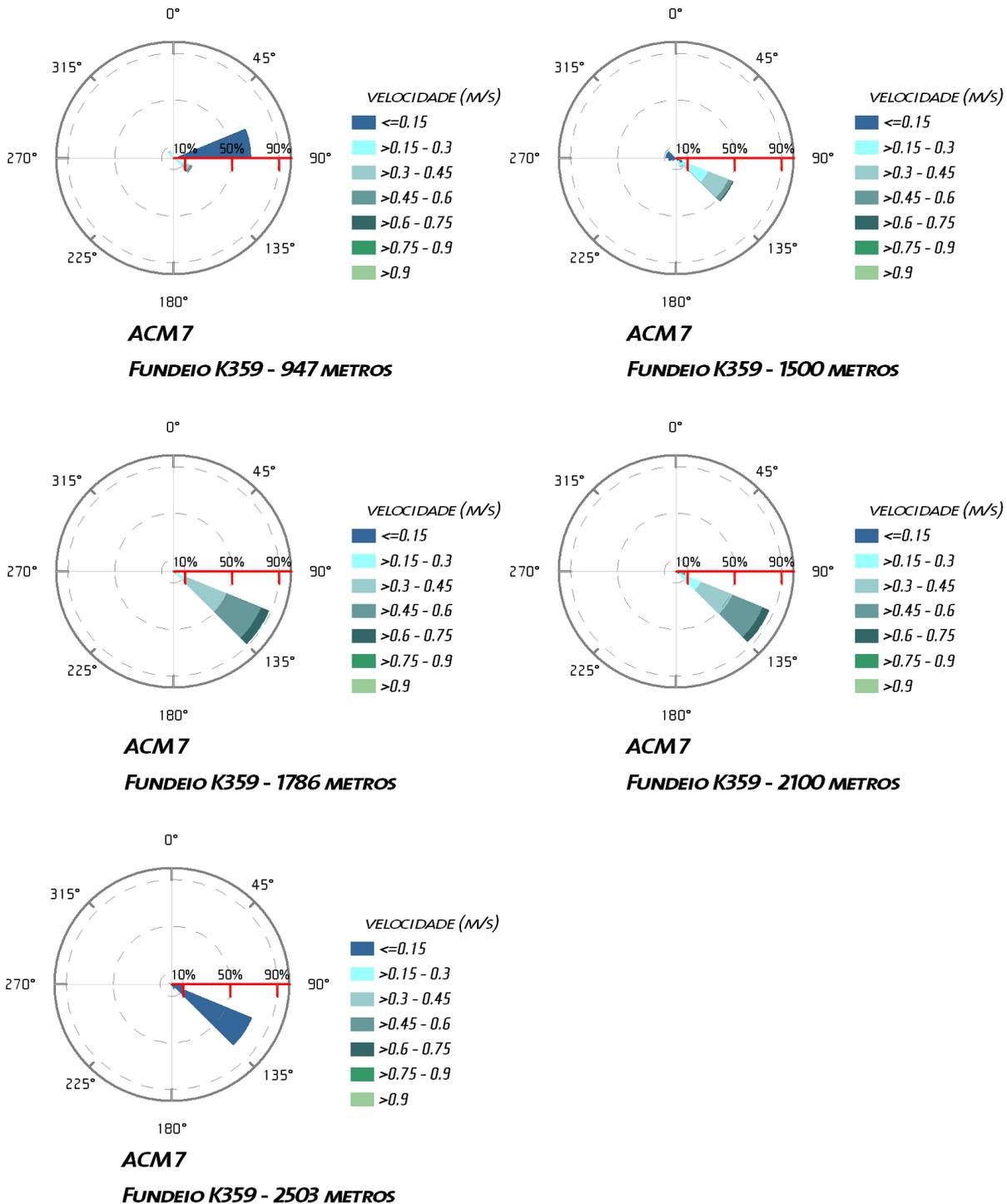
Figura 5.1.3-37. Rosa de correntes elaborada com os dados do fundeio K339 do WOCE.

É observado no fundeio K339 comportamento similar ao fundeio K327. Apresentando valores de velocidade máxima de  $2 \text{ m.s}^{-1}$  em 50 metros e velocidade mínima de  $0,003 \text{ m.s}^{-1}$  em 368 metros.

Na Figura 5.1.3-38 e na Figura 5.1.3-39 são apresentadas as rosas de corrente para o fundeio K359. Este fundeio foi realizado no período de outubro de 1992 a fevereiro de 1993.



**Figura 5.1.3-38.** Rosa de correntes elaborada com os dados do fundeio K359 do WOCE até a profundidade de 700 metros.



**Figura 5.1.3-39.** Rosa de correntes elaborada com os dados do fundeio K359 do WOCE de 947 a 2503 metros.

Até a profundidade de 700 metros, o fundeio K359, sugere um eixo principal para o fluxo como sendo W/NW. Porém, a intensidade das correntes, de maneira semelhante aos dois

fundeios anteriormente apresentados, diminui com a profundidade. Apresenta velocidade máxima de  $1,46 \text{ m.s}^{-1}$  a 50 m enquanto que a 700 m a máxima obtida é de  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ . A 947 m de profundidade o sentido da corrente muda para leste com máxima de  $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ .

Nas demais profundidades apresentadas o sentido da corrente é para sudeste. Dentre estas, a que atinge maior velocidade ( $0,75 \text{ m.s}^{-1}$ ) é a profundidade de 1.786 metros.

Foi observado nos três fundeios que a intensidade das correntes em grandes profundidades é, em sua grande maioria, inferior a  $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ .

Observa-se que até a profundidade de 700 m o rumo predominante das correntes é NW, com a intensidade diminuindo gradativamente com o incremento da profundidade, representando o fluxo da Corrente Norte do Brasil e o fluxo associado à Água Central do Atlântico Sul.

Nas rosas referentes às profundidades de 1500, 1786, 2100 e 2503 m, observa-se que as correntes mais freqüentes apresentam rumo sudeste, referentes ao fluxo associado à Água Profunda do Atlântico Norte.

Comparando os diversos levantamentos de correntes apresentados, verifica-se que a CNB apresenta velocidades médias próximas a  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Correntes de até  $2 \text{ m.s}^{-1}$  foram verificadas nos fundeios do WOCE e pelos derivadores do IGLDD/AOML, enquanto que os dados do Projeto MONDONorte e os dados altimétricos indicaram correntes ligeiramente menos intensas, com máximos de  $1,62$  e  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente.

#### ◆ Marés

A maré pode ser classificada quanto ao seu período, como maré 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. Esse fator é definido por:

$$F = \left[ \frac{(K_1 + O_1)}{(M_2 + S_2)} \right], \text{ (Pond \& Pickard, 1978).}$$

Onde  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_2$  e  $S_2$  são as amplitudes das constantes harmônicas correspondentes.

De acordo com essa classificação tem-se:

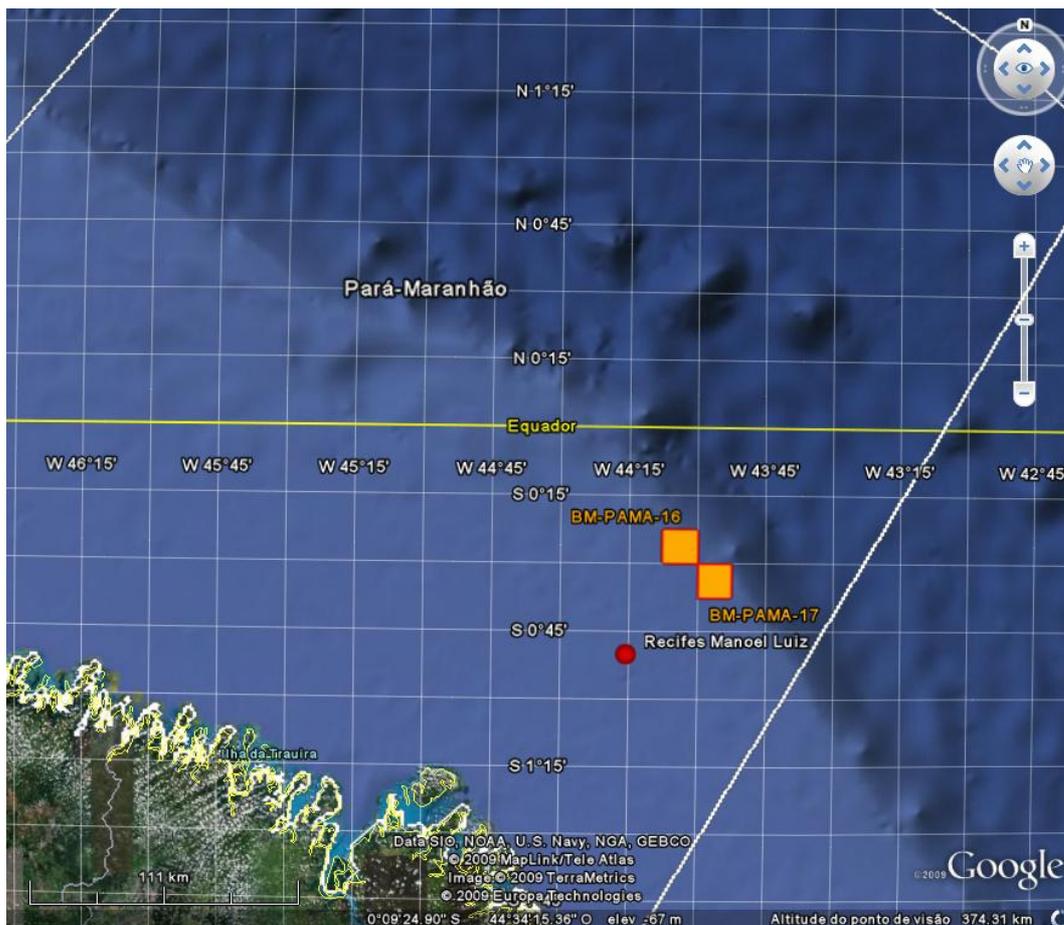
$F = 0$  a  $0,25$ : Maré semi-diurna: maré cujo período é de aproximadamente 12h. Neste caso, tem-se duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas. A altura de uma preamar é praticamente igual à outra, o mesmo acontecendo com a baixa-mar.

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

$F > 3,0$ : Maré diurna: 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 dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 foram utilizadas as constantes harmônicas da Estação Recifes Manoel Luiz (Figura 5.1.3-40), localizada nas coordenadas  $00^{\circ}50' S$  e  $44^{\circ} 15,5' W$ , disponíveis no Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras da FEMAR (2000). As constantes harmônicas podem ser observadas no Quadro 5.1.3-6.



**Figura 5.1.3-40.** Localização do ponto de onde foram obtidas as constantes harmônicas.

**Quadro 5.1.3-6.** Valores de amplitude e fase das principais componentes harmônicas, calculadas para a estação maregráfica utilizada.

COMPONENTES	AMPLITUDE H (cm)	FASE (º)
Q <sub>1</sub>	-	-
O <sub>1</sub>	3,10	226
K <sub>1</sub>	3,70	213
N <sub>2</sub>	36,3	152
M <sub>2</sub>	57,4	136
S <sub>2</sub>	22,4	157
K <sub>2</sub>	6,1	157

Fonte: FEMAR

Para a região de interesse temos:

$$F = (3,1+3,7) / (57,4+22,4) = 0,0852 \rightarrow \text{maré semi-diurna}$$

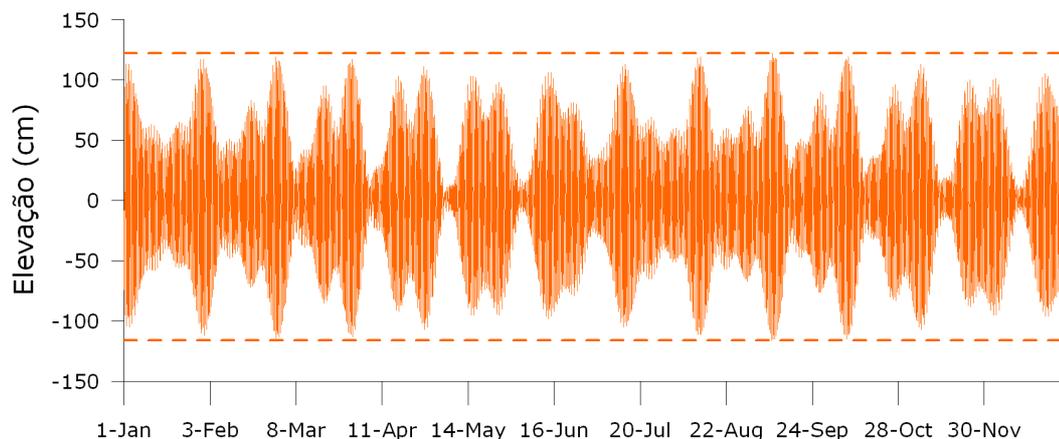
Podemos calcular também, segundo a formulação de Pond & Pickard (1978), a média da amplitude das marés de sizígia, que nesse caso será:

$$2(M_2+S_2) = 159,6 \text{ cm para a Estação Recifes Manoel Luiz (MA);}$$

Quanto às marés de quadratura, a amplitude média é de 70 cm (FEMAR).

Portanto, podemos classificar a maré da área dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 como sendo semi-diurna e com amplitudes médias de sizígia da ordem de 159,6 cm.

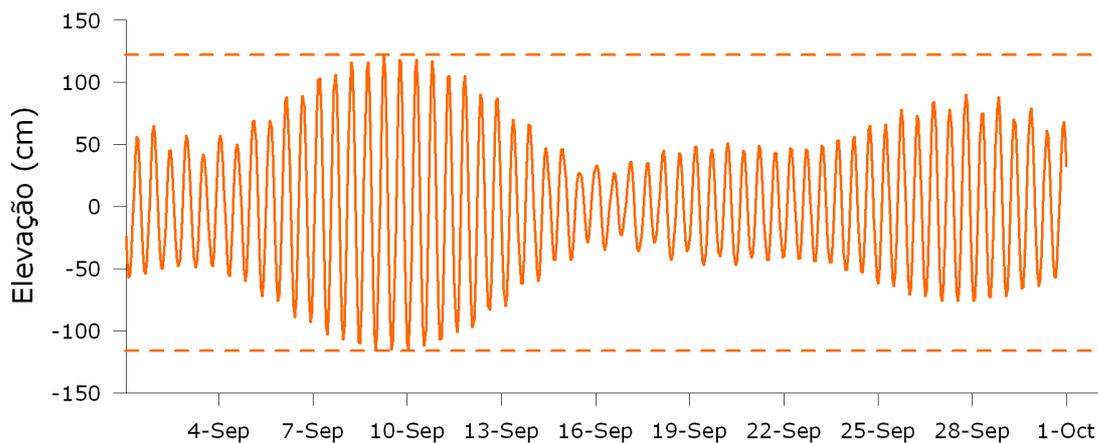
Na Figura 5.1.3-41 é apresentado um gráfico com a elevação da superfície do mar calculada com as constantes harmônicas obtidas da Estação de Recifes Manoel Luis, para o ano de 2006, com os valores máximos e mínimos para cada série, identificados pelas linhas tracejadas.



**Figura 5.1.3-41.** Elevação da superfície do mar (cm) para o ano de 2006.

Observa-se que as máximas (122 cm) das séries ocorrem nos meses de agosto e setembro na região próxima à Estação Recifes Manoel Luis e, conseqüentemente, aos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17.

Para melhor analisar os dados, foi separado o mês de setembro por ser um dos meses de maré mais alta maior aproximação da lua e do sol a terra (Observatório Nacional, 2006) (Figura 5.1.3-42).



**Figura 5.1.3-42.** Elevação da superfície do mar (cm) para o período de setembro de 2006.

A elevação máxima observada para a Estação Recifes Manoel Luis, no mês de setembro, foi à mesma obtida no cálculo do ano de 2006, 122 cm.

Estudos sobre a variação do nível médio do mar têm sido de grande importância para a sociedade, pois a sua elevação é verificada em diversas estações de monitoramento no mundo, e seus efeitos podem ser devastadores em regiões costeiras. Acredita-se que a principal causa deste fenômeno seja o aumento da temperatura média do planeta provocado pela elevação da concentração dos gases do efeito estufa (Costa, 2007).

Denomina-se transgressão marinha, o avanço do mar sobre regiões que previamente estavam emersas. Ao processo inverso, onde áreas anteriormente submersas passam a estar expostas sobre o nível do mar, chama-se regressão marinha.

Segundo Dias *et al.* (2009), diversos estudos sobre mudanças climáticas no litoral brasileiro ocorridas durante o holoceno (período atual da história geológica), demonstram o avanço do mar em diversas regiões costeiras, entretanto, a maior parte destes estudos indica um ápice da elevação do nível do mar por volta de 5100 anos atrás. Tais autores, contudo, em estudo sobre a variação do nível do mar indicaram que devido à alterações antrópicas e outras variáveis, como por exemplo, tectono eustasia e glácio eustasia, há uma impossibilidade de avaliação de tendências lineares de transgressão ou regressão marítima.

## ◆ Regime de Ondas

De forma geral, não estão disponíveis à comunidade científica medições de ondas de longa duração na costa brasileira, não sendo diferente para a região dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17. Neste contexto, a modelagem numérica torna-se essencial para caracterização do estado mar ao longo do litoral e áreas *off-shore* do Brasil. Informações sobre o clima de ondas também podem ser deduzidas a partir de publicações de estatísticas de onda, do conhecimento dos mecanismos responsáveis pela geração de ondas no Oceano Atlântico Sul e de dados de altura de ondas e velocidade dos ventos obtidos de forma indireta por sensores instalados em satélites, estes últimos colocados recentemente à disposição da comunidade.

Existem duas principais zonas de geração de ondas no Atlântico Sul, associadas a dois centros de circulação de ventos: i) o cinturão extratropical de tempestades de médias e altas latitudes; ii) o cinturão dos ventos alíseos. Este último, localizado entre 10°S e 20°S, é caracterizado por uma alta frequência de ventos com velocidade mínima de 5 m.s<sup>-1</sup>, que é a mínima necessária para gerar ondas capazes de produzir alguma mudança geomórfica significativa ao longo da linha de costa (DAVIES, 1972).

Devido à localização geográfica, a região dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 encontra-se sobre influência das ondas geradas no cinturão dos ventos alíseos. A região de estudo está localizada na região equatorial da plataforma continental externa norte-nordeste da América do Sul, cuja direção forma um ângulo menor que 45° com o Equador. Por esta razão, ela é influenciada por ondas de longa duração do quadrante N e E.

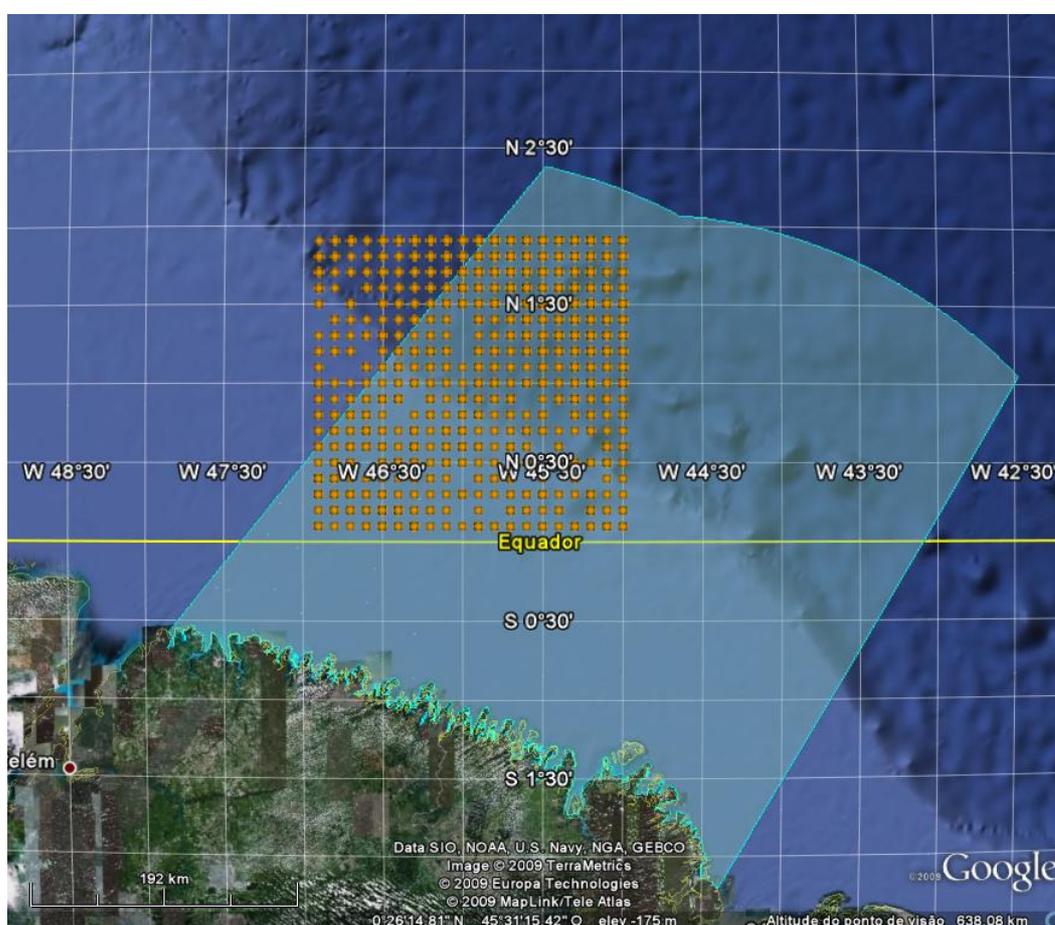
Ondas originadas por ventos de tempestade de inverno no Atlântico Norte, que ocorrem principalmente entre dezembro e março, também podem atingir a área do Bloco, na forma de swell. Segundo Inocentini *et. al.* (2000) na região norte do Brasil, do Amapá até aproximadamente Natal, no Rio Grande do Norte, as ondas incidentes são formadas pelos alíseos, 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.

Coincidentemente, durante o inverno do Hemisfério Norte a Convergência Intertropical cruza a área em direção ao sul, expondo a região às ondas geradas pelos alíseos de NE.

As estatísticas de ondas disponíveis mostram a relação direta entre a direção e a velocidade dos ventos alíseos e, a direção, altura e período das ondas incidentes na região costeira dos blocos BM-PAMA-16 e 17.

Para a caracterização da agitação marítima na Bacia Pará-Maranhão foram utilizados os dados disponíveis no BNDO (Figura 5.1.3-43), no período de 1963 a 1999 e dados altimétricos dos satélites JASON e GFO.

Também são apresentados resultados de modelagem numérica oriundos do projeto ATLASUL, que tem como objetivo fornecer produtos operacionais de previsão oceânica e atmosférica através de modelos numéricos consagrados, como o WAVEWATCH-III, em diferentes escalas espaciais e temporais, visando a melhor representação das particularidades de cada região de interesse.



**Figura 5.1.3-43.** Localização dos dados de ondas do BNDO utilizados para a caracterização na Bacia Pará-Maranhão.

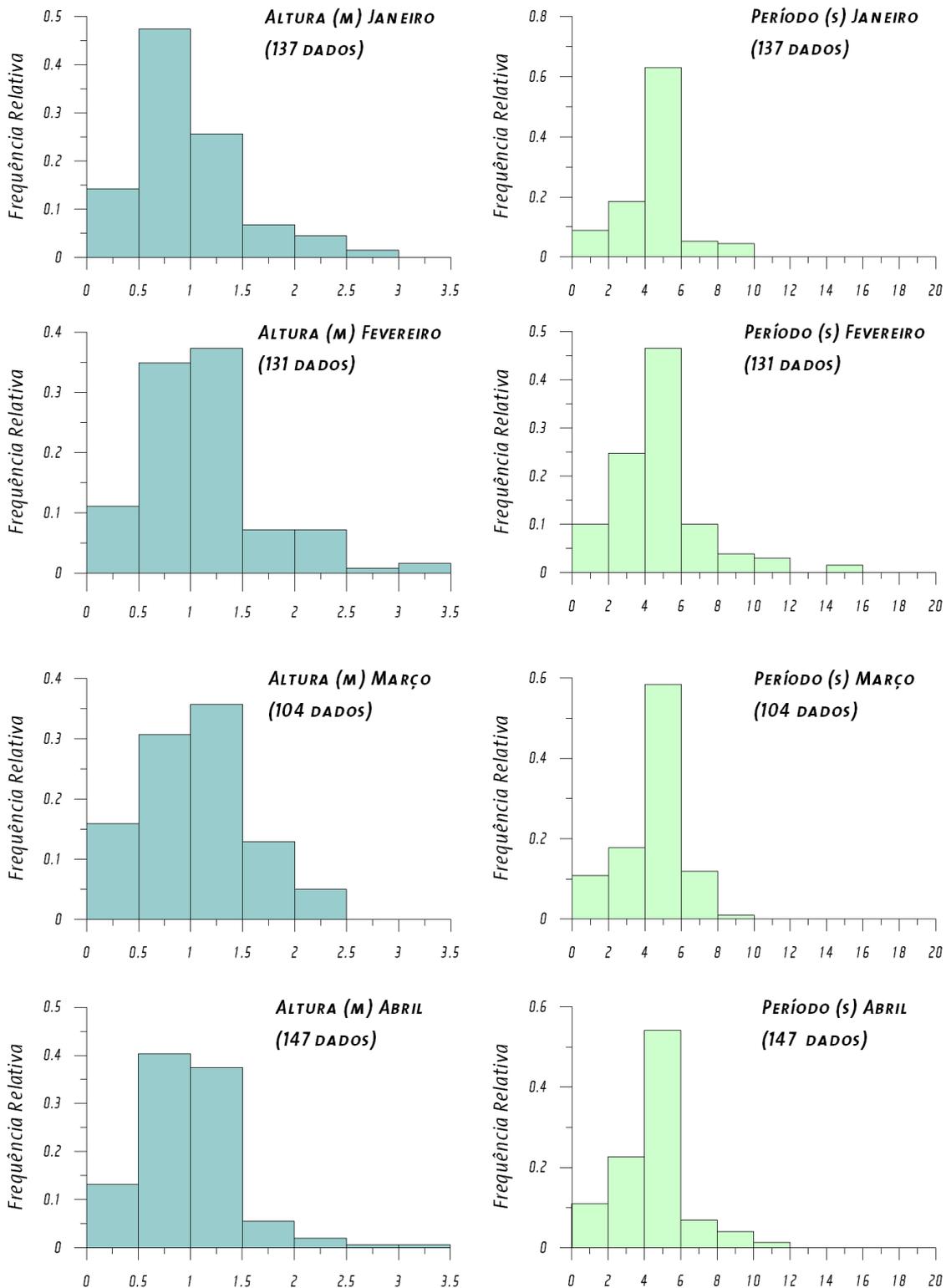
Os algoritmos para estimar as alturas significativas das ondas (SWH) a partir de dados altimétricos realizam a análise da “forma de onda de radar” recebida pelo altímetro. Os altímetros orbitais emitem radiação eletromagnética em direção à superfície da Terra e posteriormente, recebem o sinal de retorno. Sabendo a velocidade de propagação da radiação eletromagnética, pode-se então calcular a distância através do tempo transcorrido entre a emissão e a recepção do

sinal (Polito, 2005). Como a reflexão na crista da onda ocorre antes da reflexão no cavado, a duração do pulso refletido aumenta de forma proporcional a altura da onda. Estes algoritmos supõem que as distribuições estatísticas destes parâmetros são gaussianas, o que dá certo para alturas de onda moderadas. A Forma de Onda de RADAR depende da distribuição de probabilidade conjunta da elevação e da inclinação da superfície. Esta tecnologia permite hoje estimar, por exemplo, como o *swell* se propaga a partir da área onde foi produzido, através de mapeamento em grade do campo de SWH.

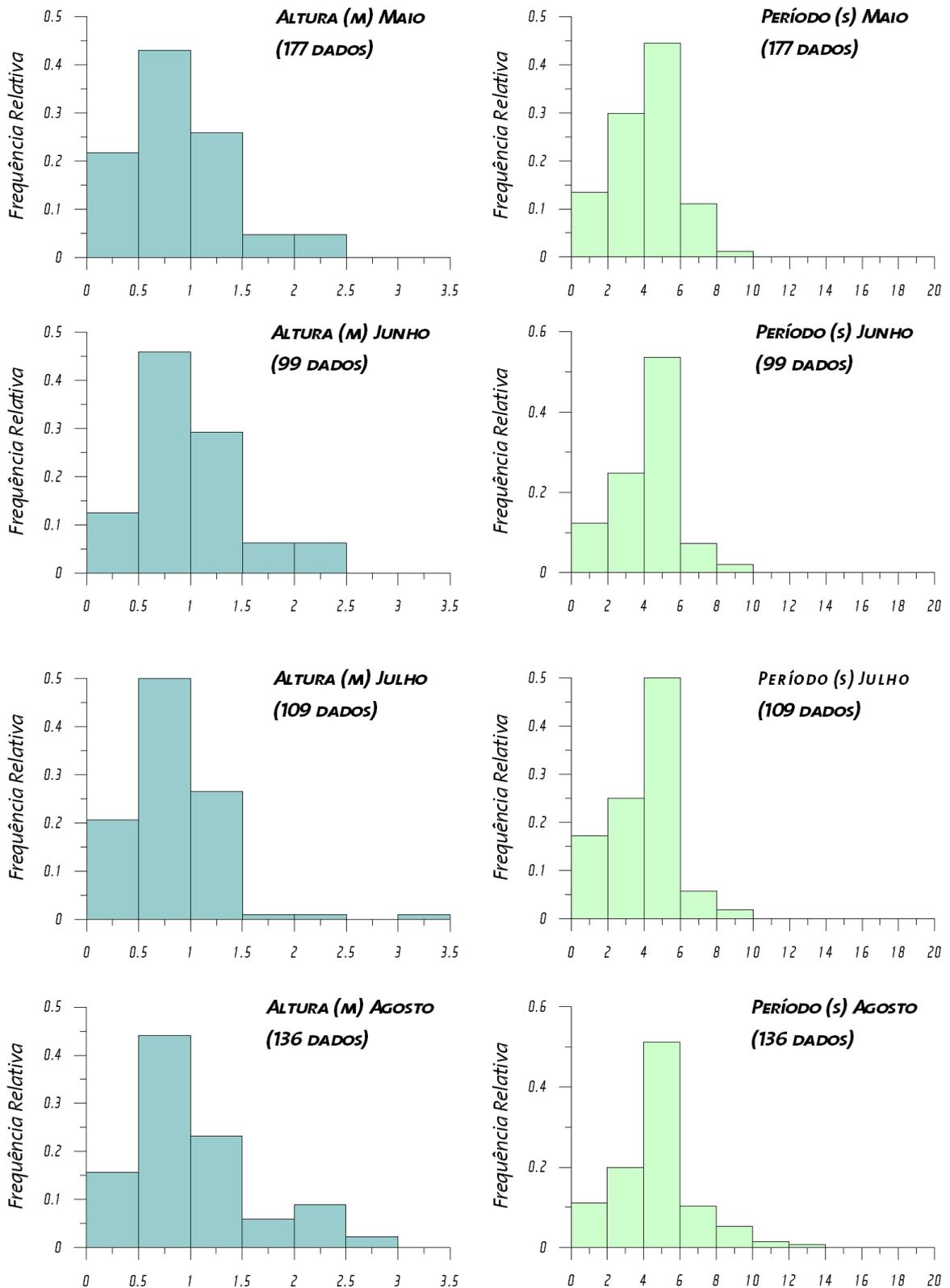
Neste estudo são utilizados alguns termos como vaga, marulho, mar local e *swell*. Entende-se por vaga aquelas ondas que ainda estão sofrendo influência do vento que as gerou; em outras palavras, ainda estão em suas áreas de geração. Os marulhos ou *swell* são aquelas ondas que não mais estão sob a influência do vento que as gerou, ou seja, estão fora da área de geração. Um mar local é caracterizado pelas ondas que estão sendo geradas pelo vento local (vagas).

A caracterização dos estados de mar é feita em função de três parâmetros: altura significativa ( $H_s$ ), direção e período de pico ( $T_p$ ). A altura significativa, tomada no domínio do tempo, é uma medida estatística obtida separando-se o registro de onda em três partes iguais e fazendo-se uma média da parte do registro onde estejam as maiores alturas. Corresponde, aproximadamente, à altura relatada através de observação visual por um observador experiente. A direção é o rumo seguido pela onda significativa e, a frequência de pico é aquela na qual a maior quantidade de energia da ondulação está concentrada.

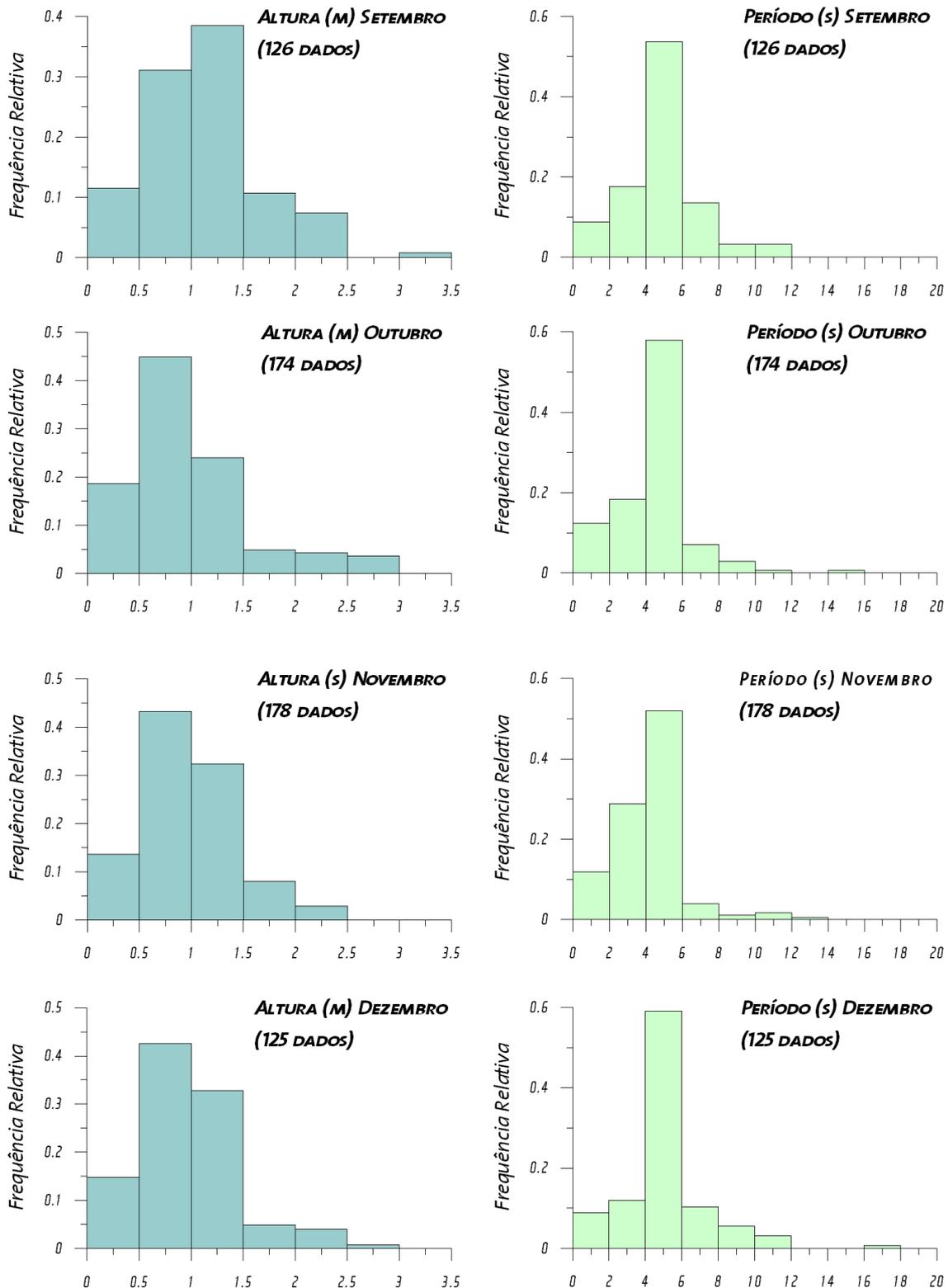
Nas Figuras 5.1.3-44, 5.1.3-45 e 5.1.3-46 são apresentados os histogramas de altura e período de ondas elaborados com os dados do BNDO. Em cada figura é também apresentado o número de dados amostrados em cada mês.



**Figura 5.1.3-44.** Histogramas de altura e período de ondas, para os meses de janeiro a abril, elaborados com os dados do BNDO.

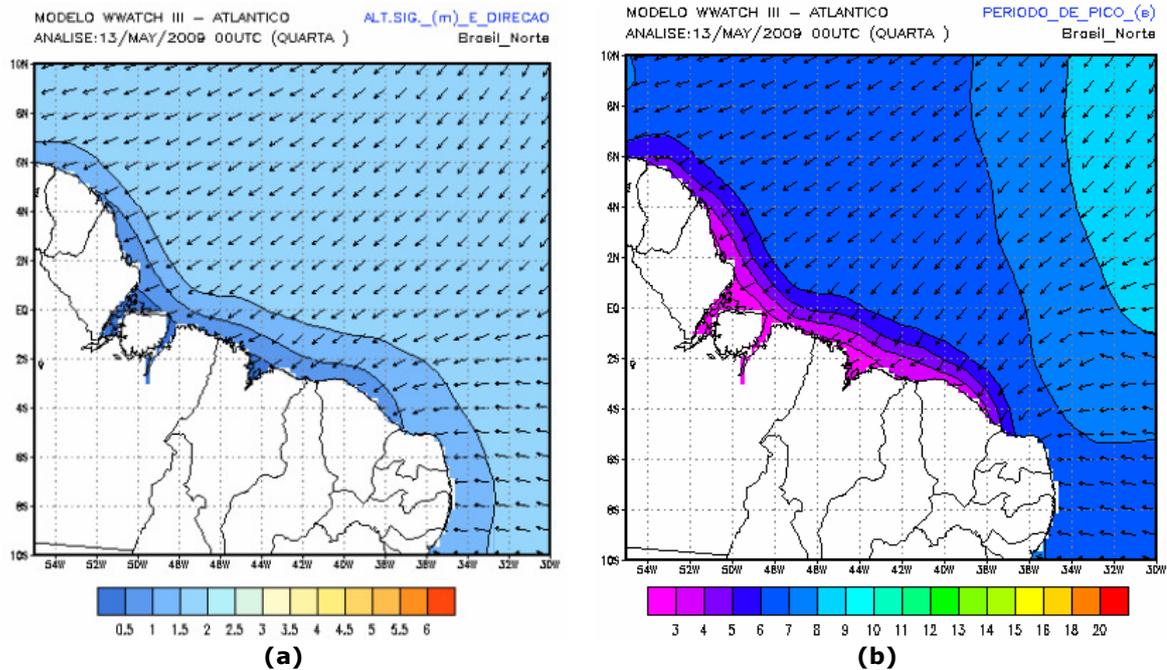


**Figura 5.1.3-45.** Histogramas de altura e período de ondas, para os meses de maio a agosto, elaborados com os dados do BNDO.



**Figura 5.1.3-46.** Histogramas de altura e período de ondas, para os meses de setembro a dezembro, elaborados com os dados do BNDO.

Observa-se que as classes de altura e de período mais freqüentes são de 0,5 a 1 m e de 4 a 6 s, respectivamente. Esta condição de mar, quando sob influência do vento local, pode ser observada na Figura 5.1.3-47.



**Figura 5.1.3-47.** Altura significativa (a) e período de pico (b) na costa norte do Brasil.

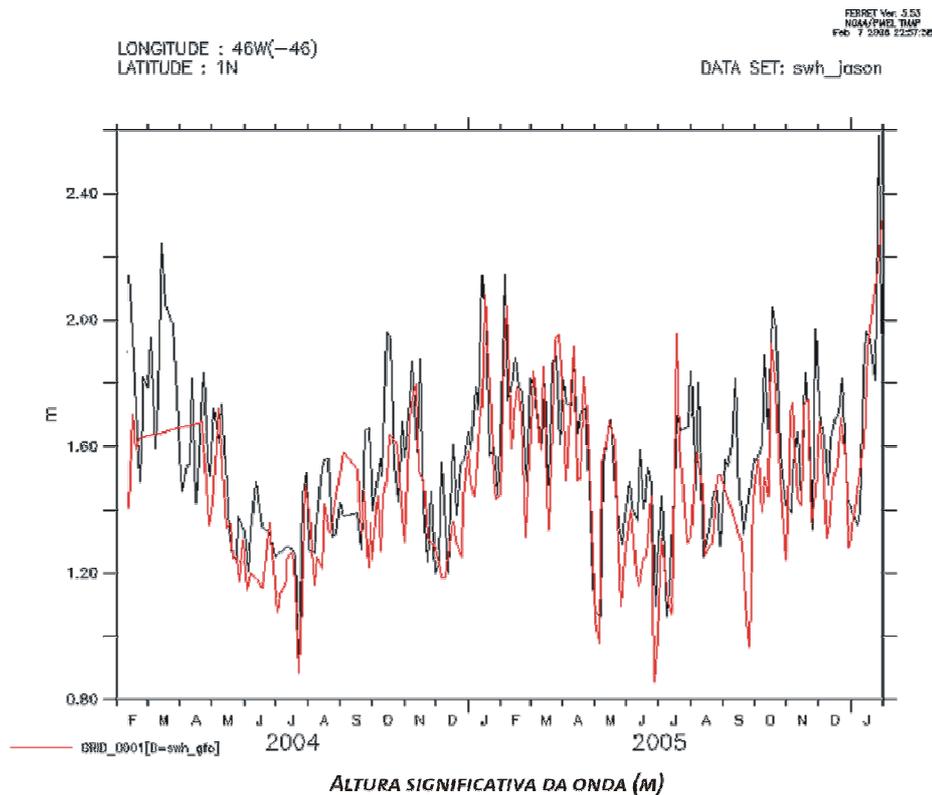
Fonte: ATLASUL.

Os dados do BNDO também permitem identificar a presença de ondulações maiores, chegando a 3,5 m de altura e 18 s de período. Essas ondas estão associadas a situações de *swell*, gerados por tempestades no Atlântico Norte.

A frequência de ocorrência desse tipo de situação é bastante variável anualmente, sendo que a maioria dos casos ocorre nos meses de agosto a outubro, com pico em setembro. Uma maior descrição desses fenômenos pode ser encontrada em PASCH e ÁVILA (1999) e RAPPAPORT (1999).

Os dados de Hs localizados em 1°N de latitude e 46°W de longitude, obtidos dos satélites JASON e GFO podem ilustrar o ciclo sazonal de alturas de ondas observadas na área dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17. Estes dados apresentam diferenças de alguns dias, devido aos diferentes ciclos de repetição de cada satélite (10 dias –JASON; 17 dias –GFO).

O ciclo sazonal, ilustrado na Figura 5.1.3-48, entre o verão de 2004 e o verão de 2005, se repete todos os anos.

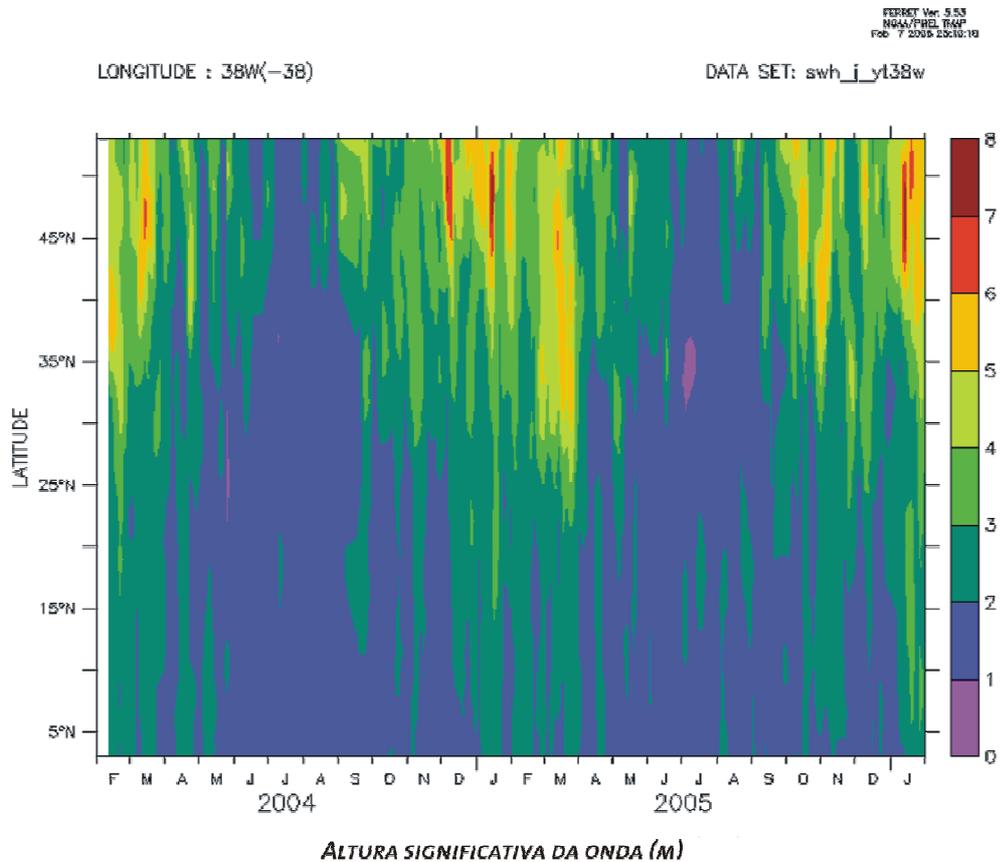


**Figura 5.1.3-48.** Série temporal de dados de altura significativa de onda entre fevereiro de 2004 e janeiro de 2006. Em vermelho está representado o satélite GFO e em preto o JASON.

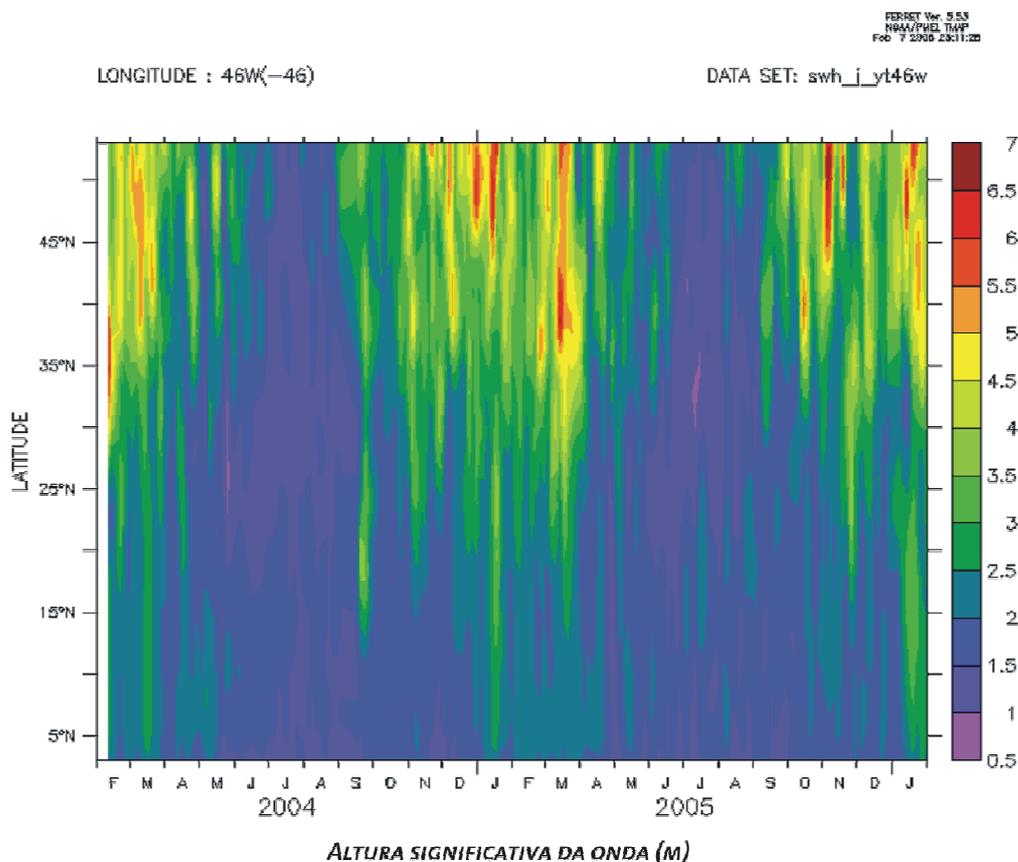
É possível notar que, no verão, as alturas significativas ( $H_s$ ) atingem no máximo 2,4 m, segundo os dados do JASON (preto) e GFO (vermelho), em janeiro e fevereiro.

Na Figura 5.1.3-49 e na Figura 5.1.3-50 são apresentadas seções meridionais com a evolução temporal da  $H_s$  nas longitudes  $38^\circ W$  e  $46^\circ W$ , respectivamente. Mais uma vez fica evidenciado o padrão sazonal, com ondas mais energéticas ocorrendo no período de verão (inverno no hemisfério norte).

Os resultados indicam que parte das ondas de verão mais intensas observadas na região de estudo está ligada às tempestades que ocorrem em regiões extratropicais do hemisfério norte nesta época do ano.

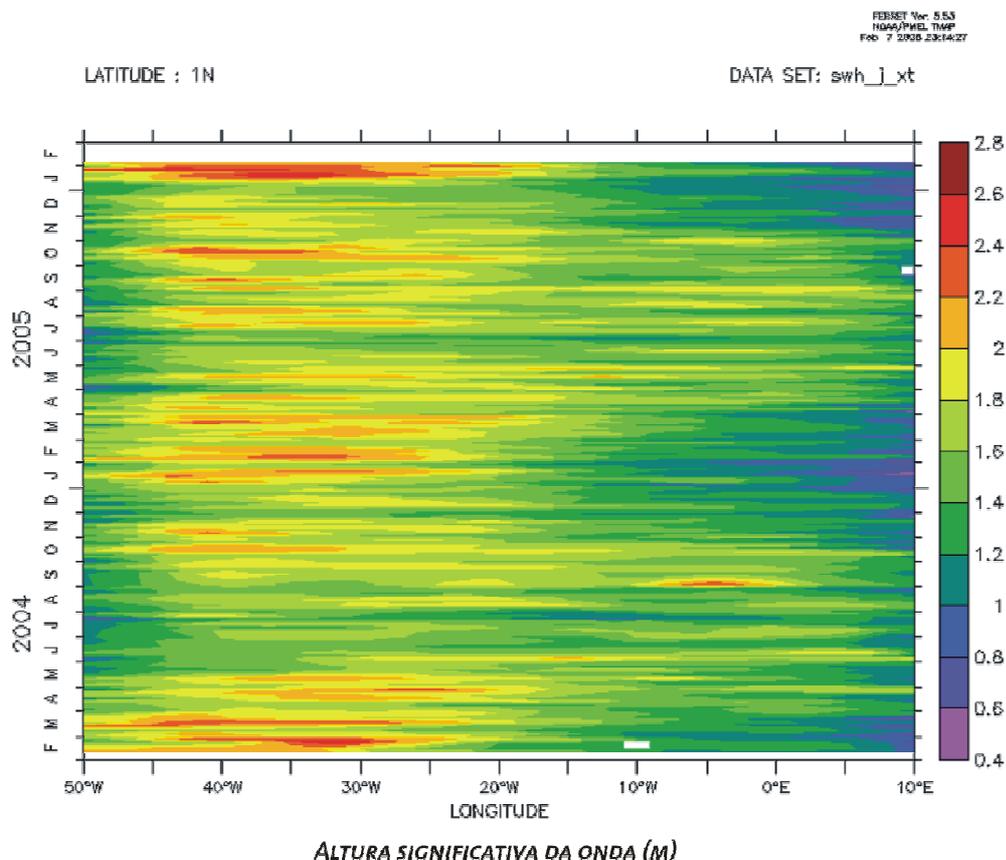


**Figura 5.1.3-49.** Tempo x Latitude, ilustrando o swell mais alto de verão observado em 38° W como tendo origem em regiões extratropicais no Atlântico Norte.



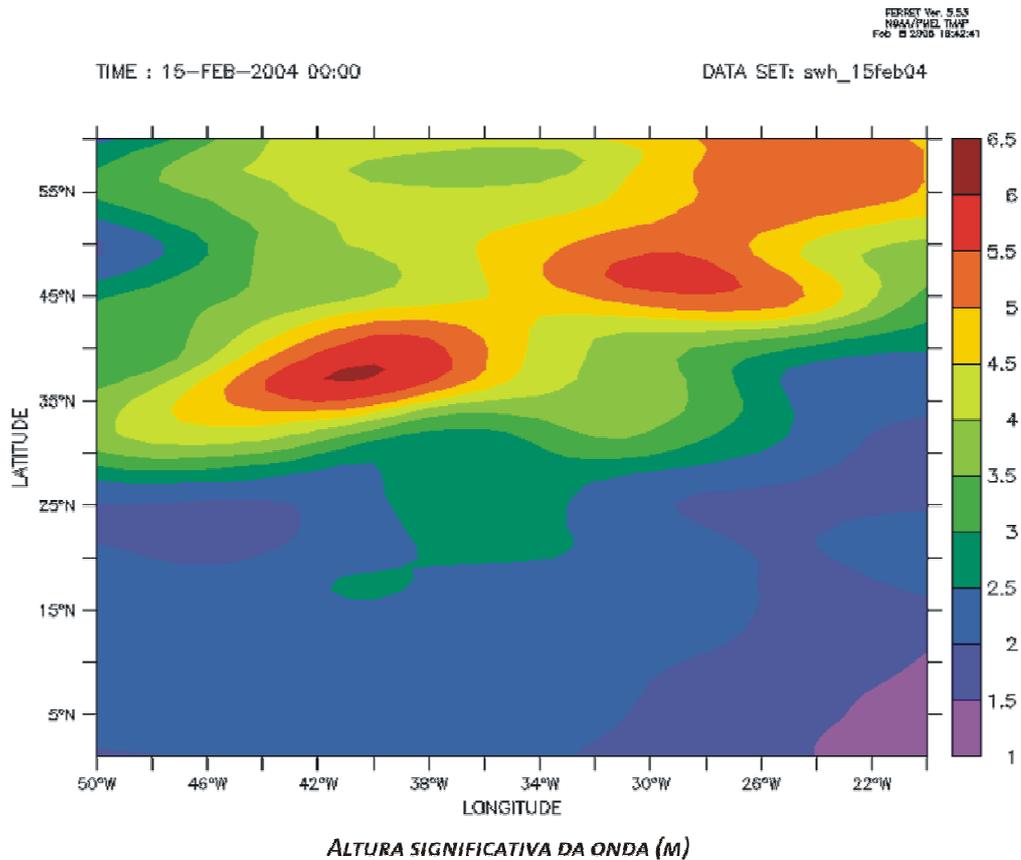
**Figura 5.1.3-50.** Tempo x latitude ilustrando o swell mais alto de verão observado em 46° W como tendo origem em regiões extratropicais do Atlântico Norte.

Na Figura 5.1.3-51 é apresentada uma seção zonal, com a evolução temporal da Hs sobre a latitude de 1° N. É possível observar a presença de um ciclo sazonal associado à migração da ZCIT. No verão, quando esta se encontra ao sul do equador, ventos mais intensos próximos a 35° W forçam ondas de mar local (*windsea*) e *swell* vindas de leste que atingem a região dos Blocos BM-PAMA-16 e 17.



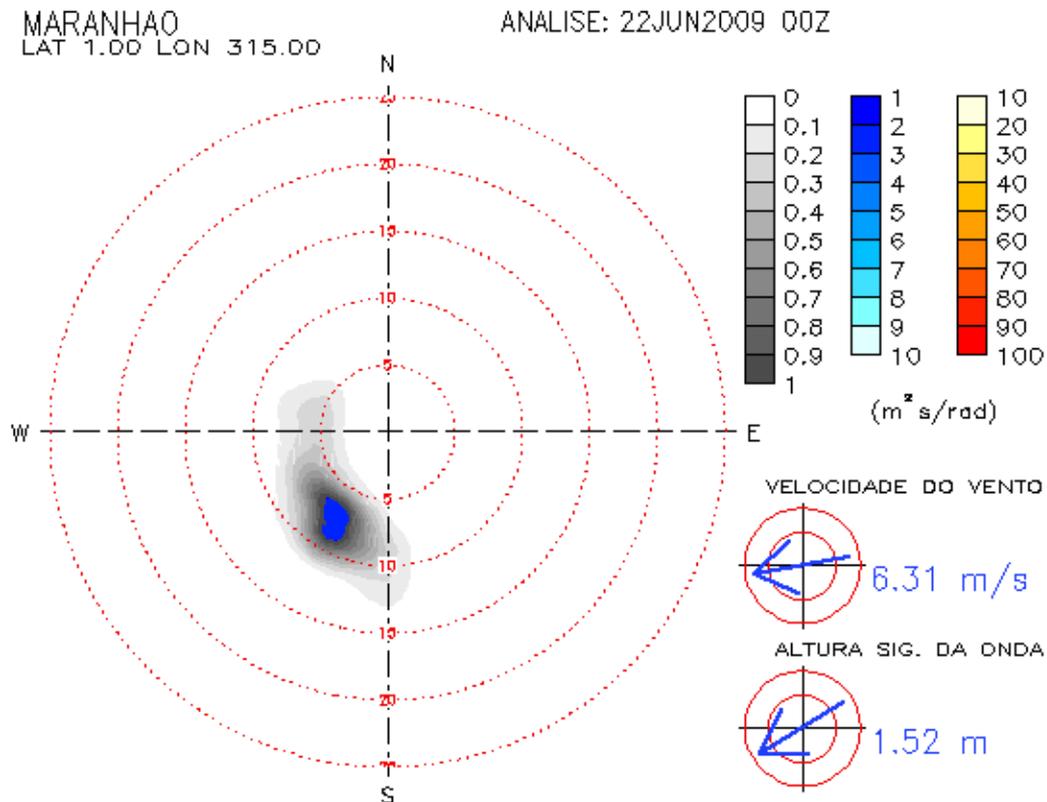
**Figura 5.1.3-51.** Tempo x Longitude ilustrando o swell mais alto de verão observado em 1° N, como tendo origem em regiões equatoriais a leste, centradas em 35° W.

Na Figura 5.1.3-52 apresenta-se a agitação marítima observada na bacia Norte do Atlântico em 15 de fevereiro de 2004, ilustrando a propagação de ondas geradas em uma tempestade no hemisfério norte indo em direção a região dos blocos, com Hs entre 2 e 2,5 m.



**Figura 5.1.3-52.** Mapa de altura de ondas para o dia 15 fev 2004.

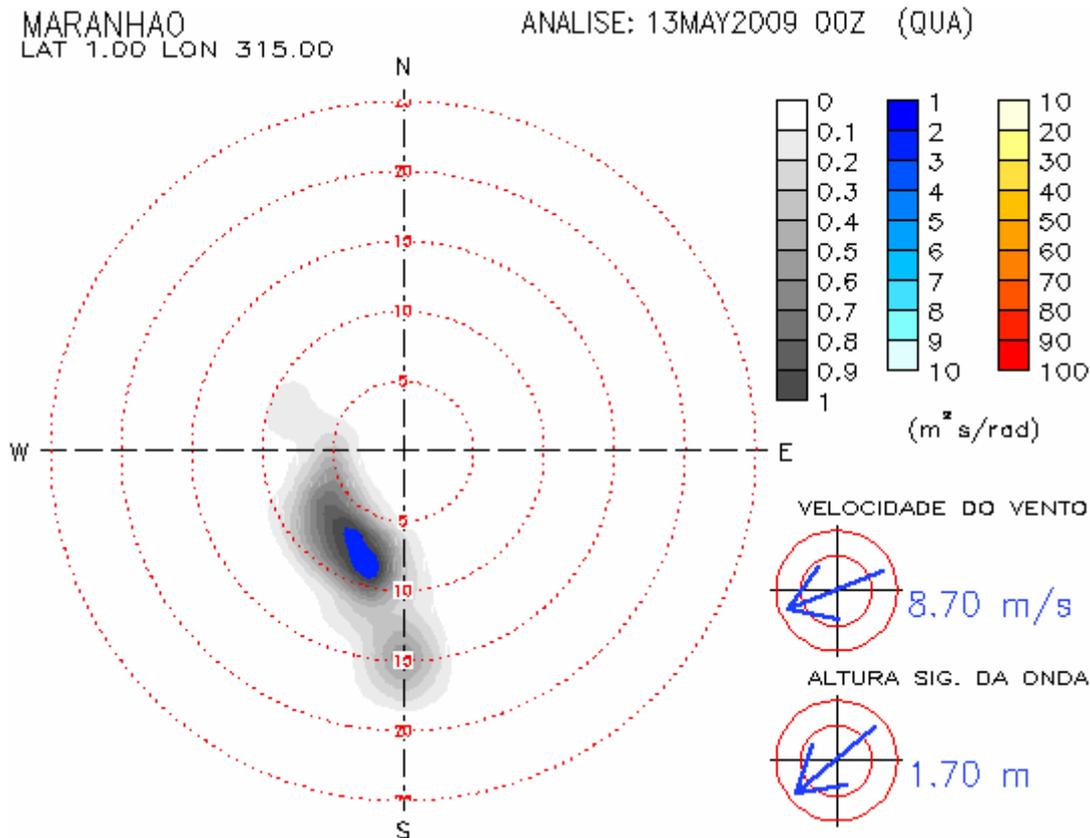
Na Figura 5.1.3-53 e na Figura 5.1.3-54 são apresentados os espectros polares oriundos do projeto ATLASUL, para região da Bacia Marítima Pará-Maranhão, exemplificando as condições de mar citadas anteriormente.



**Figura 5.1.3-53.** Espectro polar na região da Bacia Marítima do Pará-Maranhão mostrando a presença de ondas de NE com energia concentrada em períodos entre 6 e 9 s. Fonte: ATLASUL.

A paleta de cores apresentada na Figura 5.1.3-49 indica a energia presente nas ondas da região em um dado momento, a localização da energia indica a direção para a qual a energia está indo e os raios identificam os períodos das ondas. A partir do espectro da região oceânica ao largo da área de estudo verifica-se a presença de energia vinda de NE, com os períodos mais energéticos entre 6 e 9 s. Este espectro caracteriza bem a condição de mar sob influência das ondas geradas pelo vento local, no caso, os ventos alísios de NE.

Já a condição de mar apresentada na Figura 5.1.3-50, exemplifica a chegada de ondas com períodos mais longos, chegando a 18 s, vindas de N, supostamente geradas por uma tempestade no hemisfério norte. Também é possível observar energia vinda de E, com períodos mais curtos, associada aos ventos alísios.



**Figura 5.1.3-54.** Espectro polar na região da Bacia Marítima do Pará-Maranhão mostrando a presença de ondas de E, NE e N. Fonte: ATLASUL.

#### ◆ Condições Extremas do Regime Hidrodinâmico

Baseado nas análises de dados de ventos, ondas e correntes, pode-se inferir que o período chuvoso (janeiro a junho) é o que possui maior probabilidade de apresentar condições meteo-oceanográficas extremas, com relação ao clima de ondas. Quando a ZCIT atinge sua posição mais a S, o *swell* gerado por tempestades na região extratropical do Atlântico atinge a região dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 com Hs que podem chegar de 3,5 a 5m.

Contudo as maiores intensidades médias de vento são observadas no mês de setembro (7,53 m.s<sup>-1</sup>) sendo também o mês onde ocorreu a maior máxima absoluta, com ventos de 11,83 m.s<sup>-1</sup>. Este fato ocorre devido à intensificação dos ventos alíseos do quadrante E, gerando elevação nas alturas significativas de onda associadas ao mar local.

Com relação às correntes, verifica-se que a região sofre influência da CNB, apresentando fluxo preferencial para W/NW, com velocidades máximas que podem chegar a 2 m.s<sup>-1</sup> no período seco. Durante o período chuvoso a intensidade máxima observada foi de 1,75 m.s<sup>-1</sup>.

A maré na área dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 é classificada como semi-diurna, e apresenta amplitude máxima no mês de setembro, chegando a 122 cm de elevação da superfície do mar (Quadro 5.1.3-7).

**Quadro 5.1.3-7.** Resumo das condições extremas dos parâmetros ondas, correntes e vento para a área de estudo.

PARÂMETRO	CONDIÇÃO EXTREMA
Ondas	Hs = 5 m Tp = 18 s – Norte
Ventos	11,83 m.s <sup>-1</sup> – Leste
Correntes	2 m.s <sup>-1</sup> – Oeste/ Noroeste
Marés	122 cm de amplitude

Fonte: NOAA, NCEP, WOCE ([http://cmdac.oce.orst.edu/cmdac/woce\\_experiments/explist.htm](http://cmdac.oce.orst.edu/cmdac/woce_experiments/explist.htm)), Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras da FEMAR (2000).

#### ◆ Referências

Pir2/FUGRO. Caracterização Ambiental (Baseline) dos Blocos PAMA-M-591 e PAMA-M-624, Bacia do Pará-Maranhão. Junho de 2009. Versão 00.

Polito, P. S. Utilização de Dados de Altimetro em Oceanografia. In: Ronald Buss de Souza. (Org.). Oceanografia por Satélites. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, v. 1, p. 32-49.