

II.6 Diagnóstico ambiental

II.6.1 Meio Físico

II.6.1.1 Meteorologia e Oceanografia

A caracterização da Meteorologia e Oceanografia visa 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 e ampliar o conhecimento da Área de Estudo para perfuração marítima exploratória nos Blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

A Área de Estudo para o meio físico é detalhada no capítulo II.5 e compreende tanto a área da atividade como a área potencialmente afetada por derramamento acidental de óleo no mar em decorrência das atividades de perfuração exploratória nos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. Sendo assim, são caracterizadas as bacias sedimentares marítimas de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, enfatizando os resultados para a Bacia de Barreirinhas e, mais precisamente, para as proximidades dos blocos.

Para tanto, foram pesquisadas informações secundárias de bases regionais e globais, assim como dados coletados *in situ* analisados através de procedimentos estatísticos.

A Bacia de Barreirinhas localiza-se na margem equatorial brasileira, abrangendo parte da costa do Estado do Maranhão e a plataforma adjacente. Está limitada a noroeste pela Plataforma da Ilha de Santana, a leste pelo Alto de Tutóia e, a sul pela Plataforma de Sobradinho. Os blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 encontram-se a uma distância mínima aproximada de 150 km da costa (**Figura II.6.1.1- 1**).

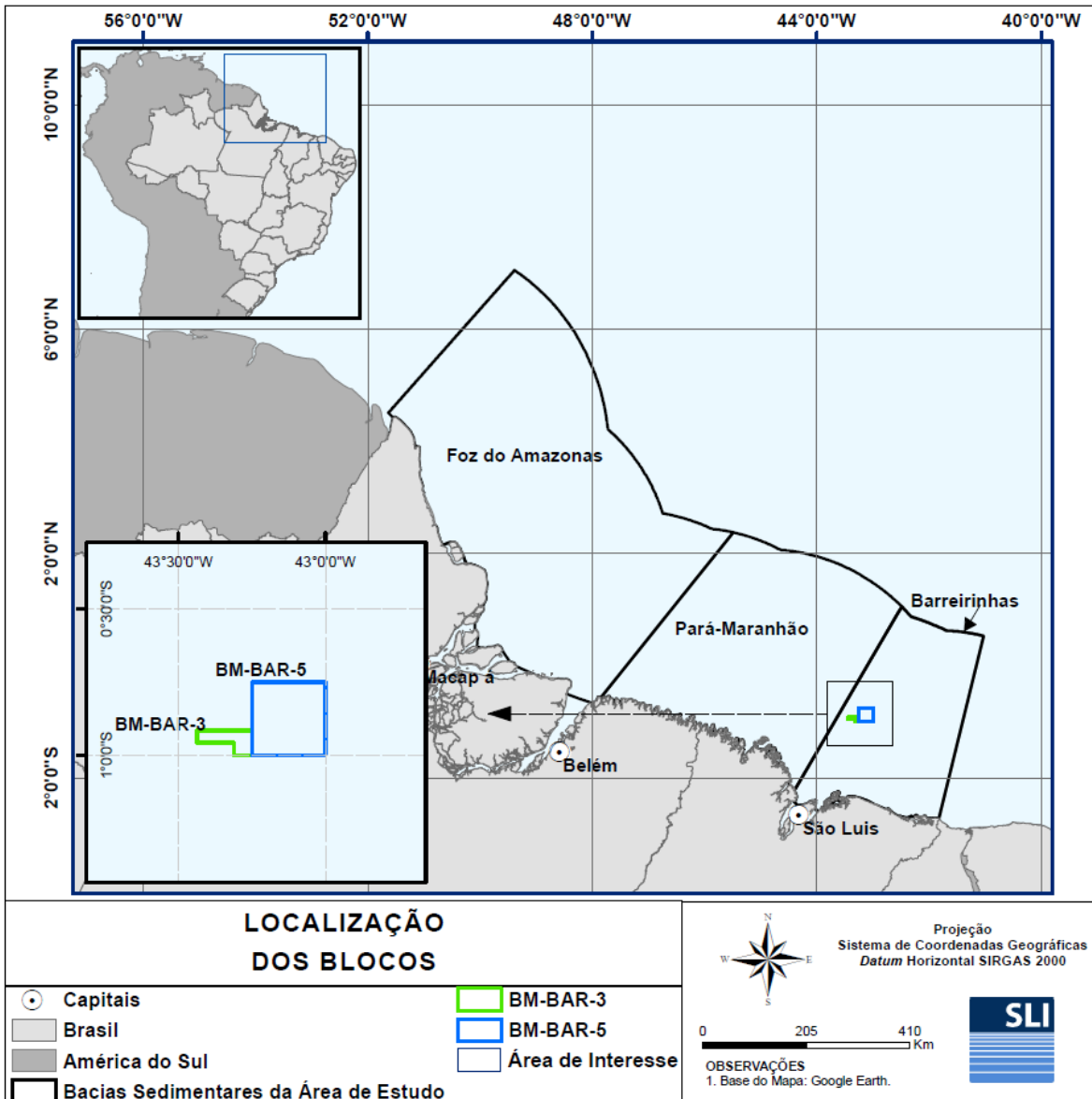


Figura II.6.1.1- 1 - Área de Estudo localizada nas bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas e, em destaque, os Blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5

II.6.1.1.1 Meteorologia

II.6.1.1.1.1 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.

Resultado da distribuição e variabilidade da circulação atmosférica, os sistemas meteorológicos dominantes no continente 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). E sobre o Oceano Atlântico Tropical ocorre a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), de extrema importância no regime de chuvas das Regiões Norte e Nordeste do Brasil (REBOITA *et. al.*, 2010).

Os sistemas de larga escala que influenciam a dinâmica atmosférica na Área de Estudo são: i) Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); ii) El Niño-Oscilação Sul (ENOS); iii) Dipolo do Atlântico e iv) Alta da Bolívia (AB). Conjuntamente, um sistema atmosférico de mesoescala que se destaca e está associado à alguns desses mencionados são as Linhas de Instabilidade (LI).

Já o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) possui escala global e é associado a um forte acoplamento oceano-atmosfera que ocorre 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. O El Niño ocorre devido ao aquecimento (anômalo) das águas superficiais no Pacífico Tropical, com consequentes mudanças na dinâmica atmosférica (ARAGÃO, 1997), e a Oscilação Sul representa o gradiente de pressão ao nível do mar entre o Pacífico

Central (Taiti) e o Pacífico Oeste (Darwin/Austrália) (RI PRO06, 2007 *apud* PETROBRAS, 2017).

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).

De acordo com Stull (2017), na faixa equatorial, devido à radiação solar, o aquecimento intenso provoca regiões de baixas pressões (B) na superfície, promovendo uma ascensão dos ventos. Estes são resfriados em altitudes maiores, perdendo umidade por condensação e precipitação (nuvens na **Figura II.6.1.1.1.1- 1**), deslocando-se em níveis mais altos num sentido contrário, em direção às regiões de alta pressão (A), também conhecidas por Zona dos Cinturões Anticiclônicos (ZCA) (STULL, 2017). Nas ZCA's ocorre um movimento subsidente, aquecendo-se e, conjuntamente ao movimento rotacional planetário, formam-se os ventos Alísios (**Figura II.6.1.1.1.1- 2**) que correm de leste para oeste, formando-se assim uma célula a qual é denominada Célula de Hadley.

O El Niño 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, e conseqüentemente, os ventos Alísios de NE se tornam mais fracos (FISCH *et. al.*, 1996).

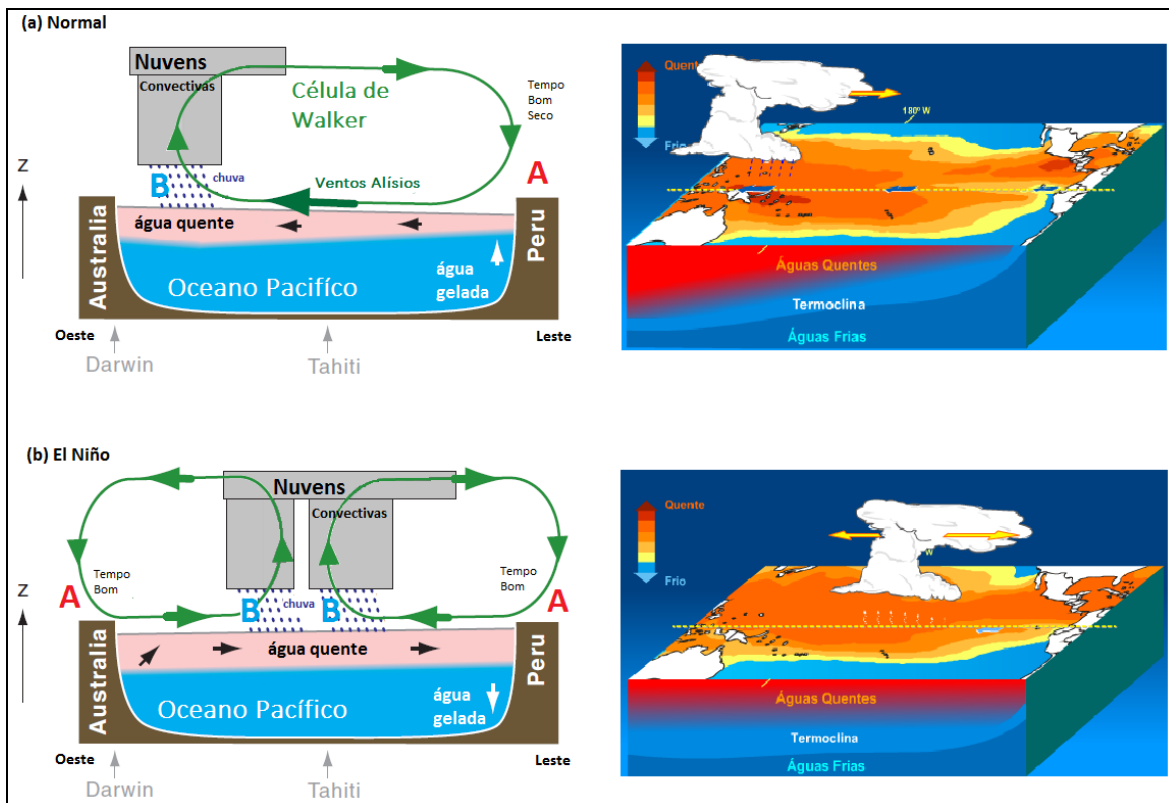


Figura II.6.1.1.1- 3 – Célula de Walker em condições normais (a) e deslocada devido a anomalia do El Niño (b).

Fonte: à esquerda Stull (2017) e à direita INPE (2019). Adaptados por SLI.

O oposto ocorre em períodos de La Niña, associada ao resfriamento das águas do Pacífico. Em 30 anos de estudo, foi observado o El Niño mais intenso entre os anos de 1997 e 1998, e a La Niña de maior duração ocorreu entre os anos de 1998 e 2001 (KAYANO *et al.*, 2016).

O fenômeno de macroescala mais importante para a instabilidade 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 confluência de ventos Alísios oriundos dos dois hemisférios, gerando intensa atividade convectiva. A ZCIT caracteriza-se por oscilar no Oceano Atlântico entre as latitudes de 8° N no verão do Hemisfério Norte, se deslocando para sul no

verão do Hemisfério Sul, atingindo a latitude de 1° S em abril (FERREIRA, 1996). Sua migração acompanha a zona de baixa pressão equatorial, conforme ilustrado na **Figura II.6.1.1.1- 4**.

Como a ZCIT representa a convergência dos ventos Alísios dos dois hemisférios terrestres, seu deslocamento mais para sul favorece a predominância na área de estudo de ventos Alísios de Nordeste, enquanto que 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, sendo que seus mecanismos de controle ainda são muito discutidos (MARTIN *et al.* 1998).

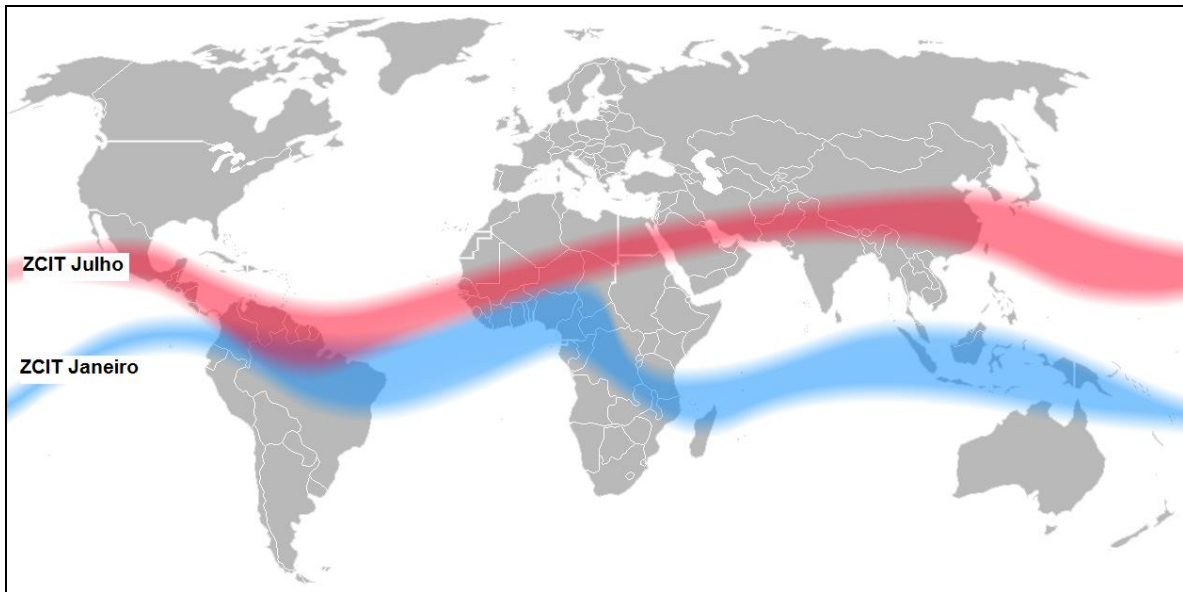


Figura II.6.1.1.1- 4 - Posicionamento da ZCIT nos meses de janeiro e julho.

Fonte: IAG (2011).

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, em anos menos chuvosos na região Amazônica, os centros da AB são menos intensos e, durante ocorrência de El Niño, a AB se desloca para oeste de sua posição climatológica.

O **Dipolo do Atlântico** está associado a mudanças anômalas na temperatura da superfície do mar (TSM) do oceano Atlântico Tropical, que influencia a posição da ZCIT e a precipitação no Nordeste do Brasil. Em anos nos quais a TSM está mais alta no Atlântico Tropical Sul e mais baixa no Atlântico Tropical Norte, observa-se alterações sobre a pressão e ventos, resultando totais pluviométricos acima da média sobre a área mais ao norte da Região Nordeste (HASTENRATH and HELLER, 1977 *apud* NOBRE, 2014).

As **Linhas de Instabilidade (LI)** são caracterizadas por grandes conglomerados de nuvens Cumulonimbus formadas devido à circulação de brisa marítima e ao aquecimento terrestre, com variabilidade diurna (CAVALCANTI *et al.*, 2009). 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. Posicionam-se ao sul da ZCIT, sendo que o período de maior ocorrência é a época em que a ZCIT encontra-se mais ao norte (COHEN *et al.*, 1989 *apud* REBOITA *et al.*, 2010).

II.6.1.1.1.2 Caracterização dos fenômenos de mesoescala

A caracterização meteorológica de mesoescala da região das Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para o entorno dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, baseou-se na análise e interpretação dos dados das seguintes fontes:

- Normais climatológicas de temperatura, precipitação, evaporação, umidade, pressão atmosférica e insolação, obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações de Macapá-AP, São Luís-MA e Belém-PA, para o período de 1981 a 2010;
- Dados de temperatura do ar, precipitação, pressão atmosférica e umidade relativa na estação do INMET de Farol de Santana-MA (PETROBRAS, 2017);
- 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);
- Referências bibliográficas existentes para a região.

As normais climatológicas do INMET representam um longo período, mas são apresentadas como dados médios mensais. Para complementar foram avaliados os dados horários da estação do INMET de Farol de Santana-MA.

Os dados de reanálise do NCEP/NCAR foram incluídos para representar a caracterização da modelagem hidrodinâmica. A grade dos dados de Temperatura e Pressão possui resolução de $1,9^\circ \times 1,9^\circ$ e a grade dos dados de Vento, Umidade Relativa e Precipitação possui resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$.

A **Tabela II.6.1.1.1.2- 1** e **Tabela II.6.1.1.1.2- 2** apresenta cada uma das fontes de dados e estudos utilizados ou citados nas caracterizações com:

- Referência ou nome pela qual a fonte de dados ou estudo é citada;
- Variáveis ou parâmetros meteorológicos e oceanográficos da fonte de dados;
- Períodos de observação ou abrangência temporal;
- Localização ou área de abrangência.

A localização das fontes de dados citadas acima estão dispostas no mapa a seguir (**Figura II.6.1.1.1.2- 1**).

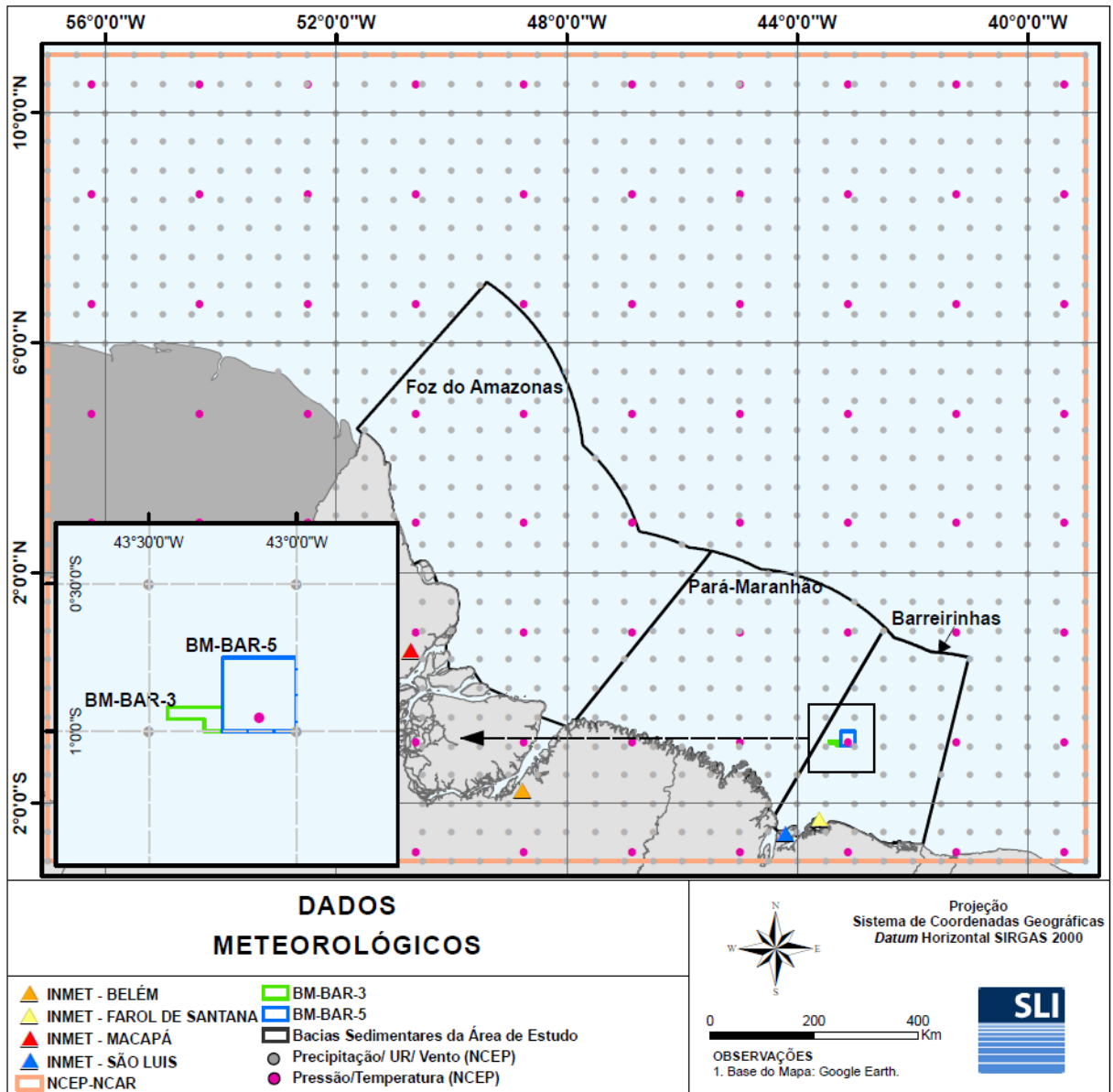


Figura II.6.1.1.1.2- 1- Localização das fontes de dados usados nas análises meteorológicas.

Ressalta-se que as duas séries de normais climatológicas apresentadas na caracterização meteorológica (INMET e NCEP) são elaboradas com duas diferentes classes de dados: medições e resultados de modelo. Devido aos diferentes erros associados a cada tipo de dado, comparações entre os valores exatos devem ser feitas com ressalvas.

Tabela II.6.1.1.2- 1 - Resumo dos parâmetros meteorológicos analisados com distribuição pontual (datum SIRGAS2000).

Fonte	Parâmetro	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Resol. Temporal	Período
INMET - São Luís-MA	Temperatura do Ar	2,52° S	44,21° W	55	3 vezes ao dia	1981 a 2010
	Precipitação					
	Evaporação					
	Umidade Relativa					
	Pressão Atmosférica					
	Insolação					
	Velocidade e direção de vento					
INMET – Belém-PA	Temperatura do Ar	1,41° S	48,44° W	21	3 vezes ao dia	1981 a 2010
	Precipitação					
	Evaporação					
	Umidade Relativa					
	Pressão Atmosférica					
	Insolação					
	Velocidade e direção de vento					
INMET – Macapá-AP	Temperatura do Ar	0,04° N	51,09° W	17	3 vezes ao dia	1981 a 2010
	Precipitação					
	Evaporação					
	Umidade Relativa					
	Pressão Atmosférica					
	Insolação					
	Velocidade e direção de vento					
INMET – Farol de Santana-MA	Temperatura do Ar	2,27 °S	43,62° W-	10	Dados horários	novembro de 2008 a dezembro de 2010
	Precipitação					
	Umidade Relativa					
	Pressão Atmosférica					

Fonte	Parâmetro	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Resol. Temporal	Período
NCEP/NCAR	Temperatura do Ar	0,9524° S	43,125° W	2	Dados diários	janeiro de 1979 a dezembro de 2018;
	Precipitação			superfície		
	Umidade Relativa			2		
	Pressão Atmosférica			superfície		
	Ventos			10		

Tabela II.6.1.1.1.2- 2 Resumo dos parâmetros meteorológicos analisados com distribuição espacial (datum SIRGAS2000).

Fonte	Parâmetro	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Resol. Temporal	Período
NCEP/NCAR	Temperatura do Ar	11° N a 3° S	57° W a 39° W	2	Dados diários	janeiro de 1979 a dezembro de 2018;
	Precipitação			superfície		
	Umidade Relativa			2		
	Pressão Atmosférica			superfície		

II.6.1.1.1.2.1 *Temperatura*

Os valores médios de temperatura, segundo os dados climatológicos do INMET para as estações de Macapá-AP, São Luís-MA e Belém-PA, de 1981 a 2010 (**Figura II.6.1.1.1.2.1- 1**), apresentaram um padrão esperado para regiões próximas a linha do Equador. As estações climáticas nestas três estações não se apresentam bem definidas quando o referencial é variação de temperatura, com médias de junho, no inverno, similares às de fevereiro, no verão. O mês de outubro é, em média, o mais quente para a estação de Macapá-AP (28,5°C), enquanto que novembro é o mês mais quente para as estações de São Luís-MA (27,5°C) e Belém-PA (27,1°C).

O mês de março é, em média, o mais frio para a estação de São Luís-MA (26,1°C), enquanto que fevereiro é o mês mais frio para as estações de Macapá-AP (26,0°C) e Belém-PA (25,8°C).

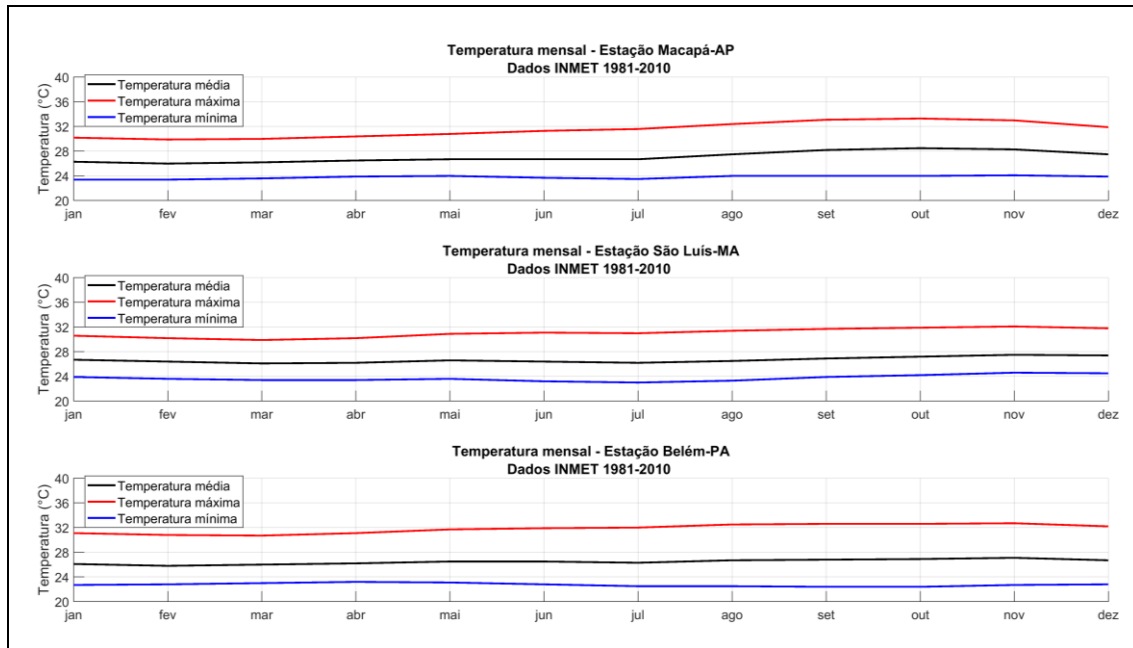


Figura II.6.1.1.2.1- 1 - Temperatura média nas estações de Macapá-AP, São Luís-MA e Belém-PA (1981 a 2010).

Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da temperatura do ar da região das Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para o entorno dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, na **Figura II.6.1.1.2.1- 2** e na **Figura II.6.1.1.2.1- 3** são apresentadas médias sazonais a 2 metros de altitude, obtidos a partir das Reanálises II do NCEP. A variação sazonal é pequena, com amplitude de cerca de 1,0 °C. Para manter a coerência dos dados apresentados, os dados de temperatura do ar também foram separados em período seco (junho a novembro) e período chuvoso (dezembro a maio).

Como observado nas figuras a seguir, no período chuvoso (**Figura II.6.1.1.2.1- 2**) há um aumento da temperatura em direção a sudeste da região analisada enquanto no período seco (**Figura II.6.1.1.2.1- 3**), o aumento da temperatura ocorre na direção noroeste. Em ambos os períodos, a região do bloco BM-BAR-3 e BM-BAR-5 se encontra com temperaturas médias próximas a 27,4°C.

TEMPERATURA (°C) | PERÍODO CHUVOSO

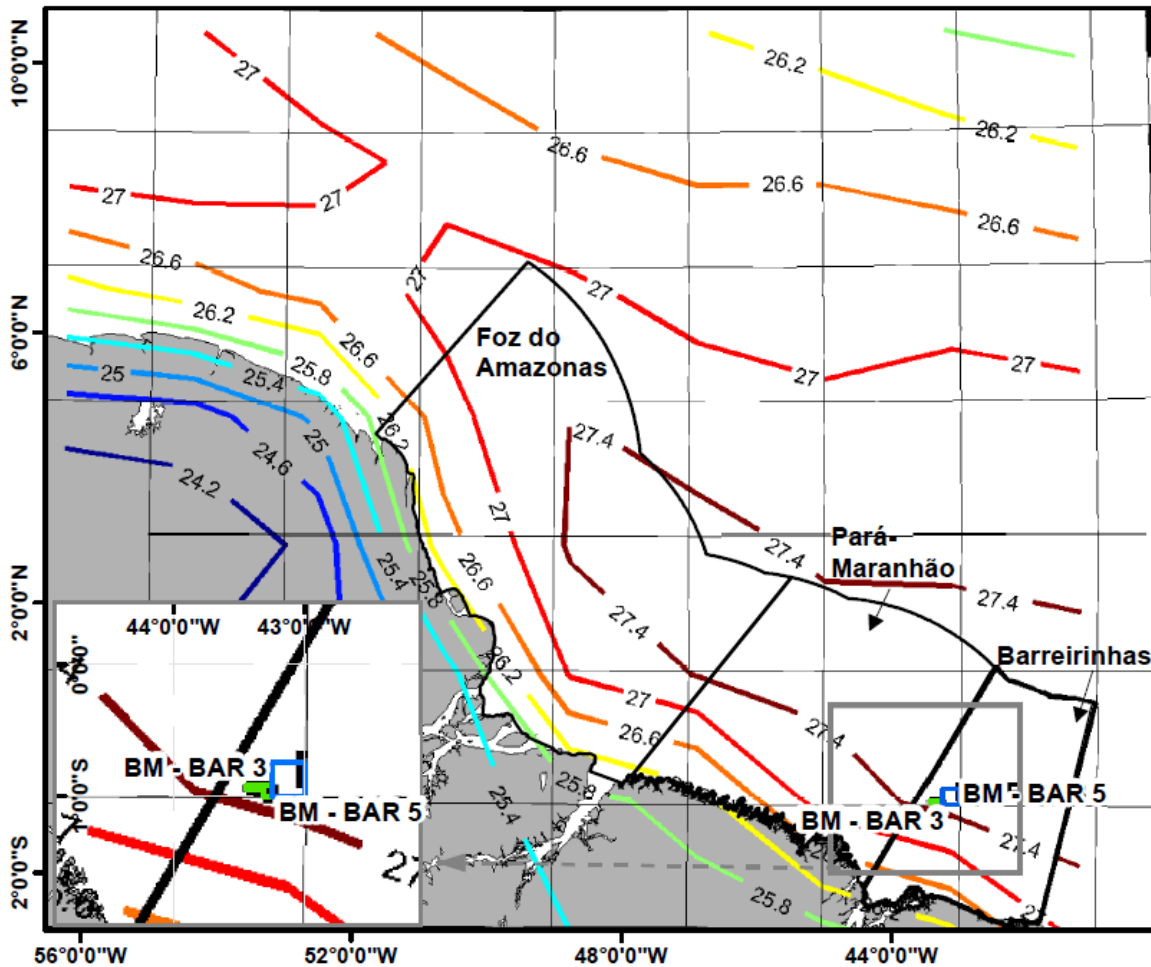


Figura II.6.1.1.1.2.1- 2 - Temperatura média do ar (°C) nas Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 (polígono verde) e BM-BAR-5 (polígono azul), no período chuvoso (dezembro a maio).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

TEMPERATURA (°C) | PERÍODO SECO

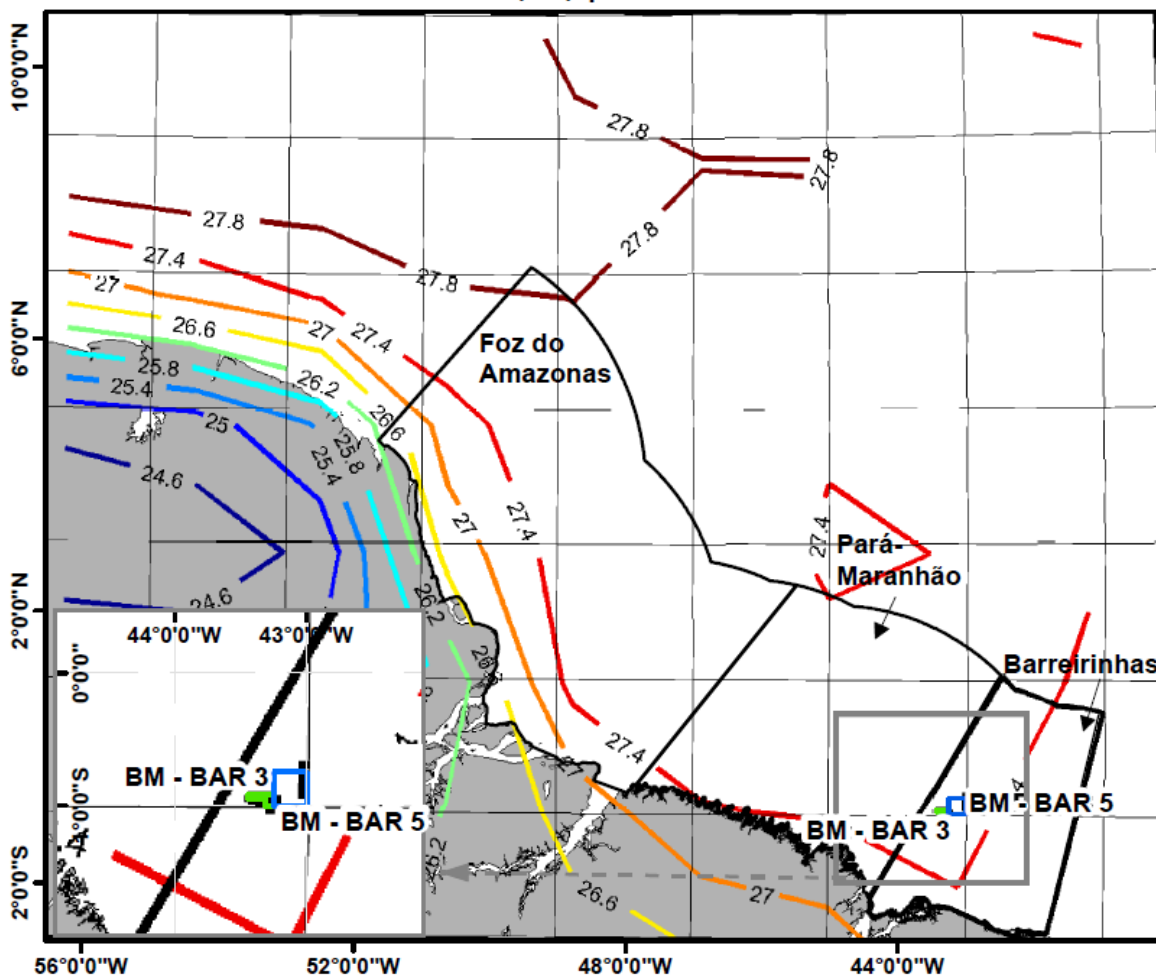


Figura II.6.1.1.1.2.1- 3 - Temperatura média do ar (°C) nas Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 (polígono verde) e BM-BAR-5 (polígono azul), no período seco (junho a novembro).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

A seguir, são apresentadas as temperaturas médias, máximas e mínimas mensais nas proximidades dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, elaboradas com os resultados do NCEP de 1979 a 2018 (Figura II.6.1.1.1.2.1- 4).

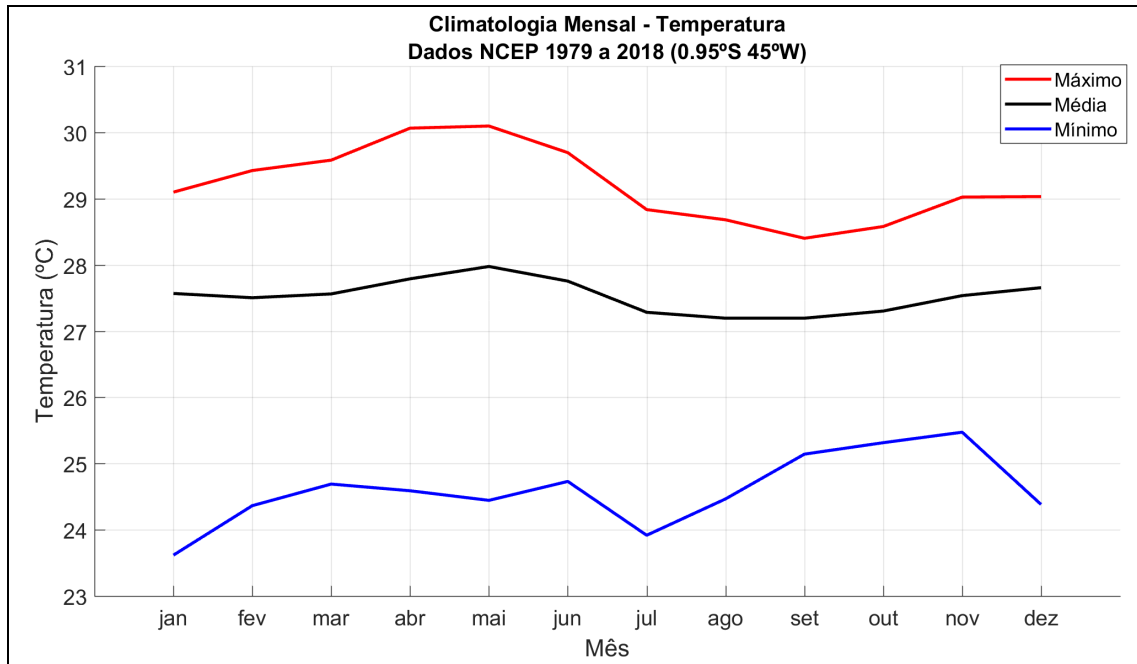


Figura II.6.1.1.2.1- 4 - Temperaturas médias, máximas e mínimas do ar sobre os blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 de 1979 a 2018 com base na Reanálise II do NCEP.

Observa-se novamente como esse parâmetro possui uma homogeneidade na região ao longo do ano. A temperatura média máxima ocorre no mês de maio (27,98°C) e a mínima no mês de agosto (27,19°C), e a amplitude anual da média mensal de temperatura do ar é de aproximadamente 0,78°C.

Para análise da variabilidade da temperatura na região próxima aos Blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 em maior frequência amostral, na **Figura II.6.1.1.2.1 - 5** é apresentada toda a série temporal dos dados da estação do INMET de Farol de Santana - MA, no período de novembro de 2008 a dezembro de 2010.

Para verificação de eventos extremos, foram adotados dois limites em torno da média (27,82°C), um inferior (23,10°C) e outro superior (32,10°C) demonstrando que 99% dos resultados encontram-se dentro destes limites, sendo os eventos extremos representados por todo aquele que ultrapassa os limites inferior e posterior. Estes eventos serão discutidos no item **II.6.1.1.1.5**.

Como esperado, os dados apresentam tanto variações de alta frequência, da ordem de 1 dia, provocadas pelo aquecimento solar diário, como as variações de

mais baixa frequência (período de 1 ano), associada aos ciclos sazonais (verão e inverno).

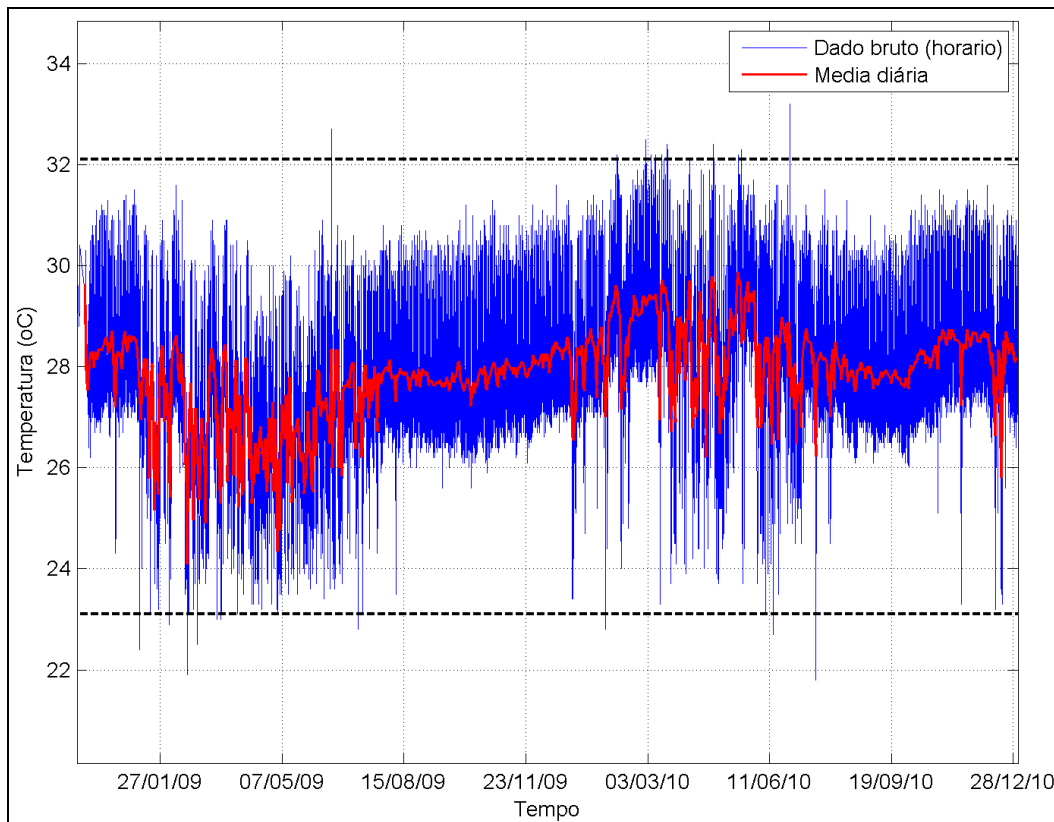


Figura II.6.1.1.1.2.1 - 5 - Série temporal de temperatura do ar na estação de Farol de Santana – MA, para o período entre novembro de 2008 e dezembro de 2010. A linha central (vermelha) representa a média de temperatura diária, e as linhas pretas correspondem ao percentil 99% superior e inferior.

Fonte: Petrobras (2017).

Na **Figura II.6.1.1.1.2.1- 6** é apresentada a análise espectral da série de temperatura do ar da estação do INMET de Farol de Santana-MA, para avaliação da variabilidade desta variável em maior frequência amostral.

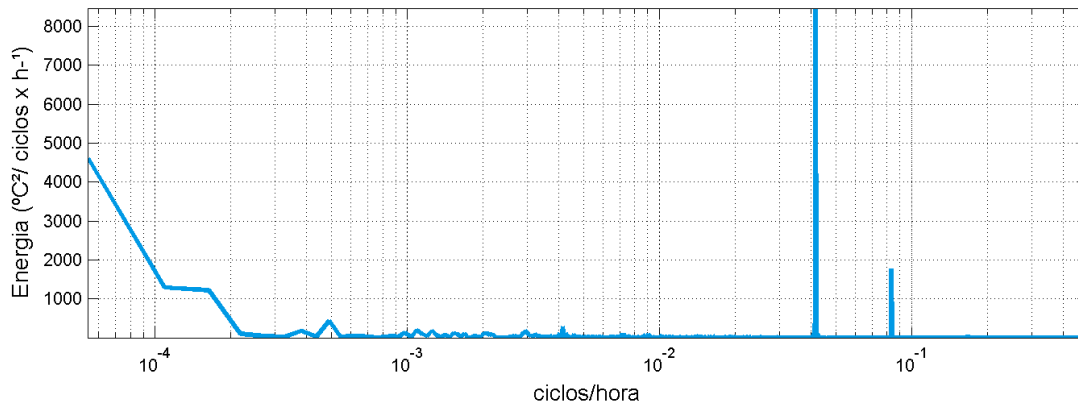


Figura II.6.1.1.1.2.1- 6 - Análise espectral de temperatura do ar na estação de Farol de Santana – MA.

Fonte: Petrobras (2017).

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.

II.6.1.1.1.2.2 Precipitação

Na Região Norte, a homogeneidade espacial e temporal observada na temperatura não se aplica à precipitação. 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 basicamente em dois períodos: o chuvoso e o 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 *apud* PETROBRAS, 2017).

Os valores médios de precipitação, segundo os dados climatológicos do INMET para as estações de Macapá-AP, São Luís-MA e Belém-PA, de 1981 a 2010 (**Figura II.6.1.1.1.2.2- 1**), apresentam uma sazonalidade bem definida. São observadas maiores precipitações no período compreendido entre janeiro e junho para as estações de Macapá-AP e São Luís-MA, e, entre dezembro e maio, para a

estação de Belém-PA. Alternativamente, os meses com nível de precipitação mais baixo foram de julho a dezembro para as estações de Macapá-AP e São Luís-MA e, de junho a novembro, para Belém-PA.

Os maiores valores de precipitação ocorreram no mês de março para Macapá-AP (394,2 mm), São Luís-MA (462,1 mm) e Belém-PA (450,3 mm). Os menores valores de precipitação ocorreram nos meses de setembro para Macapá (28 mm), outubro para São Luís-MA (4,7 mm) e novembro para Belém-PA (127,8 mm). A estação de Belém-PA aparece como a mais chuvosa durante os período de estiagem.

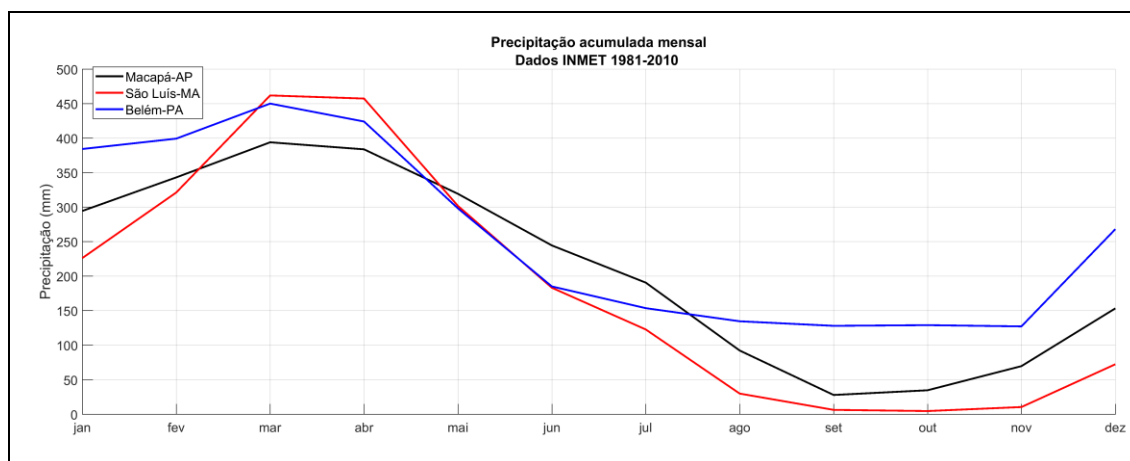


Figura II.6.1.1.1.2.2- 1 - Precipitação nas estações de São Luís – MA, Belém-PA e Macapá-AP (1981 a 2010).

Fonte: INMET.

As variações espaciais e sazonais da precipitação na região das Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para o entorno dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, estão apresentadas na **Figura II.6.1.1.1.2.2- 2** e **Figura II.6.1.1.1.2.2- 3**.

No primeiro semestre do ano (período chuvoso), a área de maior precipitação encontra-se no sudeste da região considerada, sobre os blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, enquanto no segundo semestre (período seco) a área de maior precipitação se desloca para nordeste. Ressalta-se que 1 mm corresponde a 1 Kg/m². A precipitação na região dos blocos é próxima de 400 kg/m² no período

chuvoso – dezembro a maio – e cerca de 110 kg/m² no período seco – junho a novembro.

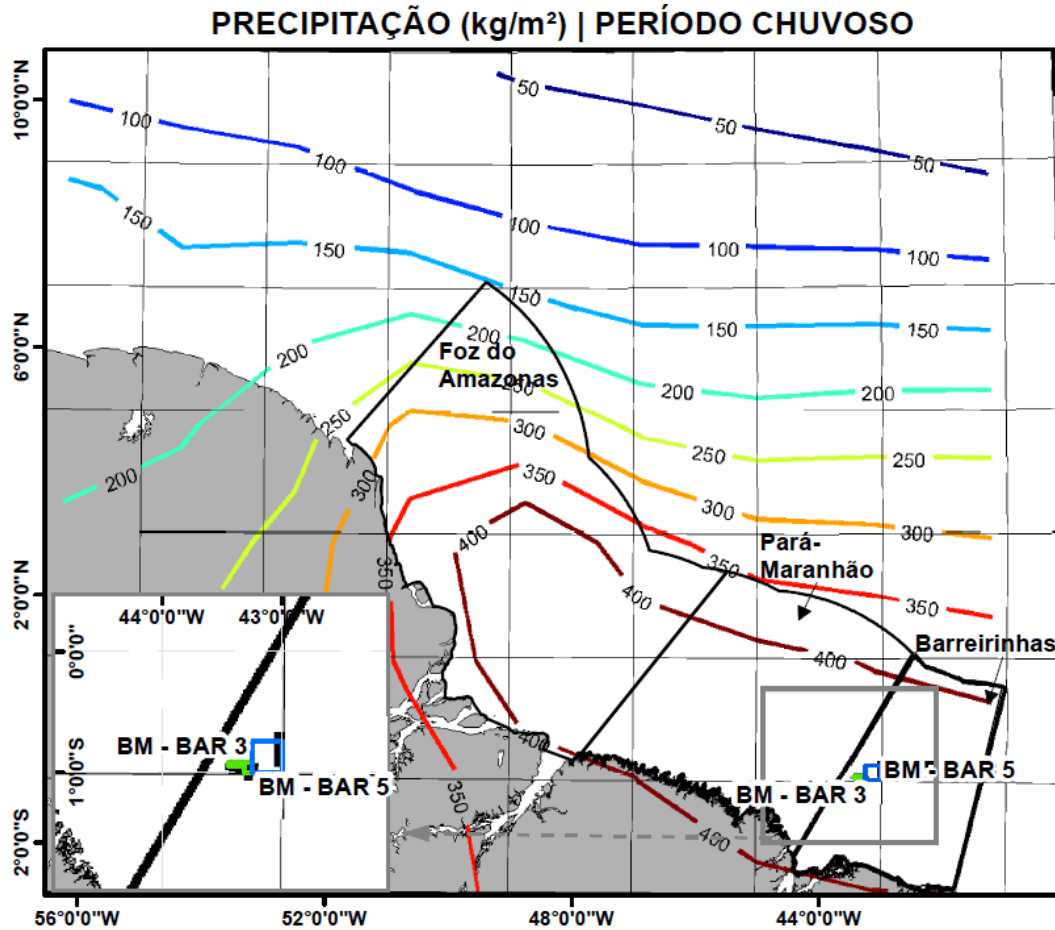


Figura II.6.1.1.2.2- 2 - Precipitação (Kg/m²) nas Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 (polígono verde) e BM-BAR-5 (polígono azul), no período chuvoso (dezembro a maio).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

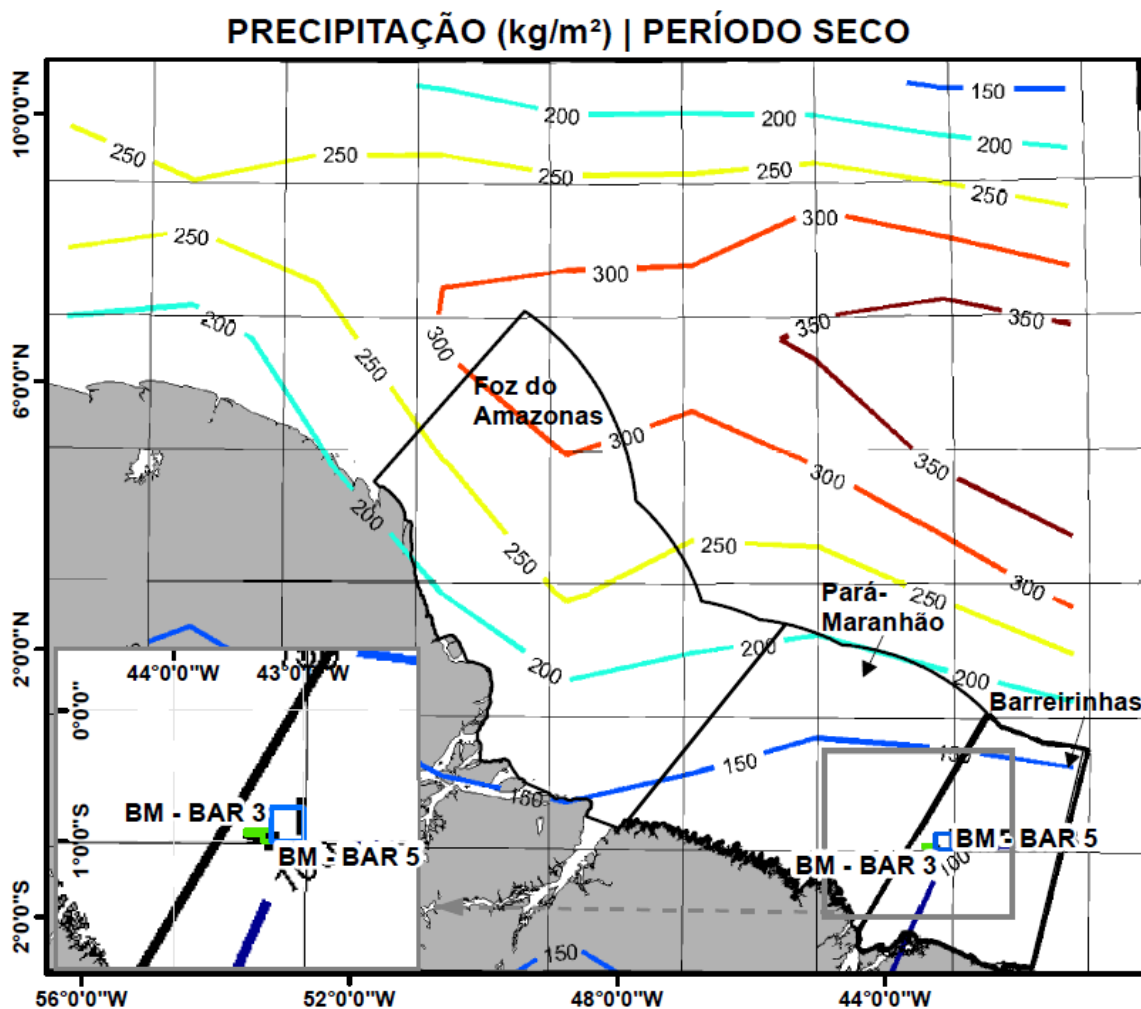


Figura II.6.1.1.1.2.2- 3 - Precipitação (Kg/m²) nas Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 (polígono verde) e BM-BAR-5 (polígono azul), no período seco (junho a novembro).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

A seguir, na **Figura II.6.1.1.1.2.2- 4**, é apresentada a precipitação média mensal especificamente sobre os blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, elaborada a partir dos dados da Reanálise II do NCEP utilizados nas análises espaciais apresentadas acima.

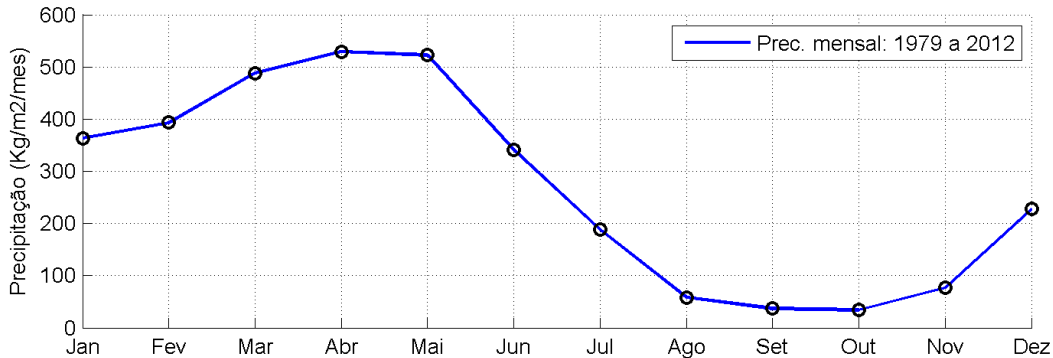


Figura II.6.1.1.1.2.2- 4 - Precipitação média mensal sobre os Blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 de 1979 a 2012 com dados da Reanálise II do NCEP. Fonte: Petrobras (2017).

Segundo a análise do gráfico acima, a precipitação máxima anual ocorre no mês de abril (529,07 Kg/m²) e a mínima no mês de outubro (39,40 Kg/m²), apresentando uma amplitude das médias mensais de 494,67 Kg/m². O padrão sazonal apresentado pelas normais climatológicas do INMET está de acordo com as normais elaboradas com os resultados do NCEP, para este parâmetro.

Para análise da precipitação em maior frequência amostral na região próxima aos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, na **Figura II.6.1.1.1.2.2- 5** são apresentados os dados da estação do INMET de Farol de Santana, no período de novembro de 2008 a dezembro de 2010. A linha tracejada vermelha indicada no gráfico representa o limite de precipitação do dado bruto de 136,88 Kg/m², sobre o qual, apenas 0,1% das ocorrências têm valor superior. A linha tracejada azul indica o valor limite de precipitação das médias diárias com valor de 25,63 Kg/m², representando o limite de 0,1% das ocorrências.

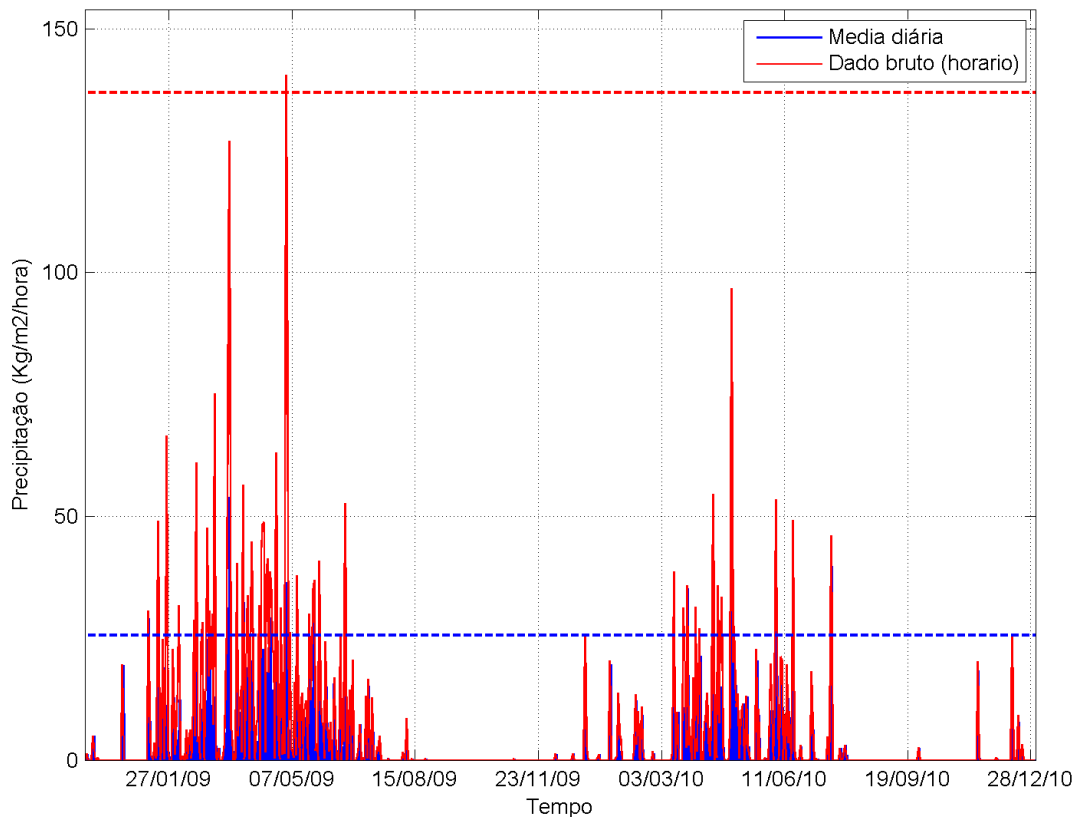


Figura II.6.1.1.1.2.2- 5 - Série temporal de precipitação na estação de Farol de Santana – MA, para o período entre novembro de 2008 e dezembro de 2010. A linha tracejada vermelha indica o percentil 99% para os dados brutos (horários) e, a linha tracejada azul, o percentil 99% das médias diárias.

Fonte: Petrobras (2017).

O gráfico indica um máximo de precipitação média diária de aproximadamente 57 Kg/m² ocorrendo em abril de 2010 e uma máxima horária de cerca de 140 Kg/m² em maio de 2009. Do total de eventos extremos ocorridos, o mês de março apresentou maior número de ocorrências (7).

Nesta análise (**Figura II.6.1.1.1.2.2- 5**), observamos uma grande extrapolação dos níveis precipitados entre março e maio de 2009.

A análise espectral da série de precipitação da estação do INMET de Farol de Santana-MA é apresentada na **Figura II.6.1.1.1.2.2- 6**, para avaliação da variabilidade desta variável em maior frequência amostral.

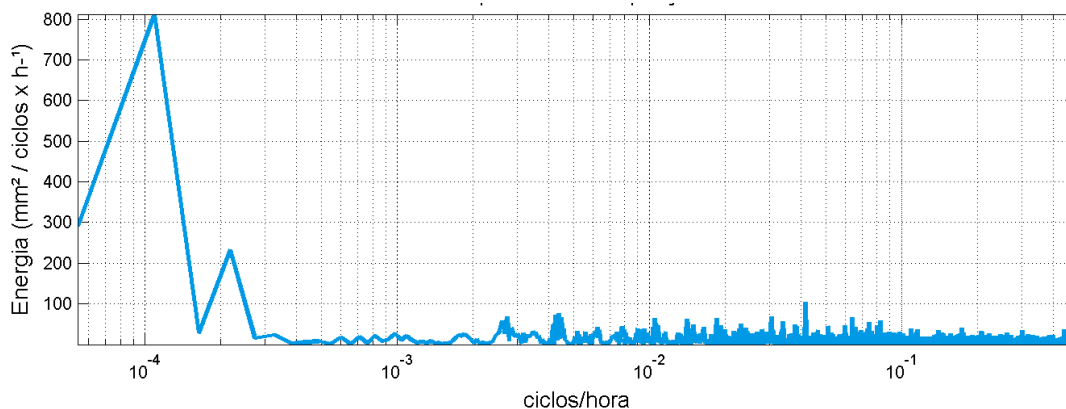


Figura II.6.1.1.1.2.2- 6 - Análise espectral de precipitação na estação de Farol de Santana – MA.

Fonte: Petrobras (2017).

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

Conforme observado, os meses de março e abril apresentam os maiores índices de precipitação, devido ao posicionamento mais a sul da ZCIT nestes dois meses, provocando chuvas intensas na Região Norte do Brasil. Como já mencionado em item anterior (II.6.1.1.1.1), a ZCIT encontra-se mais ao norte da área de estudo para o período seco em relação ao período chuvoso. Um exemplo da migração da ZCIT na região pode ser observado a seguir, através das cartas sinóticas do CPTEC/INPE. Na **Figura II.6.1.1.1.2.2- 7** apresentam-se as cartas sinóticas para o dia 15 de abril de 2009 (período chuvoso) e 15 de outubro de 2009 (período seco).

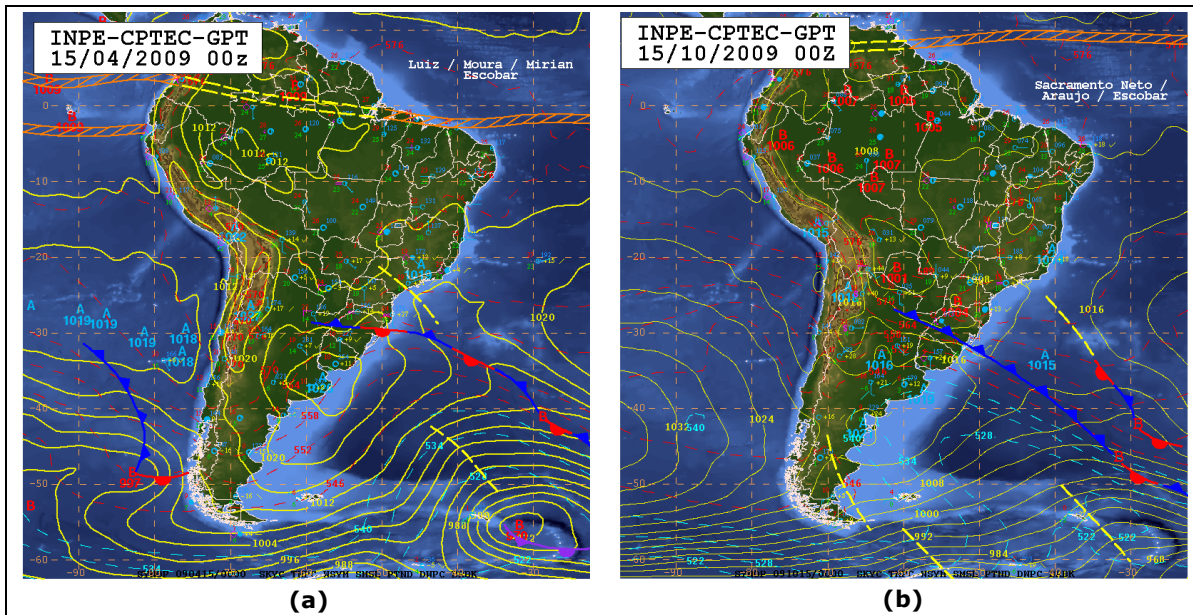


Figura II.6.1.1.2.2- 7 - Cartas sinóticas para o período chuvoso (a) e seco (b) na região setentrional do nordeste brasileiro.

Fonte: CPTEC/INPE – (2009).

II.6.1.1.2.3 Evaporação

Os valores médios de evaporação segundo os dados climatológicos do INMET para as estações de Macapá-AP, São Luís-MA e Belém-PA, de 1981 a 2010 apresentam comportamento inverso ao da precipitação (**Figura II.6.1.1.2.3-1**). Os maiores valores de evaporação ocorreram nos meses de outubro para Macapá-AP (151 mm), novembro para São Luís-MA (122,5 mm) e setembro para Belém-PA (73,6 mm). Os menores valores de evaporação ocorreram no mês de abril para Macapá-AP (44,4 mm) e São Luís-MA (44,5 mm) e no mês fevereiro para Belém-PA (35,7 mm). Observa-se um comportamento diferenciado da estação de Belém-PA, em relação às estações de Macapá-AP e São Luís-MA, com menor variação entre máximos e mínimos.

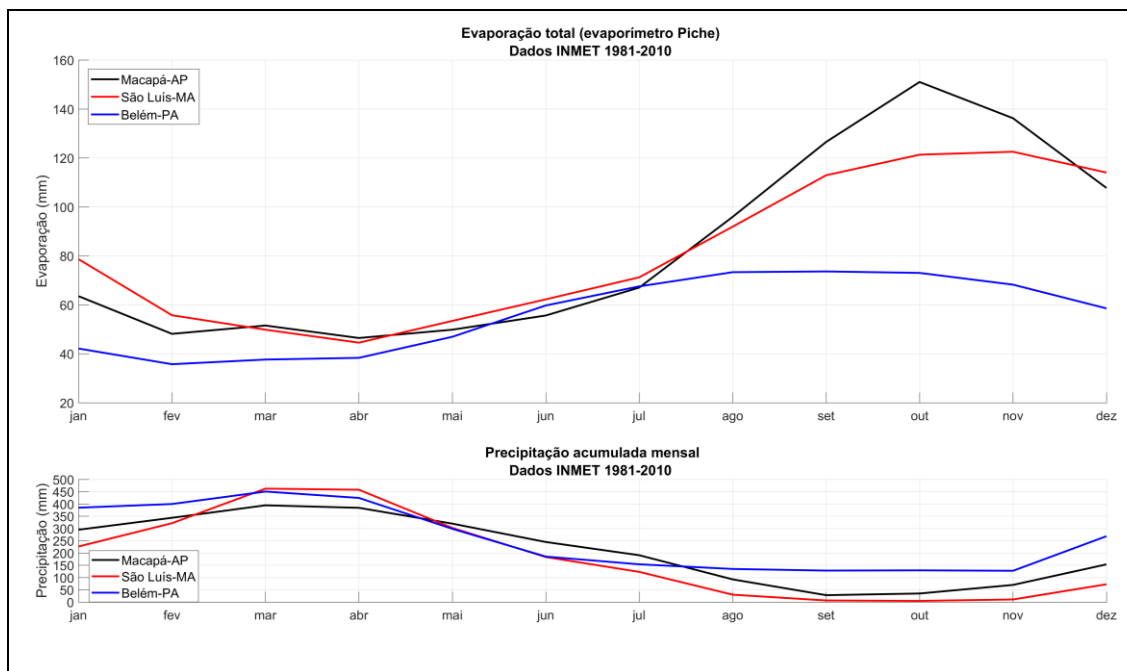


Figura II.6.1.1.2.3- 1 - Evaporação e precipitação nas estações de São Luís – MA, Belém-PA e Macapá-AP (1981 a 2010).

Fonte: INMET.

II.6.1.1.2.4 Umidade Relativa

Os valores médios de umidade relativa segundo os dados climatológicos do INMET para as estações de Macapá-AP, São Luís-MA e Belém-PA, de 1981 a 2010, acompanharam os valores de precipitação (**Figura II.6.1.1.2.4- 1**).

Os valores máximos da média mensal de umidade relativa ocorreram no mês abril para Macapá-AP (88,1 %) e São Luís-MA (88,6 %) e no mês de fevereiro para Belém-PA (90%). Enquanto que os valores mínimos da média mensal ocorreram no mês de outubro para Macapá-AP (72,5 %) e Belém-PA (80,1 %) e no mês de novembro para São Luís-MA (76,7 %).

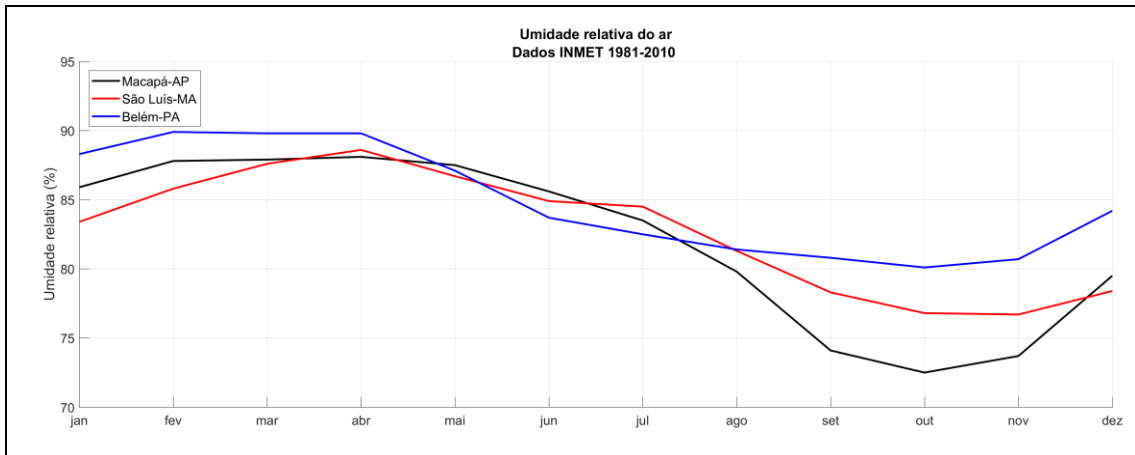


Figura II.6.1.1.2.4- 1 - Umidade Relativa do Ar nas estações de São Luís – MA, Belém-PA e Macapá-AP (1981 a 2010).

Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da umidade do ar na região das Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para o entorno dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, são apresentadas, na **Figura II.6.1.1.2.4- 2** e na **Figura II.6.1.1.2.4- 3**, as médias sazonais a partir dos dados de Reanálises do NCEP.

Durante o período chuvoso – dezembro a maio – a umidade relativa aumentou em direção ao sudoeste da área de estudo. Na área dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, no período chuvoso, a umidade relativa se encontra em aproximadamente 81%. No período seco – junho a novembro – o padrão de variabilidade espacial se modifica e a umidade relativa, de maneira geral, reduz na direção leste. Nas proximidades dos Blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, a umidade relativa encontra-se próximo a 76%.

UMIDADE (%) | PERÍODO CHUVOSO

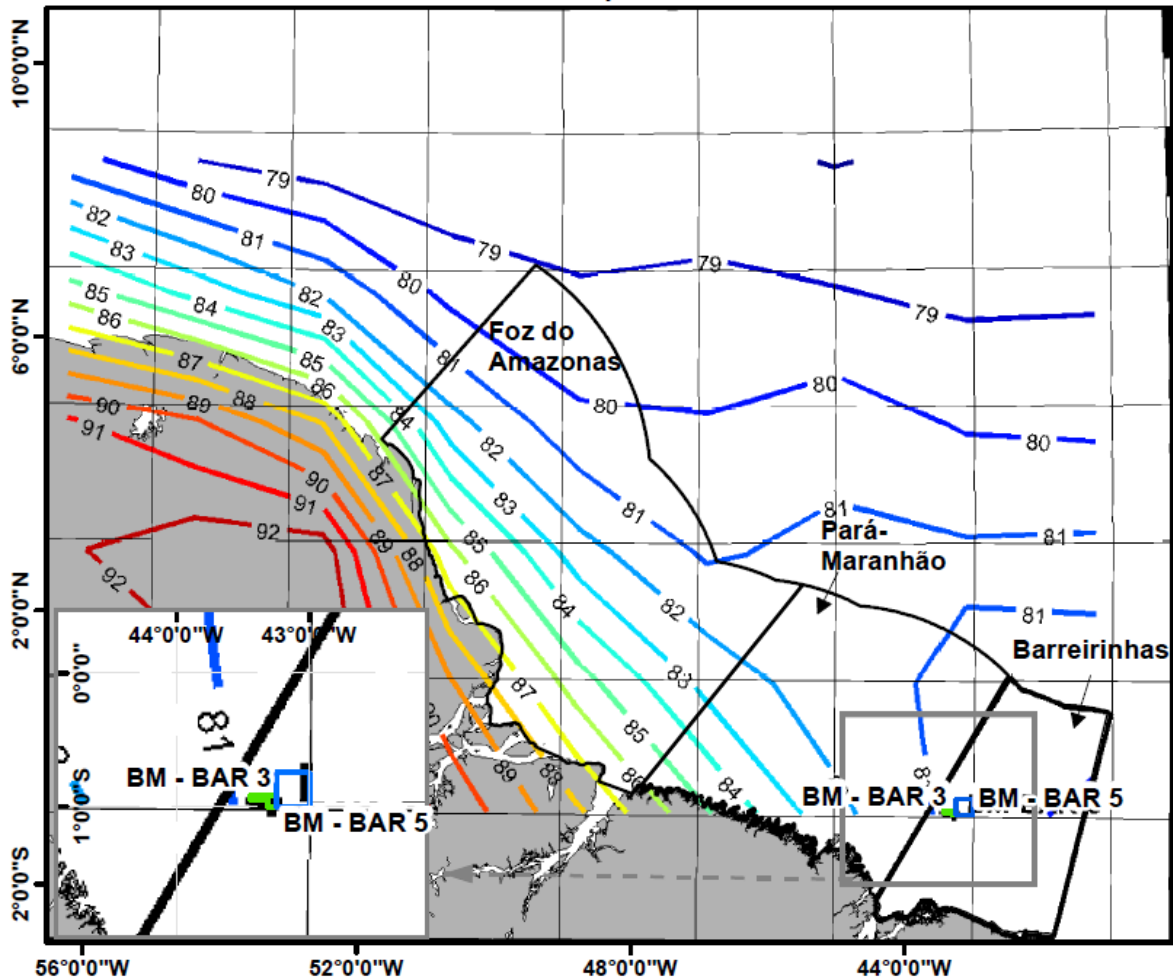


Figura II.6.1.1.1.2.4- 2 - Umidade relativa do ar (%) nas Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 (polígono verde) e BM-BAR-5 (polígono azul), no período chuvoso (dezembro a maio).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

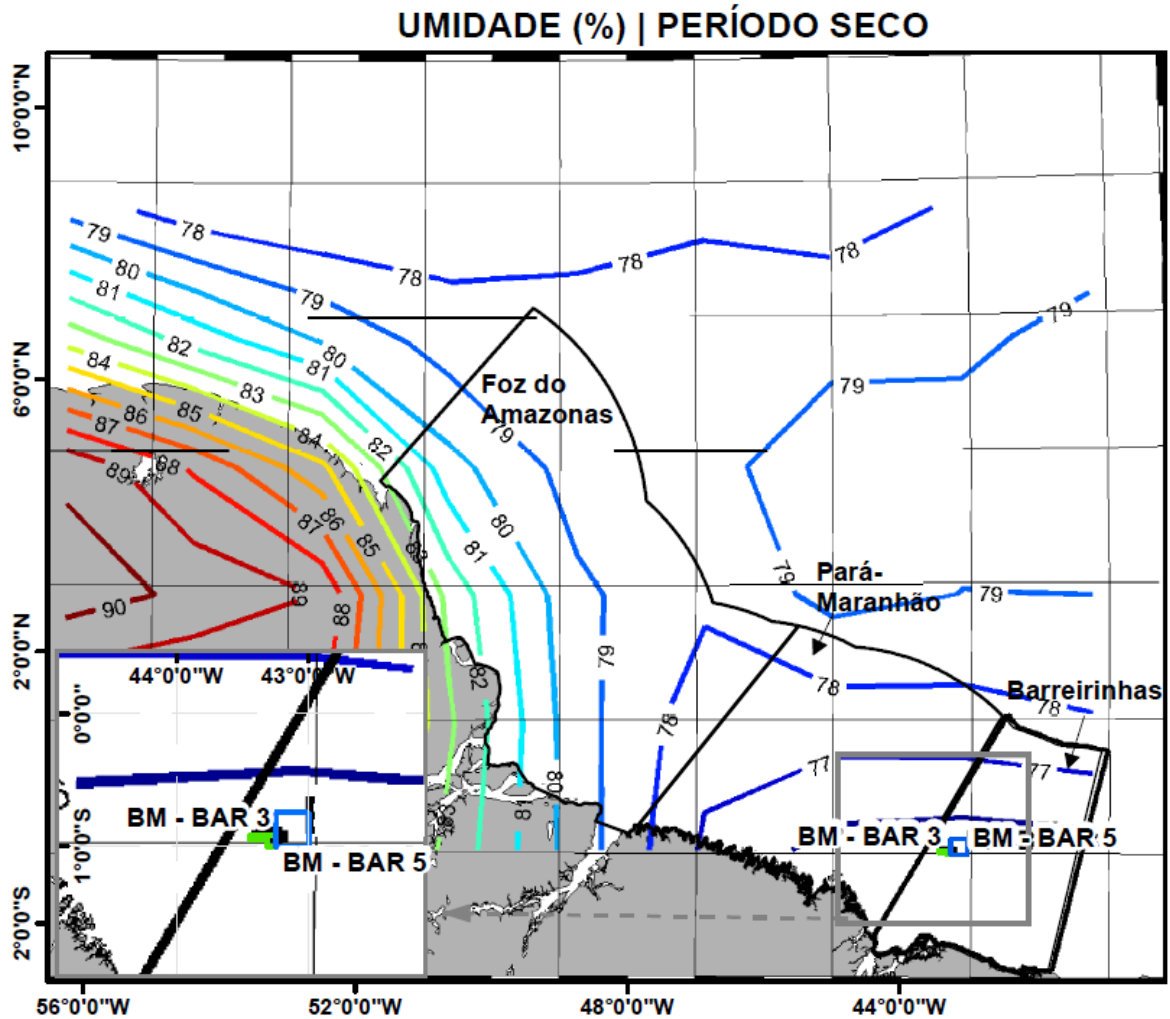


Figura II.6.1.1.1.2.4- 3 - Umidade relativa do ar (%) nas Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 (polígono verde) e BM-BAR-5 (polígono azul), no período seco (junho a novembro).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

A seguir, na **Figura II.6.1.1.1.2.4- 4**, são apresentadas as máximas, mínimas e médias mensais da umidade relativa do ar especificamente sobre os blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, extraídas dos dados da Reanálise II do NCEP.

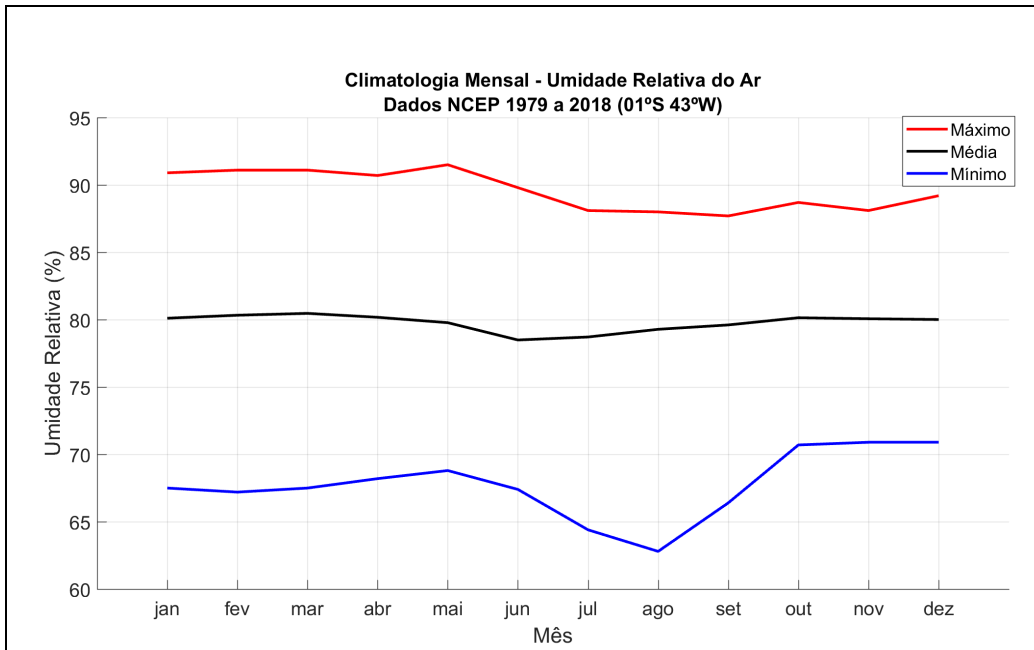


Figura II.6.1.1.1.2.4- 4 - Umidade relativa do ar média sobre os Blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, de 1979 a 2018 com dados da Reanálise II do NCEP.

A amplitude anual das médias mensais observada foi de aproximadamente 3%, com um máximo em março de 81% e um junho de 78%.

Na **Figura II.6.1.1.1.2.4- 5** é apresentada toda a série temporal da estação do INMET de Farol de Santana, para avaliação da variabilidade da umidade relativa em maior frequência amostral. No gráfico, a linha vermelha indica a média diária de umidade, enquanto que as linhas pretas indicam no gráfico os limites superiores (95%) e inferiores (55%), percentil 99,9% e percentil 0,1% respectivamente, para avaliação de eventos extremos, que serão discutidos no item **II.6.1.1.1.5**.

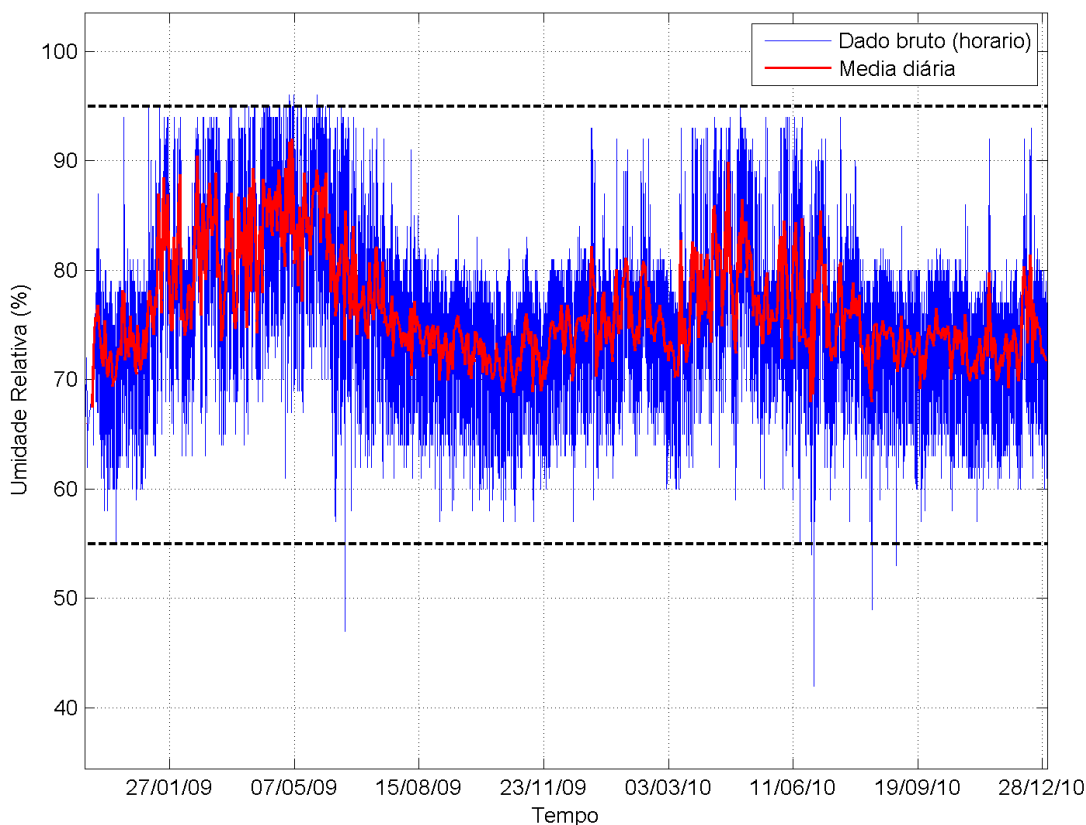


Figura II.6.1.1.2.4- 5 - Série temporal de umidade relativa do ar na estação de Farol de Santana - MA, para o período entre janeiro de 2008 e março de 2010. A linha central (vermelha) representa as médias diárias e as linhas pretas correspondem ao percentil 99,9% (superior) e 0,1% (inferior).

Fonte: Petrobras (2017).

O gráfico indica um máximo de umidade de aproximadamente 96%, ocorrendo principalmente em maio de 2009, e um mínimo de aproximadamente 42% verificado em junho de 2010. A maior parte dos eventos máximos que ultrapassaram o limite superior ocorreram nos meses de maio. Dos 19 eventos extremos que ultrapassaram o limite inferior, o mês de junho foi o que apresentou mais ocorrências (12).

Na **Figura II.6.1.1.2.4- 6** é apresentada a análise espectral da série de umidade relativa da estação do INMET de Farol de Santana-MA, para avaliação da variabilidade desta variável em maior frequência amostral.

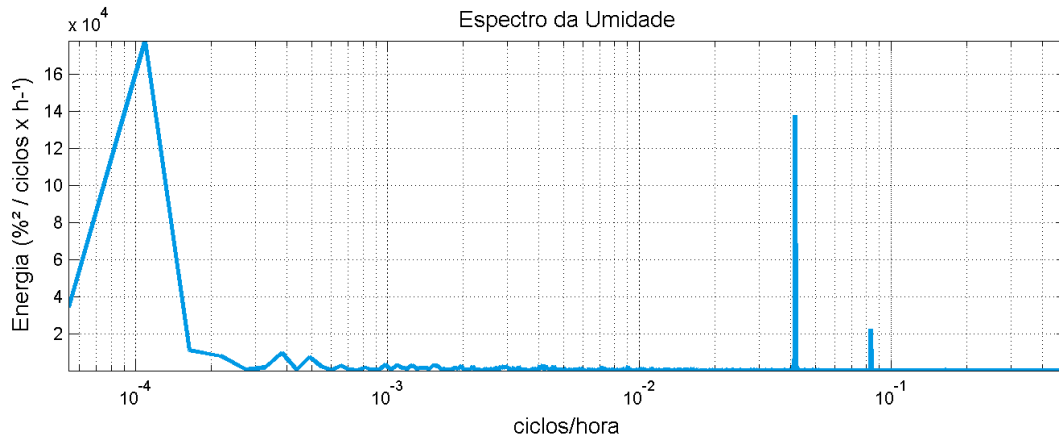


Figura II.6.1.1.2.4- 6 - Análise espectral de umidade relativa na estação de Farol de Santana – MA.

Fonte: Petrobras (2017).

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

II.6.1.1.2.5 Pressão Atmosférica

Os valores médios de pressão atmosférica ao nível do mar segundo os dados climatológicos do INMET para as estações de Macapá-AP, São Luís-MA e Belém-PA, de 1981 a 2010 são apresentados na **Figura II.6.1.1.2.5- 1**. Os valores máximos de pressão ocorreram no mês julho para Macapá-AP (1012,5 hPa), São Luís-MA (1013 hPa) e Belém-PA (1013 hPa), enquanto que os valores mínimos ocorreram no mês de novembro para Macapá-AP (1009,6 hPa), São Luís-MA (1009,8 hPa) e Belém-PA (1010,1 hPa). Esse padrão de maiores valores no

período de inverno coincide com a migração característica do ASAS para noroeste, se aproximando do continente.

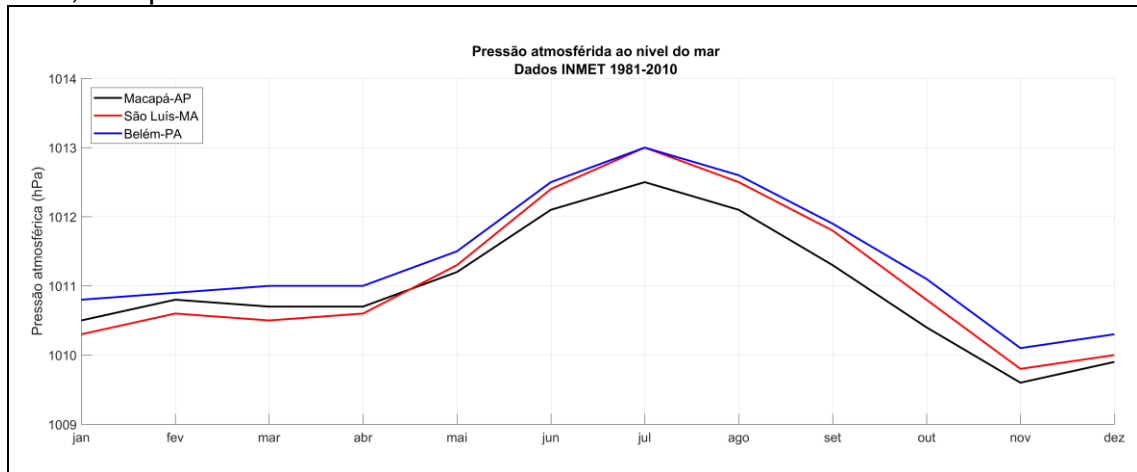


Figura II.6.1.1.1.2.5- 1 - Pressão atmosférica nas estações de São Luís – MA, Belém-PA e Macapá-AP (1981 a 2010).

Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais da pressão atmosférica na região das Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para o entorno dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, são apresentadas, na **Figura II.6.1.1.1.2.5- 2** e na **Figura II.6.1.1.1.2.5- 3**, médias sazonais, obtidas a partir das reanálises do NCEP. Apesar da pressão atmosférica na região variar de acordo com os períodos de verão e inverno, os dados do NCEP foram separados em período chuvoso (dezembro a maio) e período seco (junho a novembro) para manter a coerência com os demais parâmetros apresentados (precipitação, umidade e temperatura).

Como poderá ser verificado nas figuras apresentadas a seguir, em ambos os períodos a pressão apresenta os maiores valores ao norte da região analisada. Porém, no período chuvoso (**Figura II.6.1.1.1.2.5- 2**), há um deslocamento das isóbaras para nordeste abaixo de 7° N, enquanto que no período seco este deslocamento ocorre para noroeste. Sobre os blocos, no período chuvoso são encontrados valores de pressão atmosférica de aproximadamente 1010,55 hPa e no período seco são encontrados valores de aproximadamente 1011,5 hPa.

PRESSÃO (hPa) | PERÍODO CHUVOSO

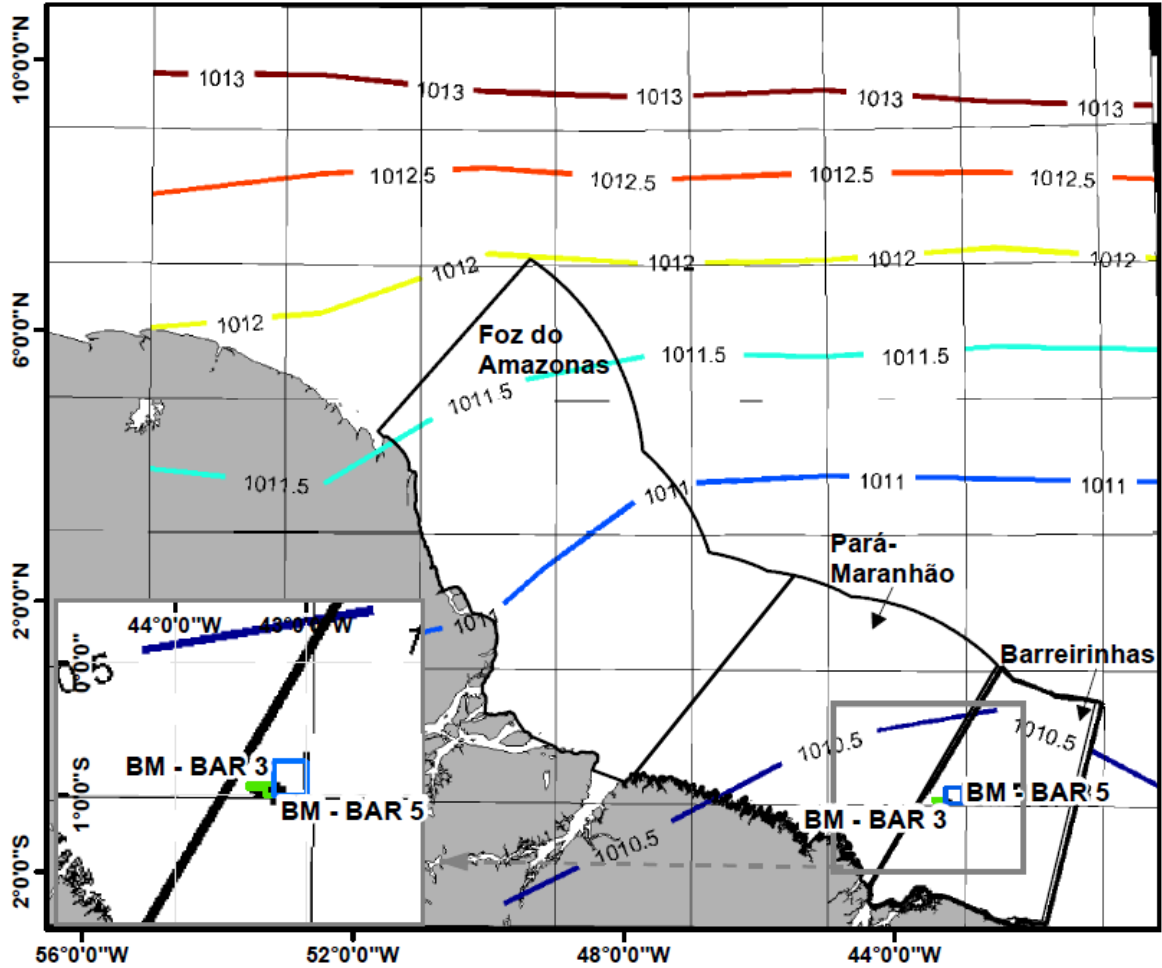


Figura II.6.1.1.1.2.5- 2 - Pressão atmosférica (hPa) nas Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 (polígono verde) e BM-BAR-5 (polígono azul), no período chuvoso (dezembro a maio).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

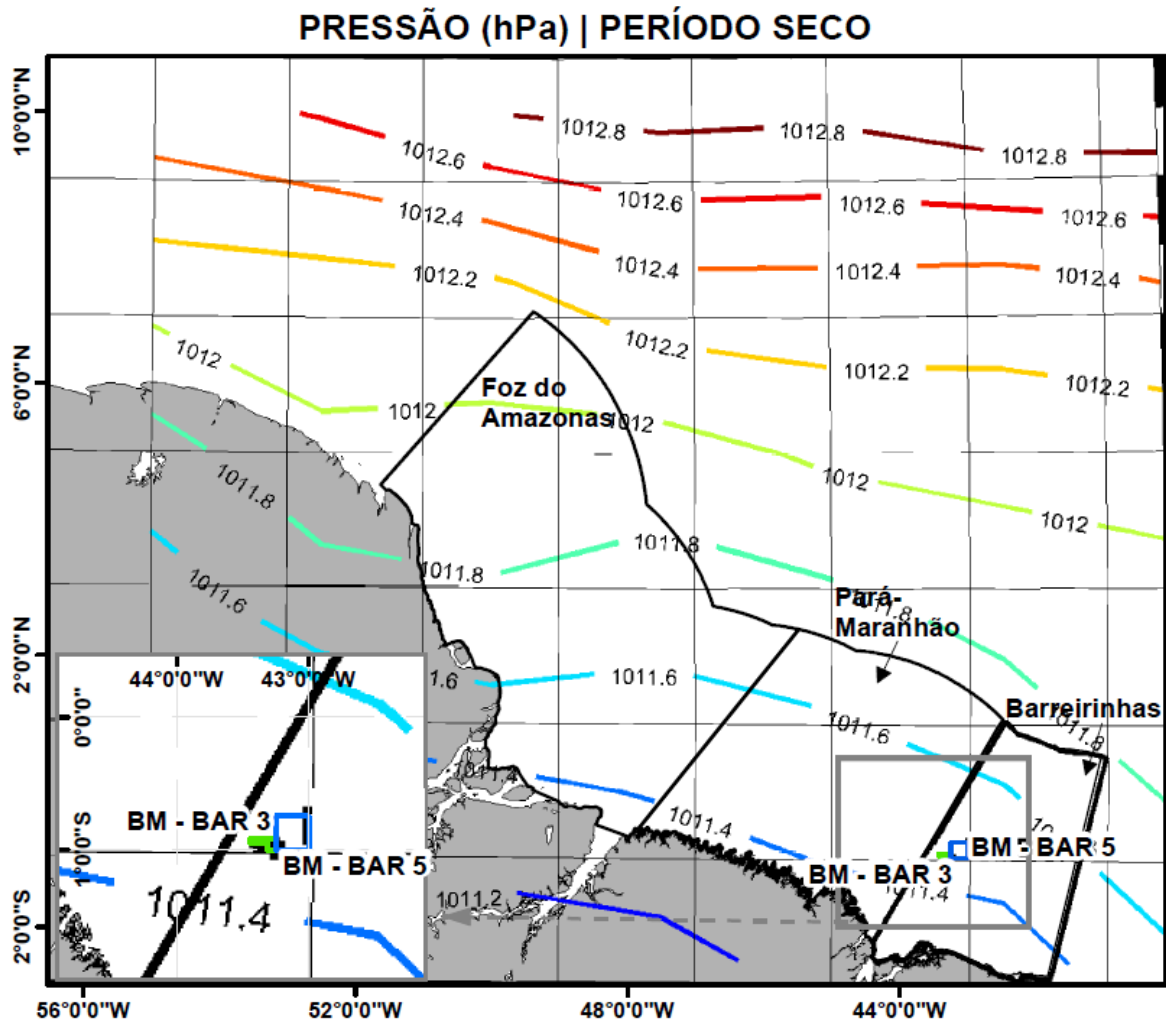


Figura II.6.1.1.1.2.5- 3 - Pressão atmosférica (hPa) nas Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 (polígono verde) e BM-BAR-5 (polígono azul), no período seco (junho a novembro).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

A seguir, na **Figura II.6.1.1.1.2.5- 4**, são apresentadas as médias, máximas e mínimas mensais da pressão atmosférica, sobre os blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, elaboradas com dados de 1979 a 2018 da Reanálise II do NCEP.

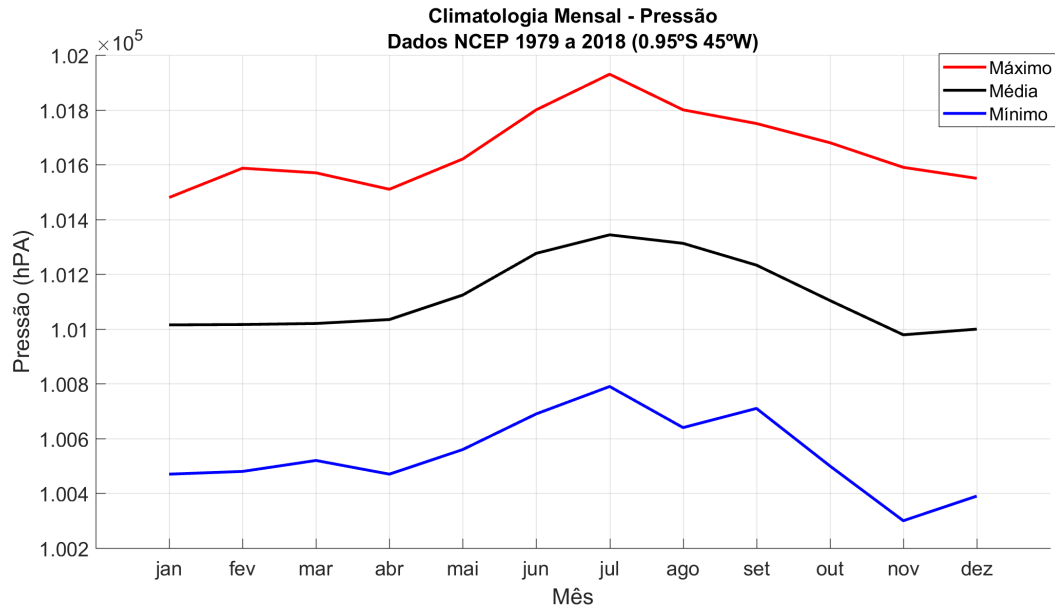


Figura II.6.1.1.1.2.5- 4 - Pressão atmosférica média mensal sobre os Blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 de 1979 a 2018 a partir de dados de Reanálise II do NCEP.

O padrão sazonal observado nas normais climatológicas do INMET, para a estação de São Luís-MA, pode ser observado também nas normais climatológicas elaboradas com os dados do NCEP. O máximo de pressão atmosférica ocorre no mês de julho e o mínimo no mês de novembro.

Para avaliação da variabilidade da pressão atmosférica em maior frequência amostral, na **Figura II.6.1.1.1.2.5- 5** é apresentada toda a série temporal deste parâmetro, na estação de Farol de Santana.

Para verificação de eventos extremos, foram adotados dois limites, um inferior (1004,1 hPa) e outro superior (1014,7 hPa), que representam 0,2% do total de observações, metade ultrapassando o limite superior e metade o inferior. Estes eventos serão discutidos no item **II.6.1.1.1.5**.

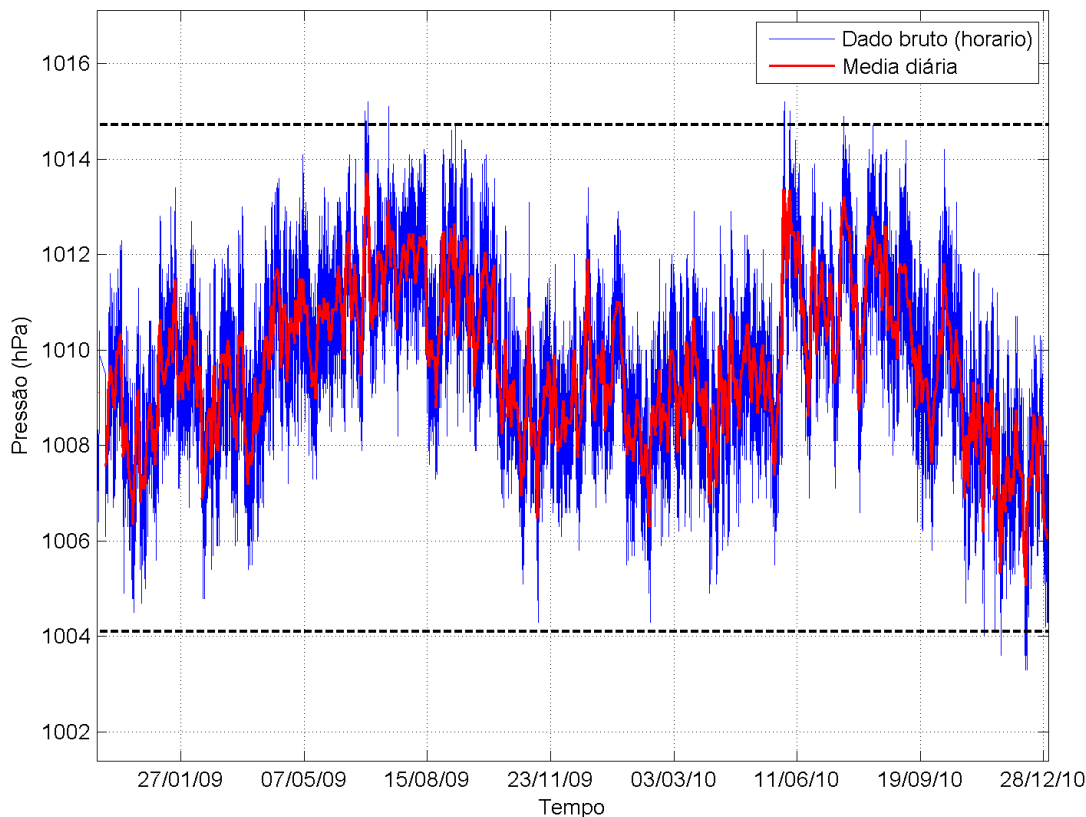


Figura II.6.1.1.2.5- 5 - Série temporal de pressão atmosférica na linha vermelha representa a média diária e as linhas pretas indicam o percentil 99% superior e inferior.

Fonte: Petrobras (2017).

O gráfico indica um máximo de pressão de 1015,2 hPa, ocorrendo em junho de 2009 e 2010, e um mínimo de 1003,3 hPa verificado em dezembro de 2010. O mês de junho aparece como o mês com maior número de eventos máximos (12), enquanto que o mês de dezembro apresentou uma maior ocorrência de eventos mínimos (13).

Na **Figura II.6.1.1.2.5- 6** é apresentada a análise espectral da série de pressão atmosférica da estação do INMET de Farol de Santana-MA, para avaliação da variabilidade desta variável em maior frequência amostral.

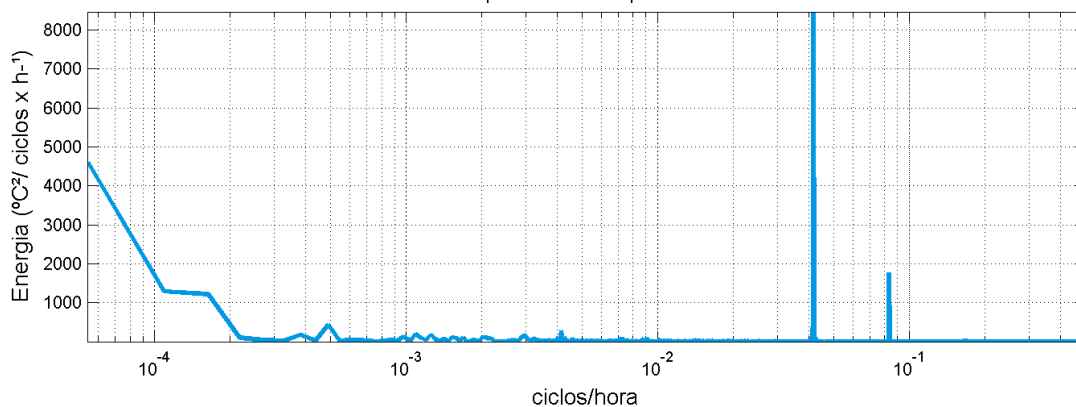


Figura II.6.1.1.1.2.5- 6 - Análise espectral de pressão atmosférica na estação de Farol de Santana – MA.

Fonte: Petrobras (2017).

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.

II.6.1.1.1.2.6 Insolação

Os valores médios de insolação segundo os dados climatológicos do INMET para as estações de Macapá-AP, São Luís-MA e Belém-PA, de 1981 a 2010 apresentam valores máximos para o período de inverno e valores mínimos para o verão (**Figura II.6.1.1.1.2.6- 1**).

Os valores máximos de insolação ocorreram no mês outubro para Macapá-AP (285,3 horas) e agosto para São Luís-MA (265,5 horas) e Belém-PA (266,4 horas), enquanto que os valores mínimos ocorreram no mês de fevereiro para Macapá-AP (117,1 horas) e Belém-PA (103,1 horas) e, no mês de março para São Luís-MA (111,5 horas).

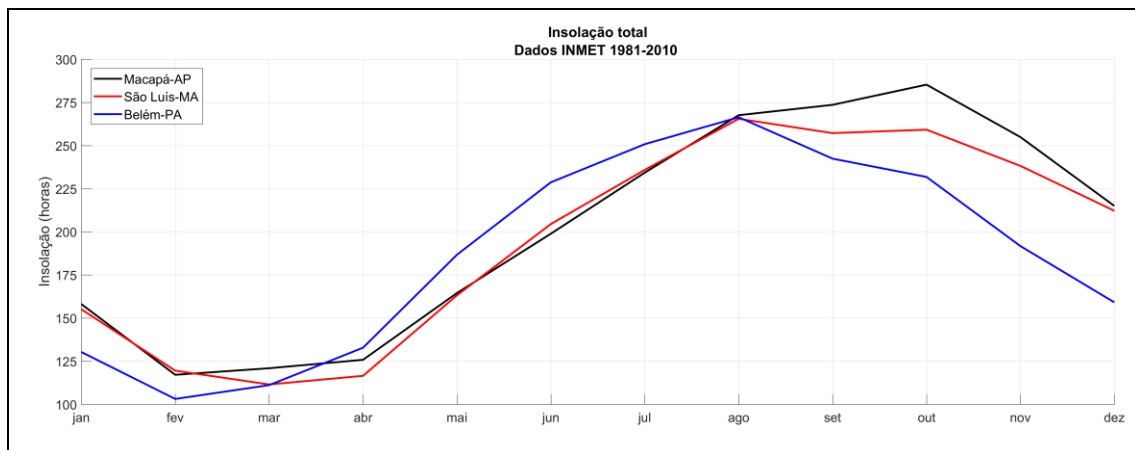


Figura II.6.1.1.1.2.6- 1 - Insolação nas estações de São Luís – MA, Belém-PA e Macapá-AP (1981 a 2010).

Fonte: INMET.

Notamos uma correlação diretamente inversa com a pluviosidade da região apresentada na Figura II.6.1.1.1.2.2- 8. No período chuvoso (dezembro a maio) temos uma menor insolação na região, pois a presença e formação de nuvens cobrindo a região da área de estudo auxilia a queda na incidência de radiação. Nota-se que, com a aproximação do período seco (junho a novembro), ocorre a

inversão dos parâmetros, com a precipitação reduzindo devido à dispersão das nuvens, e favorecendo o aumento de radiação solar.

II.6.1.1.1.2.7 Ventos

Os valores médios de intensidade e direção de ventos segundo os dados climatológicos do INMET para as estações de Macapá-AP, São Luís-MA e Belém-PA, de 1981 a 2010 são apresentados na (**Figura II.6.1.1.1.2.7- 1**). As direções representam as seguintes faixas de direção: N ($337,5^{\circ}$ - $22,5^{\circ}$), NE ($22,5^{\circ}$ - $67,5^{\circ}$), E ($67,5^{\circ}$ - $112,5^{\circ}$), SE ($112,5^{\circ}$ - $157,5^{\circ}$), S ($157,5^{\circ}$ - $202,5^{\circ}$), SW ($202,5^{\circ}$ - $247,5^{\circ}$), W ($247,5^{\circ}$ - $292,5^{\circ}$) e NW ($292,5^{\circ}$ - $337,5^{\circ}$) nas análises consequentes. Observa-se ventos mais intensos de setembro a dezembro, com direção predominante de NE (de $22,5^{\circ}$ a $67,5^{\circ}$), enquanto que de maio a julho, os ventos são menos intensos, com leve alteração de direção, ventos de E (de $67,5^{\circ}$ a $112,5^{\circ}$).

Os valores máximos de intensidade de ventos ocorreram no mês de outubro para Macapá-AP (3,1 m/s, 53°), São Luís-MA (3,2 m/s, 55°) e Belém-PA (2,3 m/s, 53°), enquanto que os valores mínimos ocorreram no mês de junho para Macapá-AP (2,0 m/s, 57°), maio para São Luís-MA (1,8 m/s, 64°) e janeiro para Belém-PA (1,7 m/s, 55°).

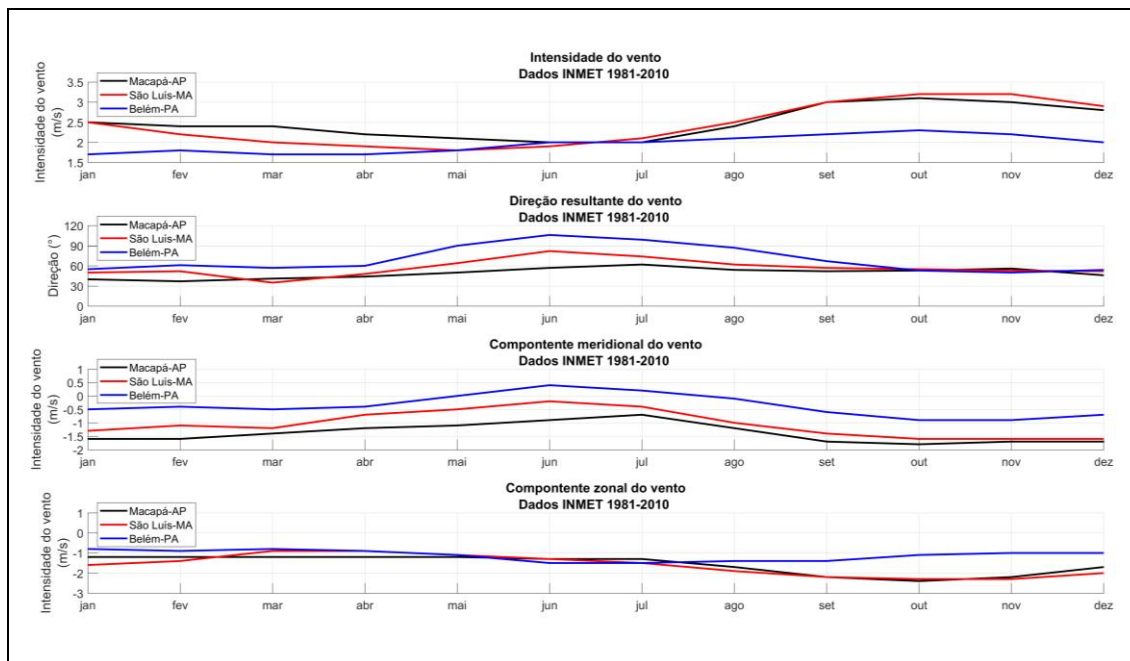


Figura II.6.1.1.2.7- 1 - Dados climatológicos de vento nas estações de São Luís – MA, Belém-PA e Macapá-AP (1981 a 2010).

Fonte: INMET.

A partir dos dados de NCEP, para o ponto 01°S e 043°W e período igual ao da modelagem hidrodinâmica e de dispersão de óleo (março de 2012 a fevereiro de 2013), foram gerados diagramas mensais do tipo *stick plot*, apresentados na **Figura II.6.1.1.2.7- 2** e **Figura II.6.1.1.2.7- 3**.

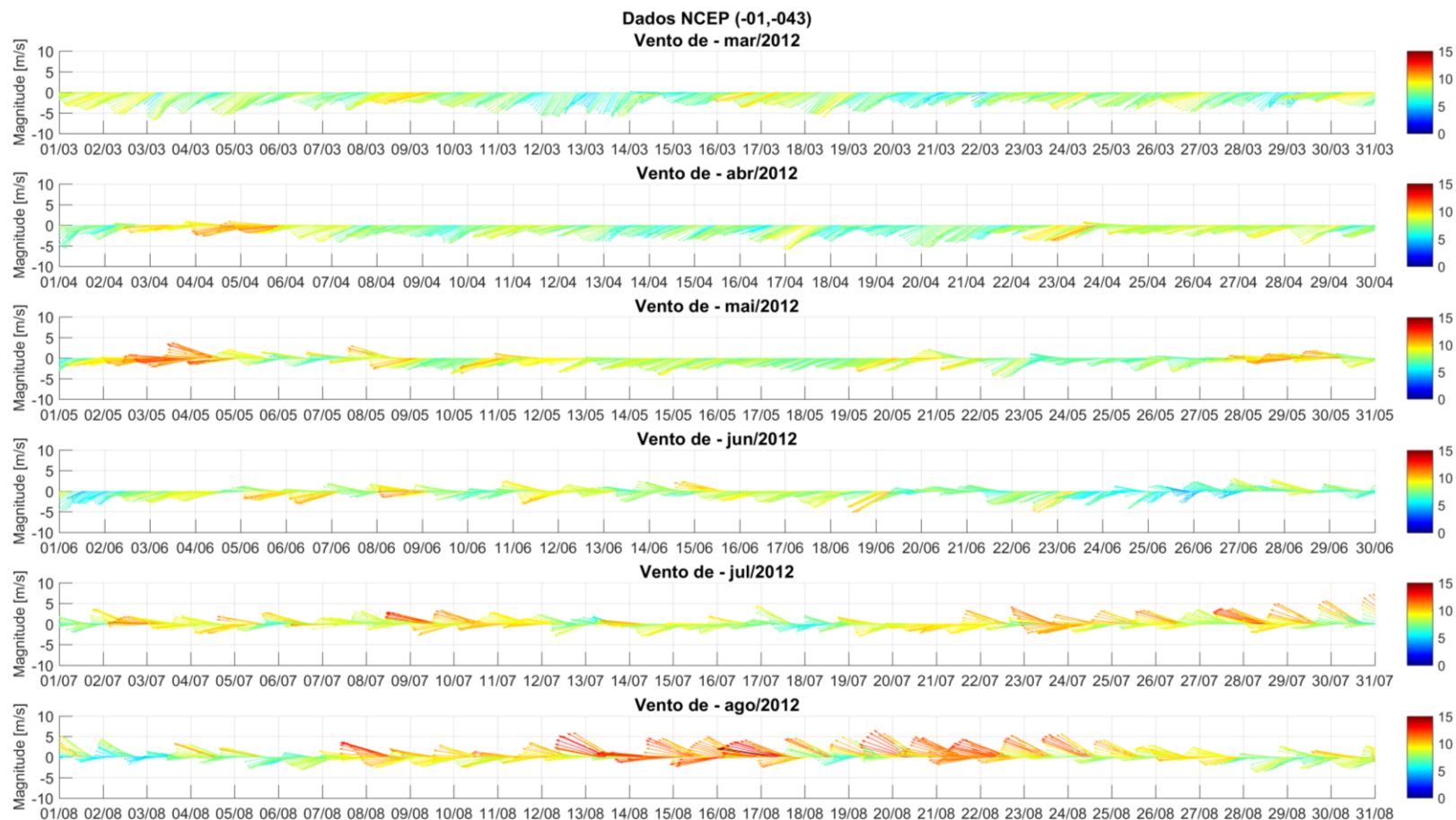


Figura II.6.1.1.2.7- 1 - Diagramas stick plot dos dados de vento (coordenadas: 01°S, -043°O), de março/2012 a agosto/2012.

Fonte: NCEP.

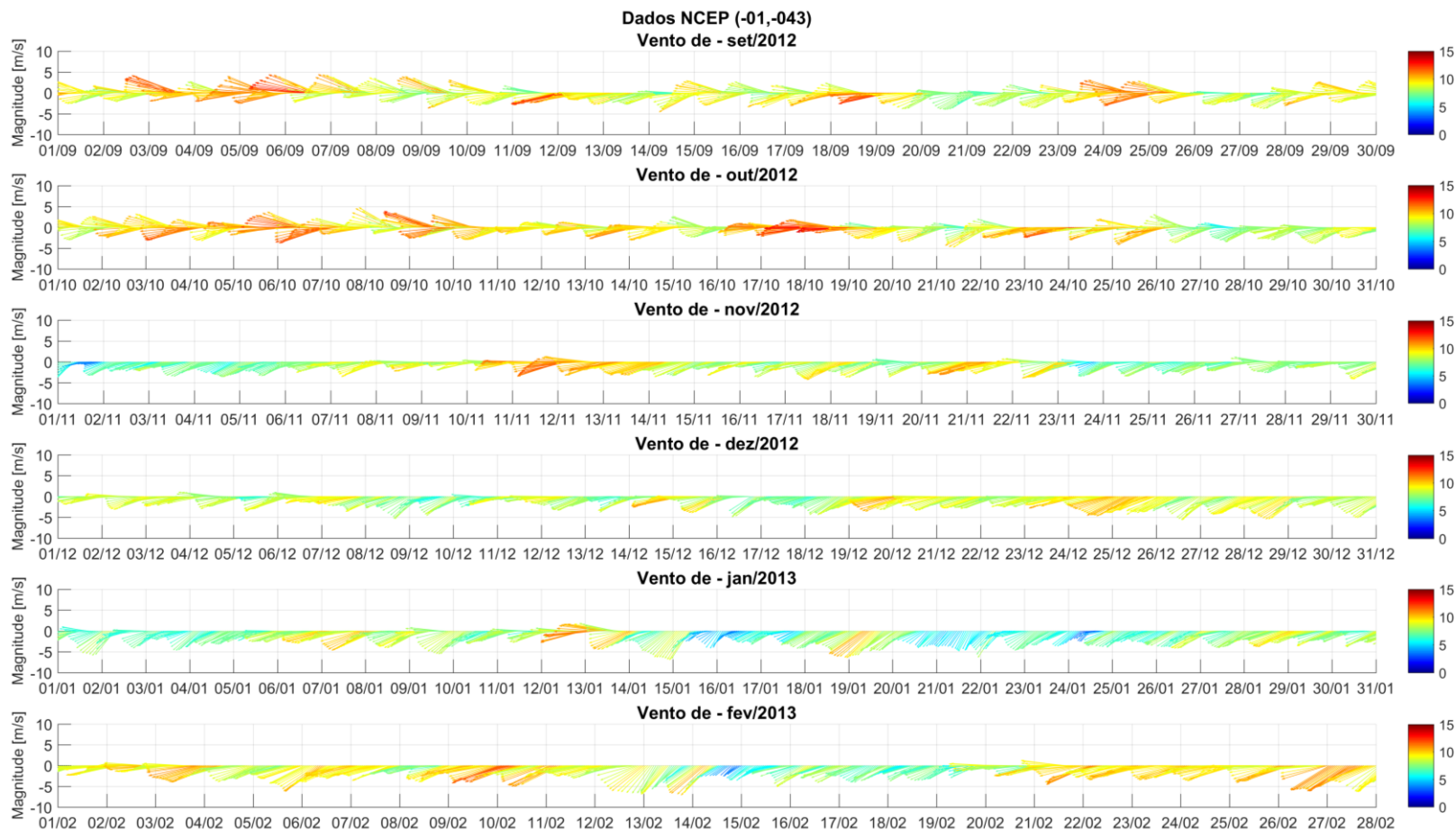


Figura II.6.1.1.2.7- 2 - Diagramas stick plot dos dados de vento (coordenadas: 01°S, -043°O), de setembro/2012 a fevereiro/2013.

Fonte: NCEP .

A partir dos histogramas direcionais de ventos elaborados com os dados da Reanálise do NCEP, verifica-se que na região da Bacia de Barreirinhas, em média, não há grande variação espacial nos campos de ventos, como demonstra a **Figura II.6.1.1.2.7- 4**. A situação típica na região, é marcada por ventos com direção predominante de nordeste e de leste.

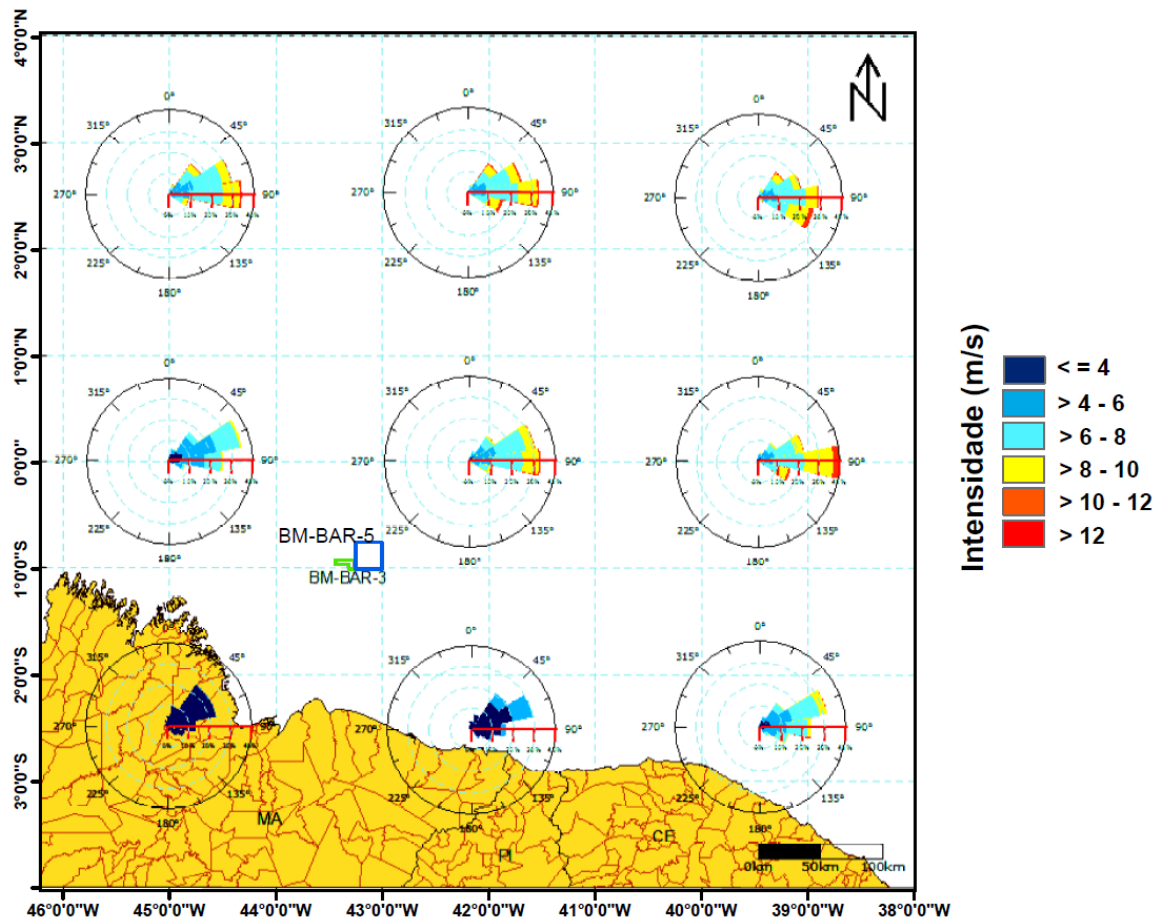


Figura II.6.1.1.2.7- 4 - Histograma direcional dos ventos na região do entorno dos Blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 de 1979 a 2012.

Fonte: Petrobras (2017), modificado por SLI.

Na **Figura II.6.1.1.2.7- 5** e na **Figura II.6.1.1.2.7- 6**, são apresentadas as rosas mensais dos ventos para o ponto de grade do NCEP mais próximo aos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

A análise dos dados de vento obtidos a partir das reanálises II do NCEP demonstra que o período compreendido entre dezembro e maio, nesta região, é marcado pela predominância de ventos de NE e ENE. O período que vai de junho a novembro, apresenta dominância de ventos de direção E a ESE.

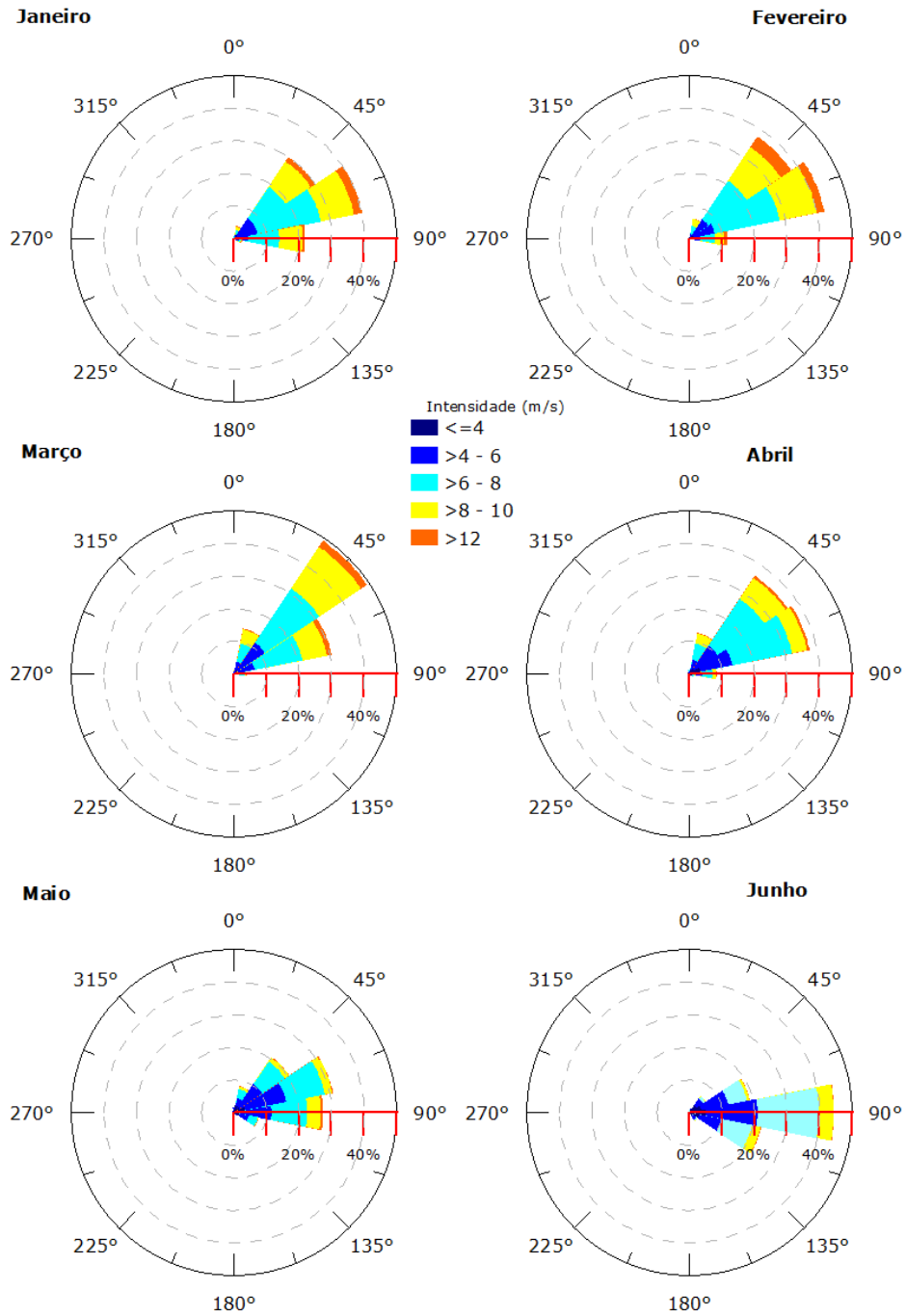


Figura II.6.1.1.1.2.7- 5 - Rosa dos Ventos (m/s) para os meses de Janeiro a Junho entre os anos 1979 a 2012. Figura gerada com dados do NCEP.

Fonte: Petrobras (2017).

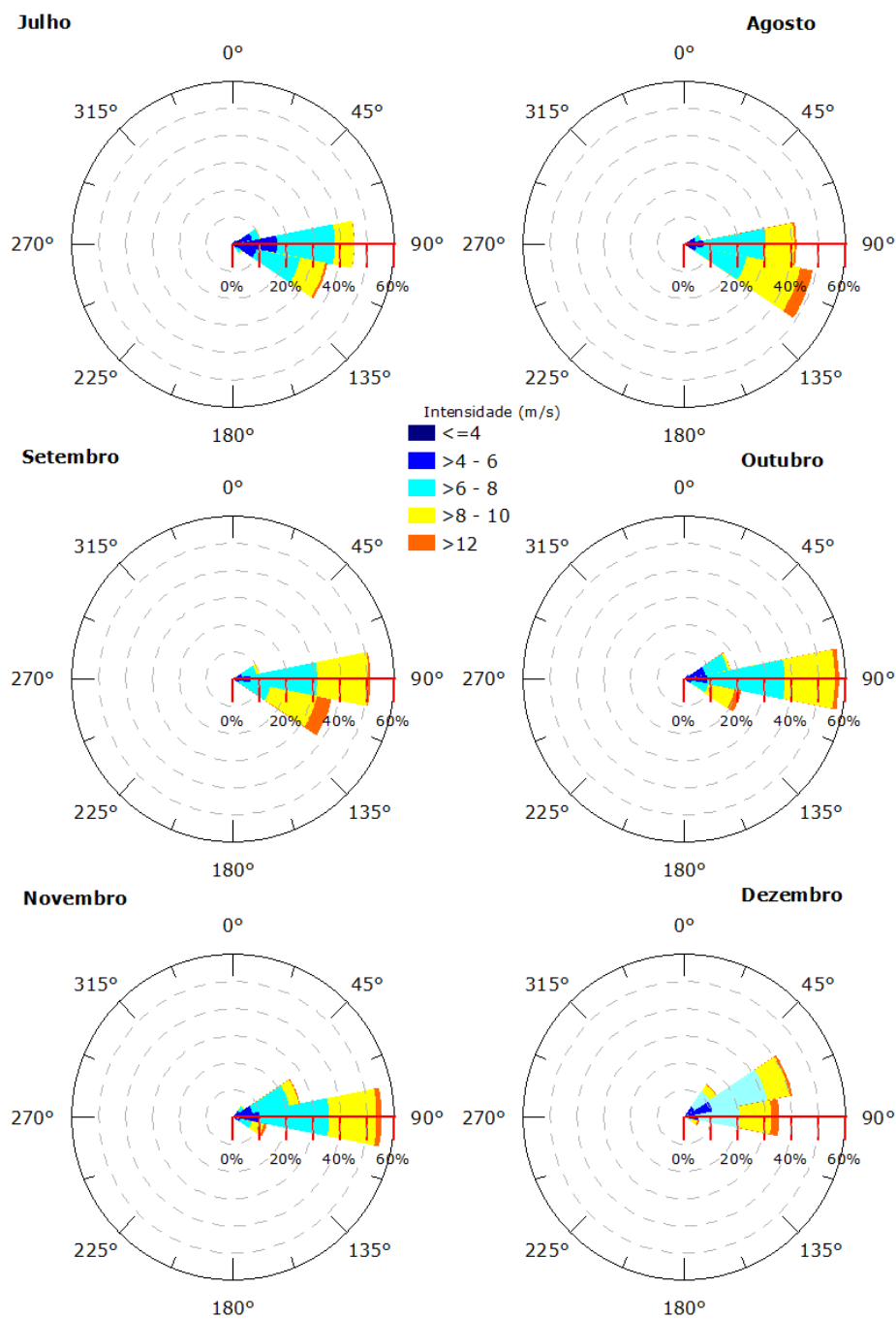


Figura II.6.1.1.2.7- 6 - Rosa dos Ventos (m/s) para os meses de Julho a Dezembro entre os anos 1979 a 2012. Figura gerada com dados do NCEP.

Fonte: Petrobras (2017).

Na **Tabela II.6.1.1.1.2.7- 1**, é apresentada a ocorrência conjunta de intensidade e direção dos ventos na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 usando como base os dados do NCEP para o período de 1979 a 2012.

Tabela II.6.1.1.1.2.7- 1 - Ocorrência conjunta de intensidade e direção dos ventos na região de interesse para o período de 1979 a 2012.

Direção ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)											
0	3	139	240	212	89	28	18	20	39	785	6,32
3	5,5	222	1461	1638	257	14	5	7	25	3629	29,22
5,5	8	105	1824	3830	360	5	0	0	2	6126	49,33
8	10,5	4	254	1527	54	0	0	0	0	1839	14,81
10,5	12	0	1	37	0	0	0	0	0	38	0,31
>12		0	0	1	0	0	0	0	0	1	0,01
Total		470	3780	7245	760	47	23	27	66	12418	-
Freq (%)		3,78	30,44	58,34	6,12	0,38	0,19	0,22	0,53	-	-

Legenda: verde - menos de 5 registros, amarelo - entre 5 e 1000 registros, laranja - entre 1000 e 2000 registros e vermelho - acima de 2000 registros.

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

Nos 33 anos analisados observa-se que, das 12.418 informações, a maior incidência foi de ventos de E (58,34%) e NE (30,44%). Do total, 49,33% tem intensidades entre 5,5 e 8,0 m/s. Os eventos com intensidades acima de 12,0 m/s representaram 0,01 % do total de ocorrências, associadas à direção E.

A estatística mensal apresentada na **Tabela II.6.1.1.1.2.7- 2** permite identificar a variabilidade apresentada pelo vento ao longo do ano.

Tabela II.6.1.1.2.7- 2 - Estatística mensal dos ventos no Bloco BM-BAR-3 e Bloco BM-BAR-5 para o período de 1979 a 2012.

Meses	Direção mais frequente	Intensidade média (m/s)	Desv. Pad. da intensidade	Máxima Absoluta (m/s)	Média das Máximas (m/s)	Desv. Pad.*
Jan	NE	5,97	1,83	11,21	9,14	1,14
Fev	NE	5,92	1,84	11,46	9,14	1,29
Mar	NE	5,44	1,70	9,92	8,50	0,92
Abr	NE	4,82	1,78	10,24	8,11	0,89
Mai	E	4,70	1,84	10,88	7,80	1,43
Jun	E	5,20	1,75	10,77	8,03	1,16
Jul	E	5,87	1,56	10,37	8,52	0,78
Ago	E	6,71	1,40	10,73	9,08	0,67
Set	E	7,30	1,33	10,79	9,68	0,61
Out	E	7,27	1,43	11,61	9,74	0,68
Nov	E	7,03	1,56	11,20	9,65	0,91
Dez	E	6,55	1,72	10,58	9,16	1,08

*Desvio Padrão das Médias das Máximas.

Fonte: NCEP.

Observa-se que a direção mais frequente dos ventos entre maio e dezembro é de E, e de janeiro a abril é de NE. Nesta tabela, os limites das classes de direção são diferentes dos limites apresentados nas rosas dos ventos (**Figura II.6.1.1.1.2.7- 5** e **Figura II.6.1.1.1.2.7- 6**). Por isso, os meses intermediários do período de chuvoso (dezembro e maio), onde começa a mudança de direção do vento, aqui são classificados com direção mais frequente de E, enquanto nas rosas, a direção mais frequente nestes meses é de NE e ENE. Setembro aparece como o mês de maior intensidade média, (7,30 m/s). O mês de outubro aparece com a maior máxima absoluta (11,61 m/s), ocorrendo também no mesmo mês a maior média das máximas (9,74 m/s).

Destaca-se a importância das análises dos campos de vento, pois este parâmetro tem influência direta sobre o intemperismo e dispersão do óleo no ambiente marinho, tais como na advecção (horizontal e vertical), na evaporação das diversas frações e componentes do material, na dispersão natural, formação

de emulsificações e dissolução do mesmo. Estes tópicos estão descritos para as modelagens do transporte de óleo em Petrobras (2017, 2018).

A variabilidade e diferença entre os dados do INMET e NCEP, ocorrem devido a alguns fatores, o primeiro é um dado medido tratado, enquanto o segundo é um dado de modelo (KALNAY *et. al.*, 1996). A variação do mesmo modo das direções e intensidade se dá pela localidade e a altitude de obtenção dos dados (captação) serem diferentes entre si, podendo ser observados na Figura II.6.1.1.1.2- 2, tais quais nas tabelas II.6.1.1.1.2-3 e II.6.1.1.1.2- 2.

II.6.1.1.1.3 Caracterização dos fenômenos de microescala

De acordo com o Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA nº 016/2014 devem ser caracterizados os fenômenos de microescala, com escala espacial de até poucos quilômetros, e variação temporal menor que a diária.

Nesse contexto, puderam ser identificados fenômenos de microescala nos dados da estação automática de Farol de Santana-MA, pois esta série possui frequência amostral adequada.

Em quase todos parâmetros meteorológicos avaliados a partir de dados 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 precipitação, a variabilidade sazonal domina o espectro da energia, havendo também um pico associado ao período de 24h, porém com menor destaque. 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.

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 h), pode

ser explicado pelo efeito da maré atmosférica. Este efeito da maré atmosférica pode ser esperado na área dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

II.6.1.1.1.4 Identificação de sazonalidade

As estações do ano são divididas basicamente em períodos chuvoso e o seco na área de estudo. A grande variabilidade sazonal do regime de chuvas influencia, de forma geral, o comportamento dos demais parâmetros meteorológicos. Ao longo deste estudo, os parâmetros meteorológicos foram analisados através de médias mensais e mapas médios para período chuvoso (dezembro a maio) e período seco (junho a novembro).

Esse ciclo tem como principal forçante a migração oscilatória da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Como foi exemplificado na Figura II.6.1.1.1.1- 5, a ZCIT, em seu movimento oscilatório anual, passa sobre a região da Bacia de Barreirinhas, influenciando fortemente a meteorologia local.

A 'macro-estação' chuvosa, ou verão, é caracterizada pela presença da ZCIT sobre a região, deixando o litoral exposto aos ventos do quadrante Nordeste e causando maiores valores de precipitação (cerca de 500 mm/mês), de umidade relativa (80%-90%) e de nebulosidade, levando a insolação e evaporação mais baixas (cerca de 50 mm/mês).

A 'macro-estação' seca, ou inverno, por sua vez é caracterizada pelo afastamento da ZCIT, expondo a região aos ventos predominantemente do quadrante Leste e pela maior influência da alta pressão subtropical (MUEHE, 2006), o que leva a uma maior insolação e taxas de evaporação (até 130 mm/mês) e menor precipitação (100-150 mm/mês) e umidade relativa (70-80%).

Deve ser levado em consideração que a sazonalidade do regime de ventos é de extrema importância 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 ESE entre junho e novembro.

A **Tabela II.6.1.1.1.4 - 1** resume os valores das médias climatológicas para cada variável meteorológica para os períodos chuvoso e seco.

Tabela II.6.1.1.1.4 - 1 - Valores climatológicos obtidos para cada variável analisada na Área de Estudo e estações definidas: período chuvoso – dezembro a maio, e período seco – junho a novembro.

Local	Macapá-AP		São Luís-MA		Belém-PA	
	chuvoso	seco	chuvoso	seco	chuvoso	seco
Denominação dada à estação						
Meses do ano que costuma ocorrer	Dezembro a maio	Junho a novembro	Dezembro a maio	Junho a novembro	Dezembro a maio	Junho a novembro
Variáveis	Média climatológica					
Temperatura (°C)	26,53	27,65	26,57	26,78	26,22	26,72
Pressão ao nível do mar (hPa)	1,010,63	1,011,33	1,010,55	1,011,72	1,010,92	1,011,87
Precipitação (mm)	314,87	110,08	307,00	59,65	370,88	143,12
Evaporação (mm)	61,17	105,37	66,00	97,00	43,18	69,22
Insolação (horas)	150,23	252,43	146,33	243,42	137,18	235,30
Umidade Relativa (%)	86,12	78,20	85,08	80,42	88,18	81,53
Magnitude do vento (m/s)	2,40	2,58	2,22	2,65	1,78	2,13
Direção do vento (°)	43,00 (NE)	55,67 (NE)	50,17 (NE)	63,83 (NE)	62,83 (NE)	77,00 (E)

II.6.1.1.1.5 Identificação de fenômenos meteorológicos extremos

A definição utilizada para evento extremo é a de evento raro, conforme definido no Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA nº 16/14. Desta forma, eventos extremos são aqueles que estão a uma distância da média de mais ou de menos duas vezes o desvio padrão.

Através dos 52 anos (1960 - 2012) de dados da Reanálise-I e Reanálise II do NCEP podemos ter uma boa estimativa da ocorrência de eventos extremos por longos períodos de tempo na região próxima aos Blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. A partir da ocorrência conjunta de direção e intensidade dos ventos (**Tabela II.6.1.1.1.2.7- 1**), podemos verificar que os ventos mais intensos se concentram na faixa de direção NE/E/SE.

Analisando a estatística mensal dos ventos (**Tabela II.6.1.1.1.5 - 1**), conclui-se que o período de verão (chuvoso) aparece como o mais propício à ocorrência de ventos intensos, mas com uma homogeneidade de velocidades máximas absolutas que oscilam bem próximas durante todo ano. As direções associadas são predominante de E-NE no período chuvoso, e E-SE no seco.

Tabela II.6.1.1.1.5 - 1 - Estatística mensal dos ventos na Bacia de Barreirinhas, para o período de 1960 a 2012.

Meses	Direção Associada a Velocidades Máximas (°)	Velocidade Máxima Absoluta (m/s)
Janeiro	E	12,03
Fevereiro	NE	13,23
Março	NE	12,99
Abril	NE	11,38
Maio	E	10,96
Junho	E	11,55
Julho	SE	11,76
Agosto	SE	11,88
Setembro	SE	12,31
Outubro	SE	12,16
Novembro	E	11,89
Dezembro	E	11,97

A **Figura II.6.1.1.1.5 - 1** permite visualizar melhor os resultados da tabela acima. Os eventos extremos mais intensos ocorridos no período chuvoso aparecem associados a direções E e NE. O evento extremo ocorrido em maio com o menor valor entre as máximas é associado a direção E. No período seco, as intensidades máximas apresentam predominância da direção E e SE.

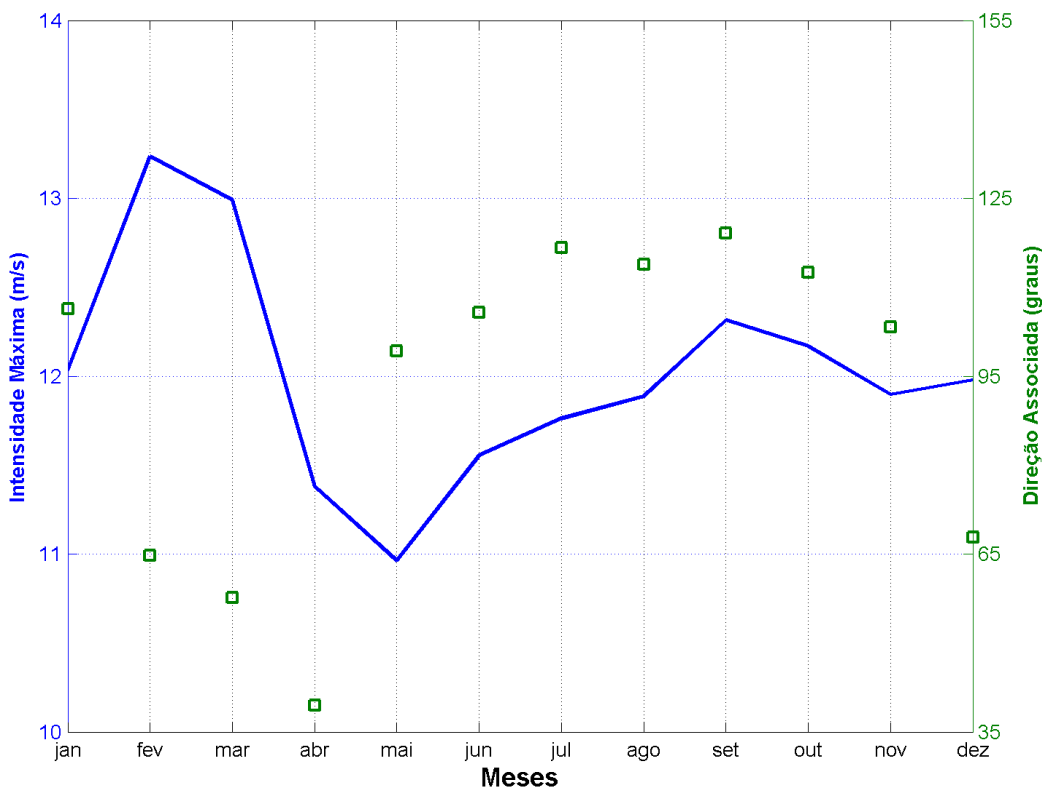


Figura II.6.1.1.1.5 - 1 - Intensidade máxima por direção associada, para cada mês do ano. Elaborado com dados de 1960 a 2012, da Reanálise do NCEP.

Fonte: Petrobras (2017).

A fim de avaliar a variabilidade de eventos extremos ao longo do tempo, utilizou-se os dados de ventos da base de dados horária do NCEP, de 1979 a 2018, para a coordenada 01°S e 043°W, mais próxima dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. A **Figura II.6.1.1.1.5 - 2** apresenta a distribuição estatística dos dados de intensidade de vento, as intensidades médias, máximas e mínimas mensais, bem como o número de ocorrências de valores extremos de intensidades de vento a cada ano.

A média de intensidades de ventos foi de 7,33 m/s e o desvio padrão foi de 1,66 m/s. Visto que em uma distribuição normal, o intervalo entre a média - 1 desvio padrão e média +1 desvio padrão representa 68,2% das amostras, o

intervalo entre a média - 2 desvios padrão e média +2 desvios padrão representa 95,4% das amostras, e o intervalo entre a média - 3 desvios padrão e média +3 desvios padrão representa 99,86% das ocorrências. O limiar de média + 1 desvio padrão representa valores superiores a 84,1% das ocorrências, o limiar de média + 2 desvios padrão representa valores superiores a 97,7% das ocorrências, o limiar de média + 3 desvios padrão representa valores superiores a 99,8% das ocorrências.

A **Tabela II.6.1.1.1.5 - 2** apresenta o número de ocorrências superiores à média + 3 desvios padrão identificadas a cada mês de cada ano do período compreendido entre 1979 e 2018. Verifica-se um aumento do número de ocorrências de eventos extremos ao longo dos anos, principalmente relacionados aos meses de agosto, setembro e outubro.

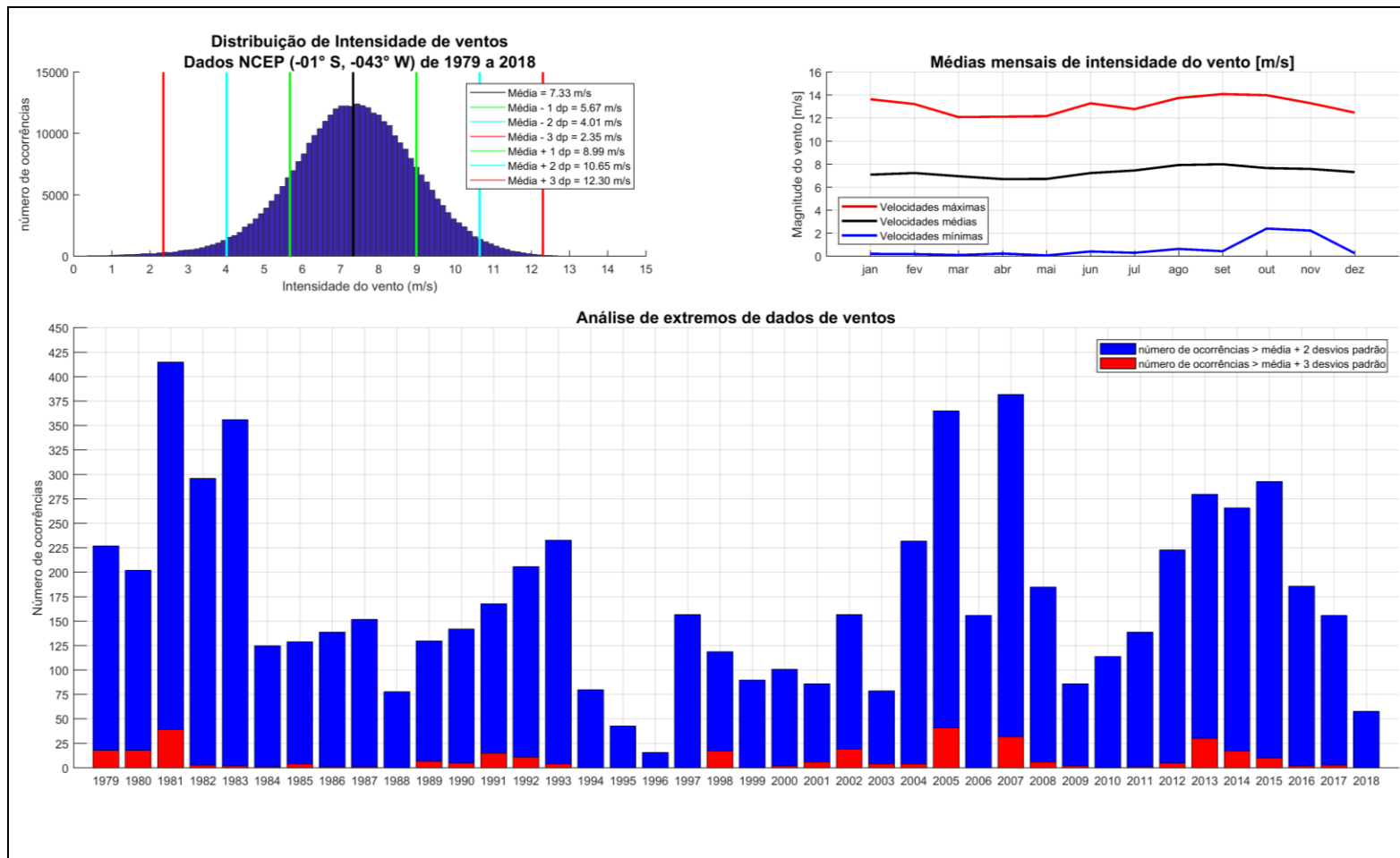


Figura II.6.1.1.1.5 - 2 - Estatística dos dados de ventos do NCEP de 1979 a 2018 nas coordenadas 01°S e 043°W.

Tabela II.6.1.1.1.5 - 2 - Ocorrência de eventos extremos ao longo dos anos (NCEP 1979 a 2018).

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
1979	6	0	0	0	0	0	4	0	0	2	1	5	18
1980	0	0	0	0	0	0	0	7	0	11	0	0	18
1981	0	28	0	0	0	0	0	6	5	0	0	0	39
1982	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
1983	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1987	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	7
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5
1991	0	0	0	0	0	1	10	4	0	0	0	0	15
1992	0	0	0	0	0	5	2	4	0	0	0	0	11
1993	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	17
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
2001	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6
2002	0	0	0	0	0	0	0	8	11	0	0	0	19
2003	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	4
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	4
2005	0	0	0	0	0	0	3	4	28	0	6	0	41
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	0	4	21	0	7	0	32
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6
2009	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
2012	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	5
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30
2014	0	0	0	0	0	0	0	11	0	6	0	0	17
2015	0	0	0	0	0	0	2	0	1	7	0	0	10
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

II.6.1.1.1.6 Considerações Finais

Foram apresentadas análises temporais e espaciais dos principais parâmetros e fenômenos meteorológicos da região das Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas e do entorno dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 (temperatura do ar, precipitação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica, insolação e ventos) de forma a fornecer uma caracterização geral da região.

Abaixo, na **Tabela II.6.1.1.1.6 - 1** é apresentado um sumário com a faixa de ocorrência comum (dentro da qual valores de determinada variável são esperados), médias sazonais, e valores extremos de todas as variáveis apresentadas, de forma a se ter um panorama geral da região e melhor correlacionar as variáveis.

Os valores de temperatura, precipitação, umidade relativa, pressão e ventos foram obtidos dos dados das reanálises do NCEP para o ponto mais próximo ao bloco. A faixa de ocorrência habitual considera os valores mínimos e máximos das médias mensais enquanto os valores extremos correspondem aos mínimos e máximos dos dados diários (exceto para a precipitação em que são consideradas as somas mensais). Já os valores de evaporação e insolação considerados são os das normais climatológicas do INMET na estação de São Luís-MA e, por isso, não apresentam os extremos diários.

Tabela II.6.1.1.6 - 1 - Sumário dos resultados.

Parâmetro	Faixa de ocorrência habitual	Média Período chuvoso	Média Período seco	Extremo (máx.)	Extremo (mín.)
Temperatura (°C)	27,4 – 27,8	27,5	27,4	30,4	24,0
Precipitação (kg/m ² /mês)	39 - 530	441	221	529	39
Umidade Relativa (%)	73 - 83	80	77	100	62
Pressão (hPa)	1.010 – 1.013	1.011	1.012	1.017	1.006
Evaporação (mm)	45 - 130	60	110	-	-
Insolação (horas/mês)	110 - 260	144	241	-	-
Vento (m/s)	3 - 10	5,34	6,79	13,23	-

Alguns parâmetros analisados apresentam correlação entre si nas características sazonais. De uma forma geral, todas as variáveis meteorológicas na região possuem correlação com a incidência de radiação solar e sua variação sazonal.

As variáveis de temperatura do ar, insolação e evaporação apresentam correlação direta e positiva entre essas forçantes, apresentando menores valores nos meses iniciais do ano e aumentam gradualmente durante o ano. Mesmo assim, por ser uma região equatorial, a variação da temperatura é homogênea dentro de uma faixa de oscilação considerada baixa. As variáveis precipitação e umidade relativa também apresentam um padrão sazonal, porém com correlação inversa com os parâmetros anteriores. A umidade relativa do ar é maior no verão e a combinação deste fator com maiores temperaturas do ar nas zonas tropicais resultam em maiores taxas de precipitação, muitas vezes influenciadas pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Os parâmetros pressão atmosférica e ventos apresentam correlação inversa com a taxa de incidência de radiação solar. No verão, devido ao aquecimento do hemisfério sul e maior aquecimento da porção continental, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atinge sua posição mais ao sul, os ventos Alísios de nordeste se intensificam, gerando os maiores valores absolutos de intensidade de vento na região. No período de maio a outubro, a ZCIT encontra-se mais ao norte, favorecendo a ocorrência de ventos de E e SE, na ordem de 12m/s (**Tabela II.6.1.1.1.5 - 1**

).

II.6.1.1.2 Oceanografia

II.6.1.1.2.1 Caracterização dos fenômenos de macroescala

A região das Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas sofre a influência direta da Corrente Norte do Brasil (CNB). Este fluxo é decorrente da divergência da Corrente Sul-Equatorial ao atingir a costa brasileira, formando a Corrente do Brasil (CB), que flui para sul, e a Subcorrente Norte do Brasil (SNB), que flui para norte. A SNB, ao receber contribuição superficial da Corrente Sul Equatorial Central (CSEc), forma a CNB (KRELLING, 2010; SOUSA, 2017).

Abaixo da SNB tem a Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCP) que é gerada nas regiões subpolares do Atlântico Norte e transporta as águas formadas neste sítio para o Hemisfério Sul. Sua trajetória e variabilidade tem sido estudada, mas informações acerca desta corrente no Atlântico Sul ainda são escassas (CALIXTO, 2017).

Na **Figura II.6.1.1.2.1- 1** é apresentado mapa esquemático das principais correntes no Atlântico Tropical em superfície. Esse mapa foi adaptado de Berger e Wefer (1996), que se basearam no estudo de Peterson e Stramma (1991).

Na segunda metade do ano, tipicamente de julho a setembro, a Corrente Norte do Brasil divide-se próximo a 8° N e 50° W: uma parte continua para Norte

próximo à costa, primeiro como Corrente das Guianas e depois como Corrente do Caribe; outra parte inflete-se para fora da costa, alimentando a Contracorrente Norte Equatorial (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, apenas a sua camada superficial alimenta a CCNE. As camadas inferiores, da termoclina e subtermoclina, alimentam a Corrente Equatorial Subsuperficial e a Corrente Norte Equatorial Subsuperficial (permanentemente retro-refletida entre 3°N e 5° N), respectivamente.

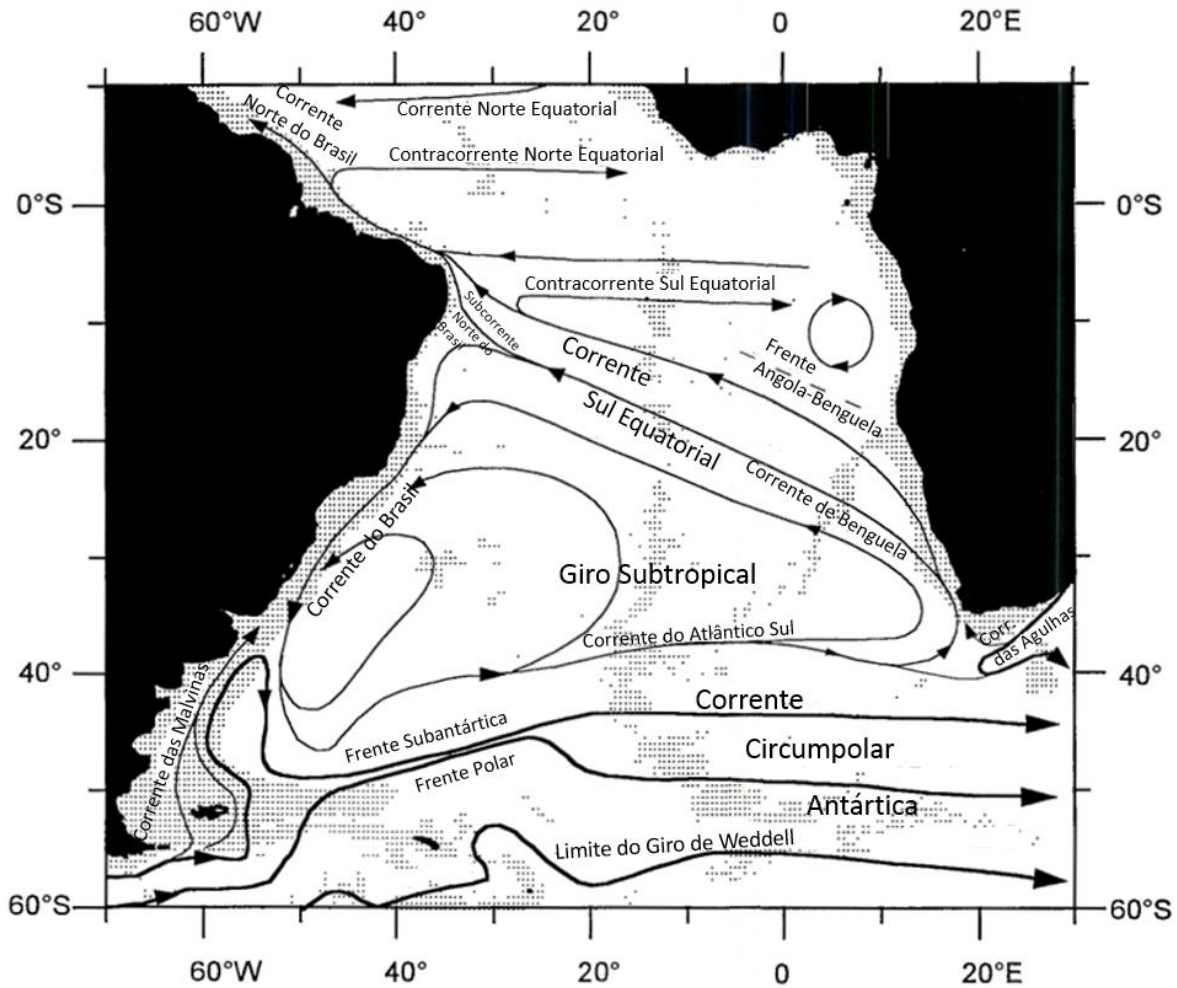


Figura II.6.1.1.2.1- 1 - Distribuição esquemática das principais correntes encontradas no Atlântico Sul.

Fonte: Berger e Wefer (1996), Adaptado por SLI

Na região da área de estudo, além da influência da circulação da CNB descrita anteriormente, ainda existe a influência direta da maré, sendo esta, um importante 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.6.1.1.2.1- 2** mostra a distribuição das amplitudes e fases da principal componente de maré (M2) no Oceano Atlântico. Pode-se notar um núcleo de maiores amplitudes na região da Bacia de Barreirinhas e adjacências.

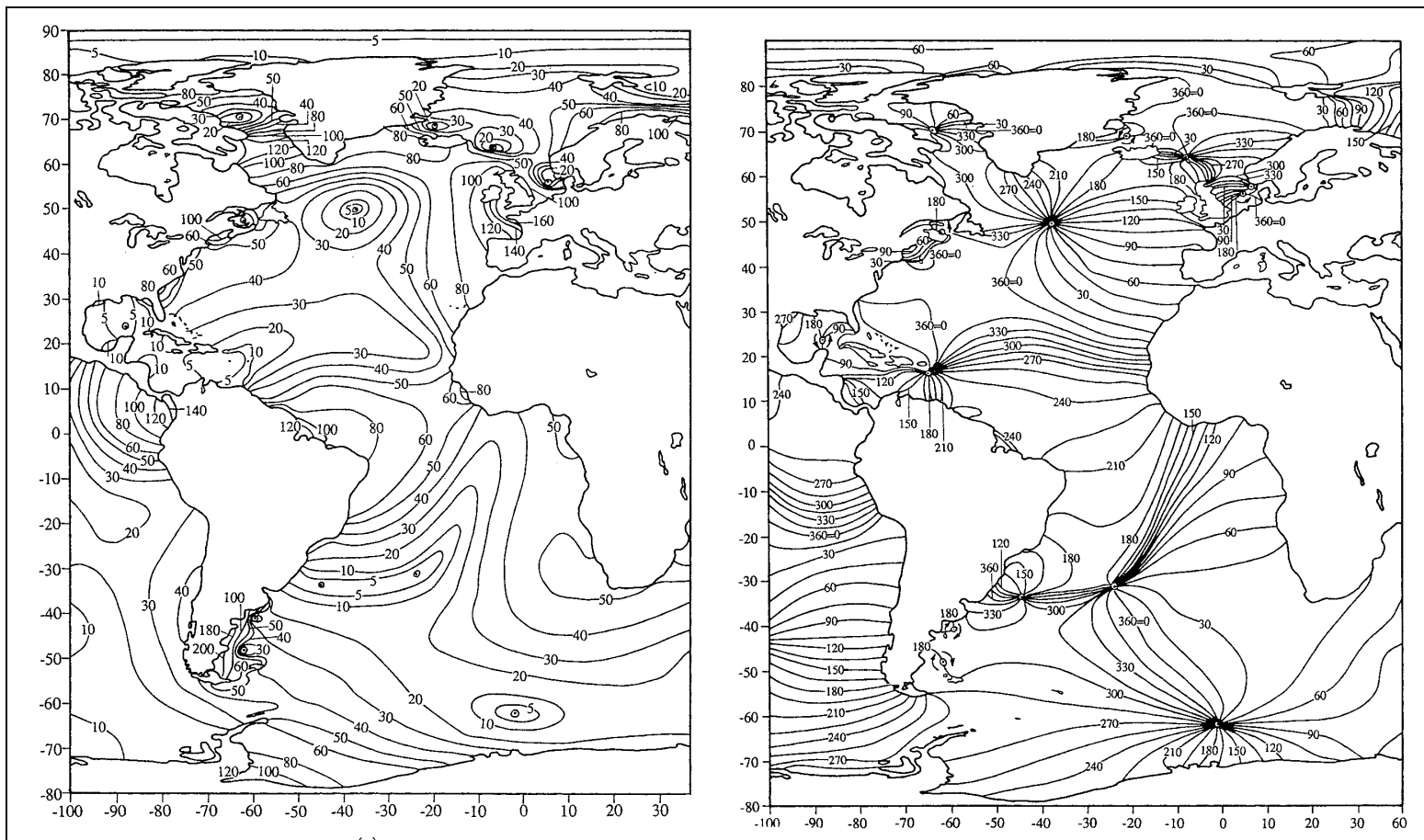


Figura II.6.1.2.1- 2 - Distribuição das amplitudes (cm) e fases (graus) da componente M2 da maré no Oceano Atlântico.

Fonte: Schwiderski (1979).

II.6.1.1.2.2 Caracterização dos fenômenos de mesoescala

Fenômenos de mesoescala ocorrem em escalas espaciais de dezenas a centenas de quilômetros, e escalas temporais de vários dias até meses. São de extrema importância para o entendimento da dinâmica pois são responsáveis por maior parte da energia cinética presente no oceano.

Neste estudo, a abordagem adotada na caracterização oceanográfica parte de uma caracterização regional das Bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas e, sempre que possível, apresenta as características particulares das proximidades dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

Para tanto, foram utilizados dados de referências bibliográficas e de diversas fontes, citadas a seguir, de acordo com o parâmetro analisado:

Temperatura e salinidade:

- Estimativa de temperatura da superfície do mar por imagens de satélite disponibilizados pelo NCOF (*National Center for Ocean Forecast*) através do produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*);
- Dados de temperatura e salinidade disponíveis no National Oceanographic Data Center (NODC) do WOA18 (*World Ocean Atlas 18*) e WOD09 (*World Ocean Database*);
- Dados de perfis verticais realizados em duas campanhas ao longo de quatro transectos: um na bacia de Barreirinhas (Transecto BAR-1) com em 7 estações, e três na bacia do Pará-Maranhão (Transectos PAMA 1 a PAMA 3) com 6 a 8 estações.

Corrente

- Dados de correntes da análise global do projeto MyOcean;
- Dados de derivadores do Global Drifter Program (GDP) do tipo WOCE-SVP.

- Dados de fundeio de com medições de corrente na bacia Barreirinhas (BAR), próximo à região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 (Fundeio BAR-1), além de mais dois fundeios na bacia Pará-Maranão (PAMA) (Fundeios PAMA 1 e PAMA 2).

Onda

- Dados de onda oriundos de um hindcast de mais de 30 anos realizado com o modelo WaveWatch III pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);

Maré

- Dados do modelo global de marés FES-2004 contendo a fase e a amplitude das principais constituintes de maré;

Os mapas a seguir, **Figura II.6.1.1.2.2- 1** e **Figura II.6.1.1.2.2- 2** mostram a localização e abrangência dos fundeio e transectos citados acima, respectivamente, cujos dados foram utilizados na caracterização da região.

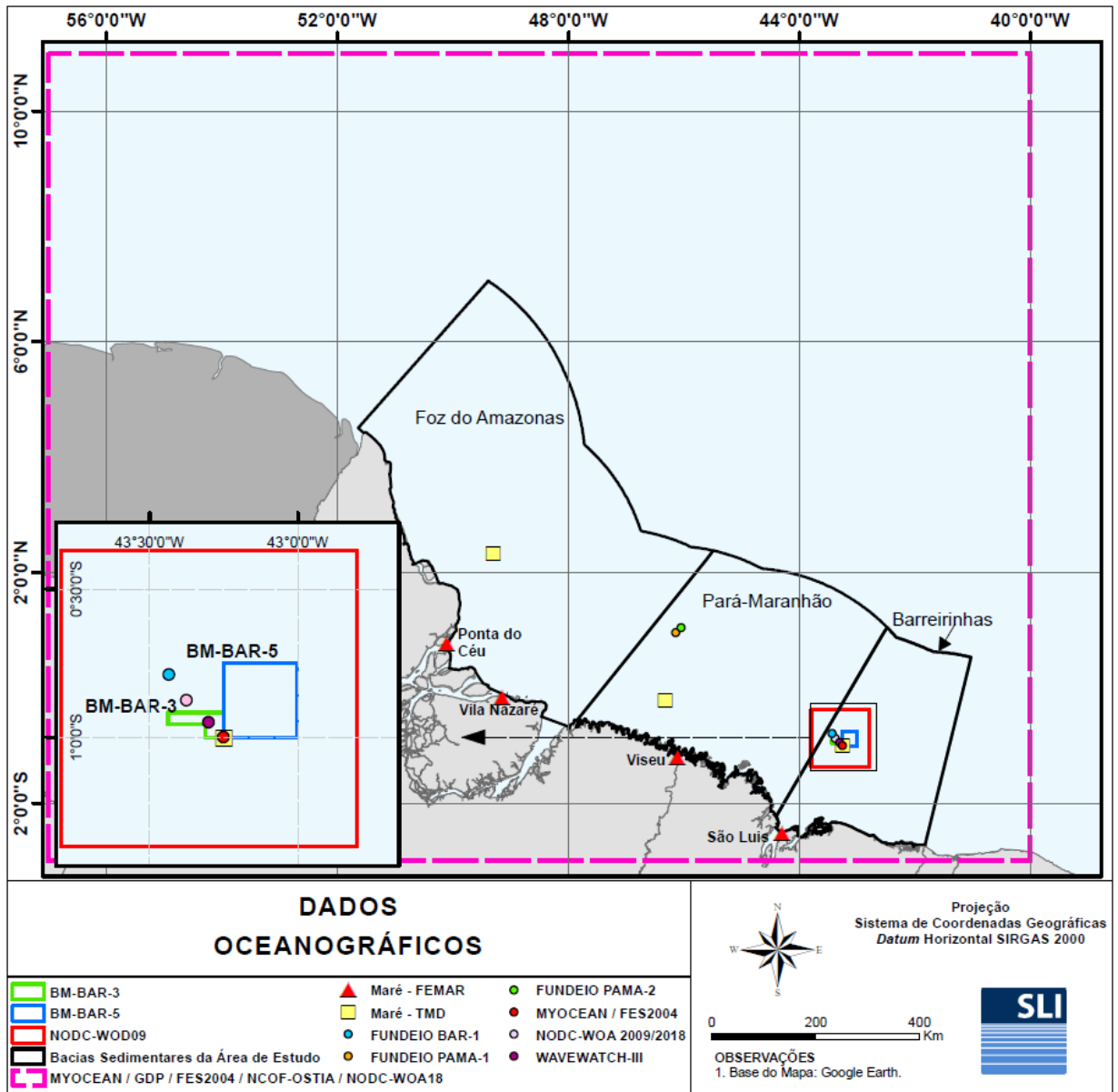


Figura II.6.1.1.2.2- 1 - Localização das fontes de dados oceanográficos utilizados na caracterização da área de estudo compreendendo as bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas e, em destaque, os blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

Na Tabela II.6.1.1.2.2- 1 e Tabela II.6.1.1.2.2- 2 tem-se um resumo com as fontes de dados utilizadas no estudo (Figura II.6.1.1.2.2- 1), e as suas respectivas localizações.

Tabela II.6.1.1.2.2- 1 - Localização das fontes de dados utilizadas – Áreas.

Fontes	Parâmetro	Latitude	Longitude	Período	Resolução espacial
NODC/WOA18	Temperatura	11° N – 3° S	40° W – 57° W	2005 - 2017	1/4° e em 33 profundidades da superfície a 5.500 m
	Salinidade				
	Densidade				
NCOF/OSTIA	Temperatura	11° N – 3° S	40° W – 57° W	17/03/2012 a 17/03/2013	6 km
NODC/WOD09	Temperatura	0,37° S – 1,37° S	42,8° W - 43,8° W	1911 - 2009	
	Salinidade				
FES-2004	Maré	11° N – 3° S	40° W – 57° W	-	1/8°
GDP	Correntes	11° N – 3° S	40° W – 57° W	1997 - 2012	
MyOcean	Correntes	11° N – 3° S	40° W – 57° W	08/03/2012 a 08/03/2013	1/6°

Tabela II.6.1.1.2.2- 2 - Localização das fontes de dados utilizadas – Pontos.

Fontes	Parâmetros	Latitude	Longitude	Período	
NODC/WOA18	Temperatura	0,875° S	43,375° W	2005 – 2017	
	Salinidade				
	Densidade				
WaveWatch III	Ondas	0,95° S	43,3° W	1979 – 2011	
FES-2004	Maré	1° S	43,25° W		
TMD	Maré	1° S	43,25° W	-	
		0,21° S	46,32° W		
		2,33° N	49,30° W		
FEMAR	Maré	São Luis	2,53° S	44,31° W	-
		Viseu	1,22° S	46,12° W	
		Vila Nazaré	0,16° S	49,15° W	
		Ponta do Céu	0,76° N	50,11° W	
MyOcean	Correntes	1° S	43,25° W	08/03/2012 a 08/03/2013	
Fundeio BAR-1	Correntes	00° 47' 21,2" S	43° 26' 07,1" W	19/04/2008 a 20/02/2009	
Fundeio PAMA-1 (LDA 200 m)	Correntes	0° 57' 24,84" N	46° 8' 22,2" W	Junho a dezembro de 2012	
Fundeio PAMA -2 (LDA 1500 m)	Correntes	1° 2' 23,64" N	46° 2' 30,12" W	Junho a dezembro de 2012	

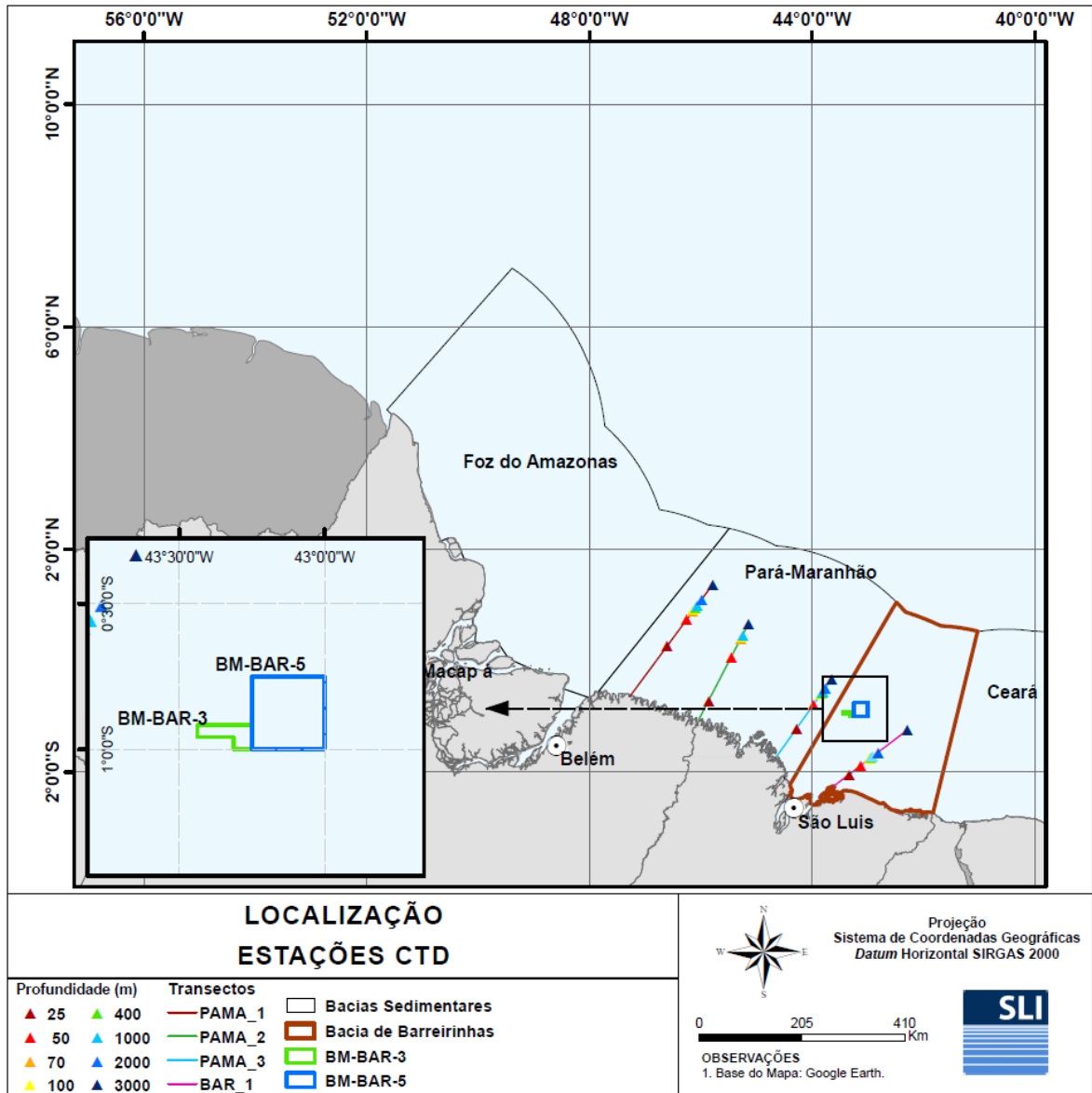


Figura II.6.1.1.2.2- 2 - Localização das estações de fundeio (CTD) ao longo dos transectos nas bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas.

A Tabela II.6.1.1.2.2- 3 e Tabela II.6.1.1.2.2- 4 apresentam as coordenadas e profundidades de cada estação e data e hora de coleta para ambas as campanhas, nas bacias de Barreirinhas (BAR) e Pará-Maranhão (PAMA), respectivamente.

Tabela II.6.1.1.2.2- 3 - Coordenadas das estações de coletas de dados (CTD) na Bacia de Barreirinhas (1º e 2º Campanhas).

BAR	Estação	Prof. Local (m)	Data	Hora	Latitude	Longitude
Transecto 1 (BAR_1)						
1º Campanha	B1_25	26	30/06/2012	20:24	-2,0390	-43,3350
	B1_50	50	01/07/2012	12:10	-1,8833	-43,1238
	B1_100	93	01/07/2012	14:47	-1,7615	-42,9670
	B1_400	421	01/07/2012	19:35	-1,7472	-42,9485
	B1_1000	1070	01/07/2012	21:44	-1,7265	-42,9217
	B1_2000	2000	02/07/2012	12:12	-1,6472	-42,8202
	B1_3000	3000	02/07/2012	20:47	-1,2450	-42,2935
Transecto 2 (BAR_2)						
2º Campanha	B1S_25	26	18/09/2012	19:17	-2,0392	-43,3347
	B1S_50	51	26/10/2012	23:32	-1,8832	-43,1238
	B1S_100	98	27/10/2012	17:27	-1,7615	-42,9670
	B1S_400	398	27/10/2012	14:53	-1,7472	-42,9485
	B1S_1000	996	27/10/2012	19:30	-1,7263	-42,9218
	B1S_2000	1980	28/10/2012	13:06	-1,6465	-42,8200
	B1S_3000	2980	31/10/2012	15:48	-1,2450	-42,2935

Tabela II.6.1.1.2.2- 4 - Coordenadas das estações de coletas de dados (CTD) na bacia do Pará-maranhão (1º e 2º Campanhas de 3 transectos).

PAMA	Estação	Prof. Local (m)	Data	Hora	Latitude	Longitude
Transecto 1 (PAMA_1)						
1º Campanha	P1_25	34	28/05/2012	12:20	0,2672	-46,6065
	P1_50	61	28/05/2012	19:21	0,7397	-46,2569
	P1_70	73	28/05/2012	22:38	0,8908	-46,1451
	P1_100	102	29/05/2012	12:51	0,9260	-46,1190
	P1_400	401	29/05/2012	17:16	0,9532	-46,0989
	P1_1000	1055	30/05/2012	16:18	0,9915	-46,0706
	P1_2000	2080	31/05/2012	22:53	1,1001	-45,9849
	P1_3000	3036	01/06/2012	15:37	1,3755	-45,7830
Transecto 2 (PAMA_2)						
2º Campanha	P2_25	32	07/06/2012	12:17	-0,7248	-45,8530
	P2_50	50	06/06/2012	12:58	0,0681	-45,4496
	P2_70	77	05/06/2012	22:48	0,4027	-45,2782

PAMA	Estação	Prof. Local (m)	Data	Hora	Latitude	Longitude	
	P2_100	102	05/06/2012	21:33	0,4278	-45,2662	
	P2_1000	1012	05/06/2012	18:54	0,4641	-45,2480	
	P2_3000	3043	04/06/2012	14:04	0,6610	-45,1469	
	Transecto 3 (PAMA_3)						
	P3_25	26	26/06/2012	17:24	-1,2166	-44,2768	
	P3_50	48	26/06/2012	21:40	-0,7857	-43,9735	
	P3_100	99	27/06/2012	12:12	-0,5971	-43,8397	
	P3_400	413	28/06/2012	12:23	-0,5824	-43,8289	
	P3_1000	920	27/06/2012	15:55	-0,5544	-43,8076	
	P3_2000	2033	28/06/2012	20:10	-0,5021	-43,7695	
	P3_3000	2995	03/07/2012	21:25	-0,3300	-43,6509	
	Transecto 1 (PAMA_1)						
	2º Campanha	P1S_25	33	11/11/2012	14:17	0,2668	-46,6072
P1S_50		62	11/11/2012	19:49	0,7397	-46,2568	
P1S_70		74	11/11/2012	22:11	0,8907	-46,1452	
P1S_100		102	11/11/2012	23:10	0,9260	-46,1190	
P1S_400		405	12/11/2012	13:26	0,9530	-46,0990	
P1S_1000		1069	12/11/2012	15:11	0,9915	-46,0708	
P1S_2000		1941	12/11/2012	18:27	1,0998	-45,9848	
P1S_3000		3061	16/11/2012	21:48	1,3750	-45,7827	
Transecto 2 (PAMA_2)							
P2S_25		29	09/11/2012	13:10	-0,7248	-45,8527	
P2S_50		50	19/11/2012	14:36	0,0675	-45,4492	
P2S_70		76	19/11/2012	17:45	0,4023	-45,2780	
P2S_100		102	19/11/2012	18:53	0,4280	-45,2660	
P2S_1000		959	19/11/2012	20:09	0,4635	-45,2483	
P2S_3000		2895	18/11/2012	14:21	0,6608	-45,1472	
Transecto 3 (PAMA_3)							
P3S_25		25	08/11/2012	22:45	-1,2163	-44,2770	
P3S_50		49	04/11/2012	21:12	-0,7858	-43,9732	
P3S_100		105	04/11/2012	18:45	-0,5972	-43,8397	
P3S_400		430	04/11/2012	17:20	-0,5830	-43,8290	
P3S_1000		1155	04/11/2012	14:49	-0,5547	-43,8075	
P3S_2000	2070	08/11/2012	12:48	-0,5018	-43,7692		
P3S_3000	2995	01/11/2012	15:44	-0,3293	-43,6495		

Abaixo, na **Figura II.6.1.1.2.2- 3**, é apresentado o mapa batimétrico da região. A profundidade da área dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 varia entre aproximadamente 1.600 e 2.200 metros.

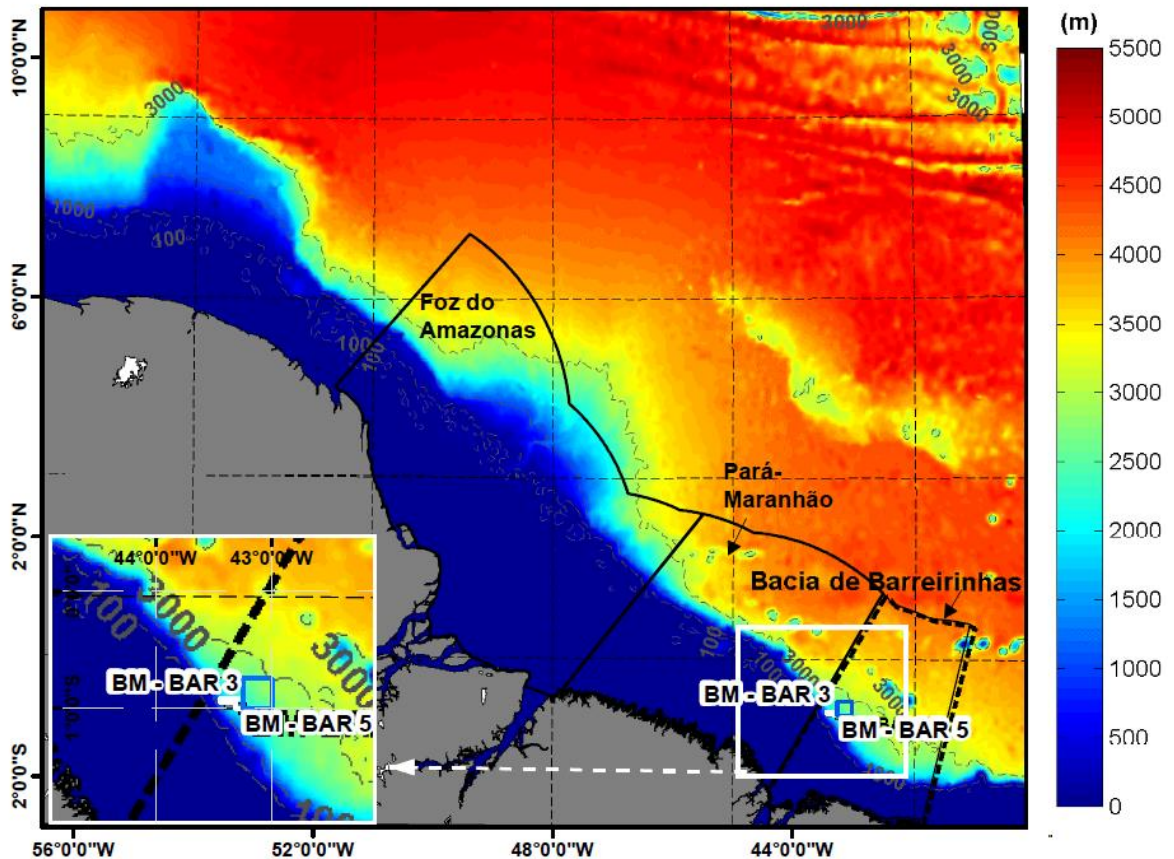


Figura II.6.1.1.2.2- 3 - Mapa batimétrico da área de estudo. A linha preta tracejada indica o contorno da Bacia de Barreirinhas. Os polígonos branco e azul indicam a posição dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, respectivamente.

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

II.6.1.1.2.2.1 *Temperatura, Salinidade e Densidade*

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 como reservatório de sal, gases e calor (FERRERO & WAINER, 2008).

Para caracterização dos dados de temperatura na superfície do mar foram usados dados estimados por satélite (OSTIA), para temperatura, salinidade e densidade na superfície. Para a coluna d'água foram utilizados dados do WOA18, e dados medidos nas campanhas das bacias de Barreirinhas e Pará-Maranhão.

a) **Temperatura**

Para a temperatura da superfície do mar foram utilizados ainda dados satelitais disponibilizados pelo NCOF (*National Center for Ocean Forecast*) através do produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*) para o período de março de 2012 a março de 2013. Este produto abrange todo o globo e possui alta resolução (cerca de 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 (STARK *et al.* 2007).

As médias de TSM sazonais de verão (dezembro a maio) e inverno (junho a novembro) são apresentadas na **Figura II.6.1.1.2.2.1- 1** e **Figura II.6.1.1.2.2.1- 2**, respectivamente.

TSM - OSTIA | VERÃO

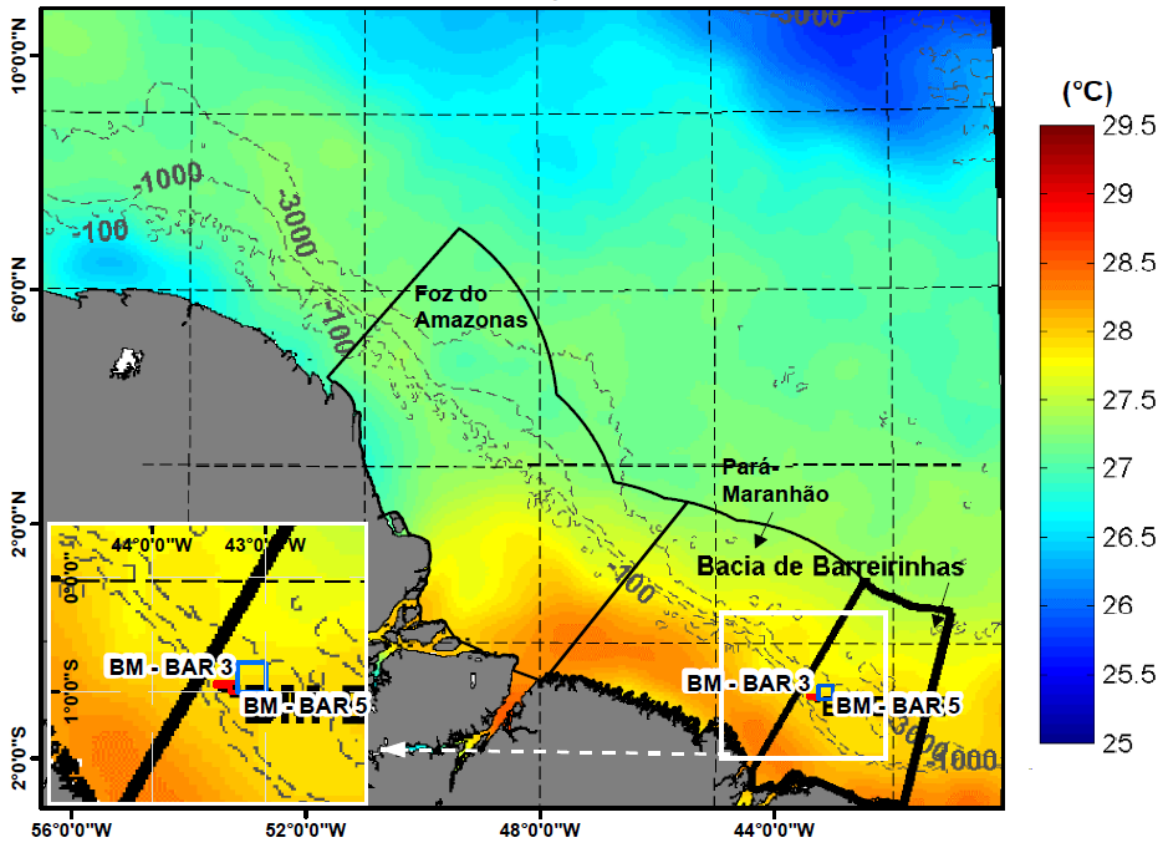


Figura II.6.1.1.2.2.1 - 1 - Temperatura da superfície do mar na Área de Estudo, para o período de verão a partir de dados de março de 2012 a março de 2013 estimados por satélite (OSTIA). Os retângulos vermelho e azul representam a localização dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, respectivamente.

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

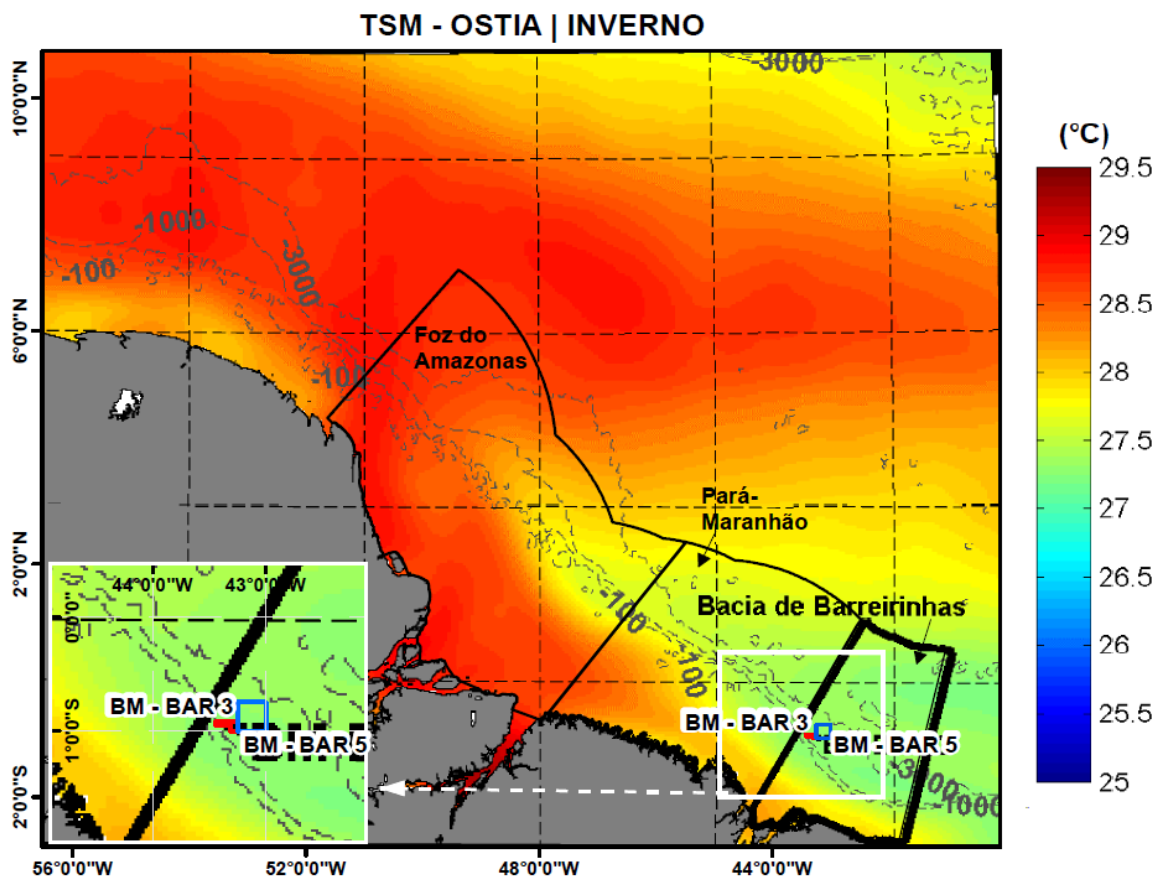


Figura II.6.1.1.2.2.1 - 2 - Temperatura da superfície do mar na Área de Estudo, para o período de inverno a partir de dados de março de 2012 a março de 2013 estimados por satélite (OSTIA). Os retângulos vermelho e azul representam a localização dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, respectivamente.

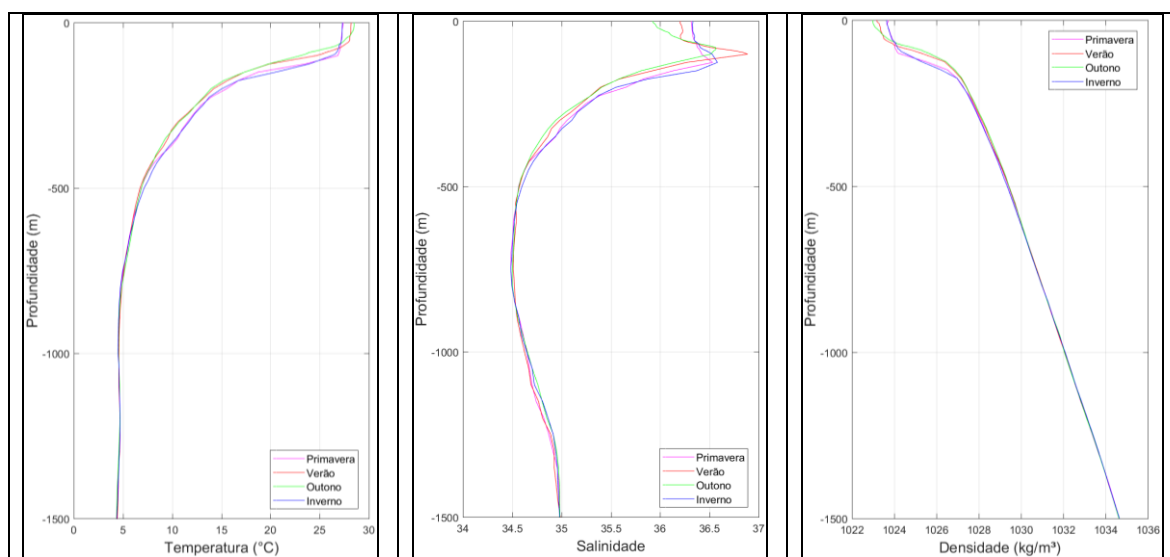
Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

Temperatura, Salinidade e Densidade na superfície e coluna d'água

Os campos que compõem a base de dados da climatologia WOA18 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 utiliza dados irregularmente espaçados, gerando uma base em grade global com resolução espacial de $1/4^\circ$. Estes campos são tridimensionais e os dados são interpolados em 33 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 2005 e 2017. Os dados da climatologia WOA18 podem ser obtidos através da sua página na internet (<http://data.nodc.noaa.gov/woa/WOA18>). Maiores informações sobre as bases climatológicas de temperatura e salinidade podem ser obtidas em Locarnini *et al.* (2009) e Antonov *et al.* (2010).

Para os perfis de temperatura, salinidade e densidade, os dados da climatologia do WOA18 utilizados foram extraídos do ponto de grade mais próximo aos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, localizado em 0,875° S e 43,375° W (**Figura II.6.1.1.2.2- 1**). Os perfis de temperatura, salinidade e densidade para as 4 estações do ano são apresentados na **Figura II.6.1.1.2.2.1- 3**.



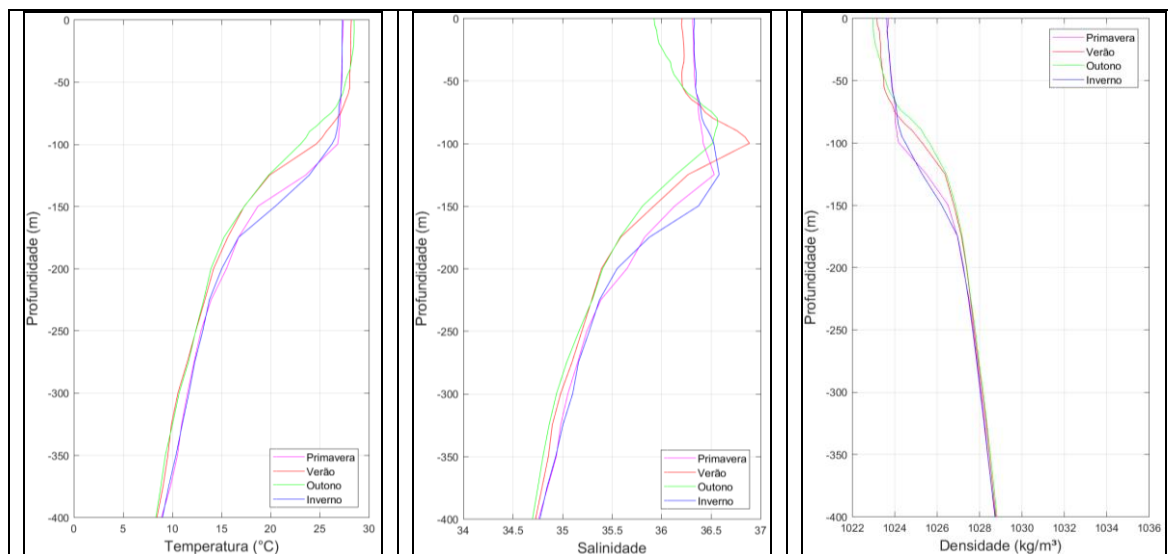


Figura II.6.1.1.2.2.1- 3 - Perfis de temperatura, salinidade e densidade climatológicas para as quatro estações do ano na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 (acima) e detalhamento nos primeiros 400 metros da coluna d'água (abaixo).

Em parte, as variações sazonais observadas na temperatura da superfície do mar estão relacionadas às variações na intensidade da radiação solar e na salinidade estão relacionadas às variações nas taxas de precipitação e evaporação. Estas variações são mais pronunciadas nos primeiros metros de profundidade.

As maiores temperaturas ocorrem na superfície, no entanto não há uma grande variação ao longo do ano, com valores em torno de 27,6°C no verão e outono e 27°C no inverno e primavera. Quanto à salinidade superficial, os maiores valores (cerca de 36,1) são observados na primavera, verão e inverno, e os menores (35,7) no outono. O máximo de salinidade (cerca de 36,5) foi observado a 75 m de profundidade.

Também é possível obter uma boa estimativa da variabilidade espacial da temperatura e da salinidade climatológicas na região da Bacia de Barreirinhas a partir da climatologia sazonal do WOA18.

A seguir, na **Figura II.6.1.1.2.2.1- 4**, **Figura II.6.1.1.2.2.1- 6** e **Figura II.6.1.1.2.2.1- 8** são apresentadas a temperatura climatológica em superfície, 400m e 1500m, respectivamente, para toda a bacia no período chuvoso (dezembro a maio). E na **Figura II.6.1.1.2.2.1- 5**, **Figura II.6.1.1.2.2.1- 7** e **Figura II.6.1.1.2.2.1- 9** são apresentadas a temperatura climatológica em superfície, 400m e 1500m, respectivamente, no período seco (junho a novembro). Destaca-se que, embora a maior parte da região estudada esteja no Hemisfério Norte, foram considerados os períodos de verão e inverno relativos ao Hemisfério Sul devido à localização dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

A temperatura superficial é maior no período chuvoso, próximo a costa. Já a 400 m observa-se águas mais quentes no período seco. Em regiões profundas, a 1500 m, não se observa variações de temperatura espacial ou sazonal.

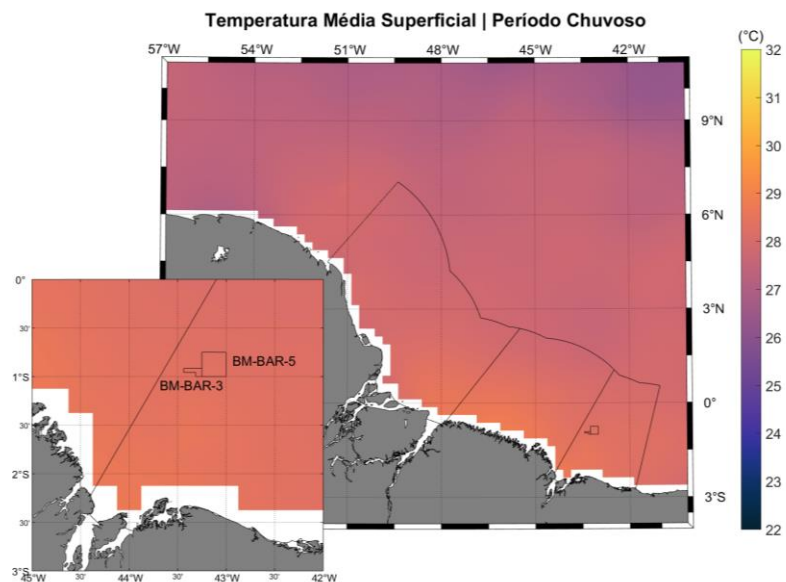


Figura II.6.1.1.2.2.1- 4 - Temperatura climatológica superficial na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período chuvoso (dezembro a maio) a partir de dados WOA18.

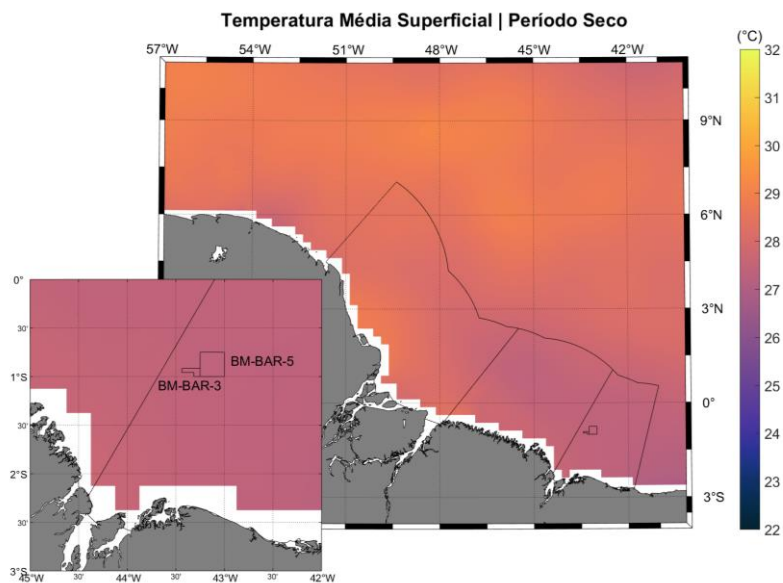


Figura II.6.1.1.2.2.1- 5 - Temperatura climatológica superficial na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período seco (junho a novembro) a partir de dados WOA18.

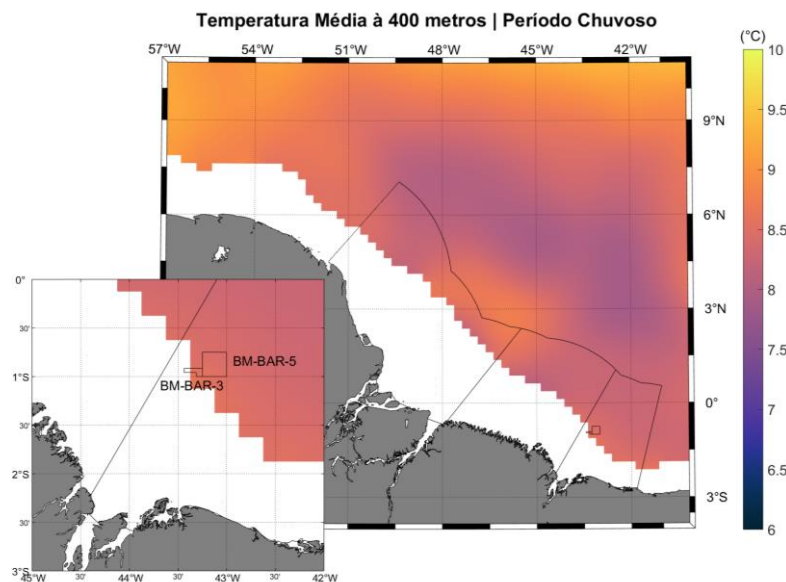


Figura II.6.1.1.2.2.1- 6 - Temperatura climatológica a 400m de profundidade, Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período chuvoso (dezembro a maio) a partir de dados WOA18.

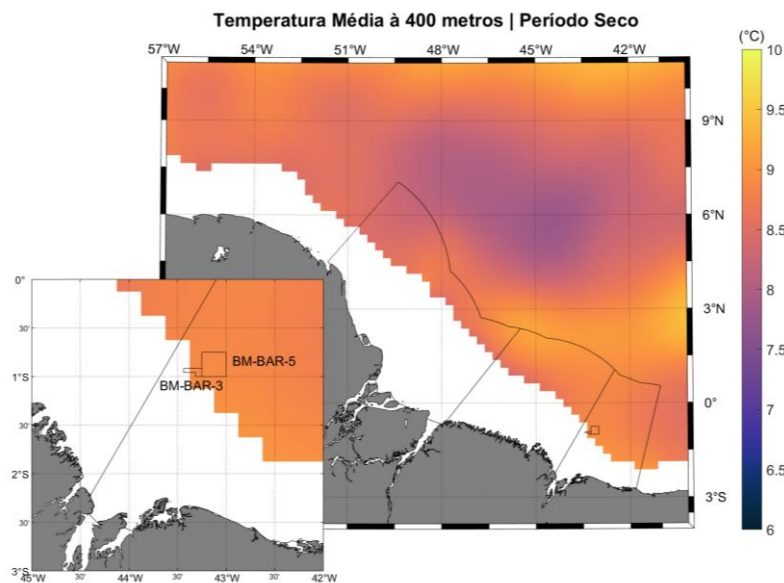


Figura II.6.1.1.2.2.1- 7 - Temperatura climatológica a 400m de profundidade, na Área de Estudo com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período seco (junho a novembro) a partir de dados WOA18.

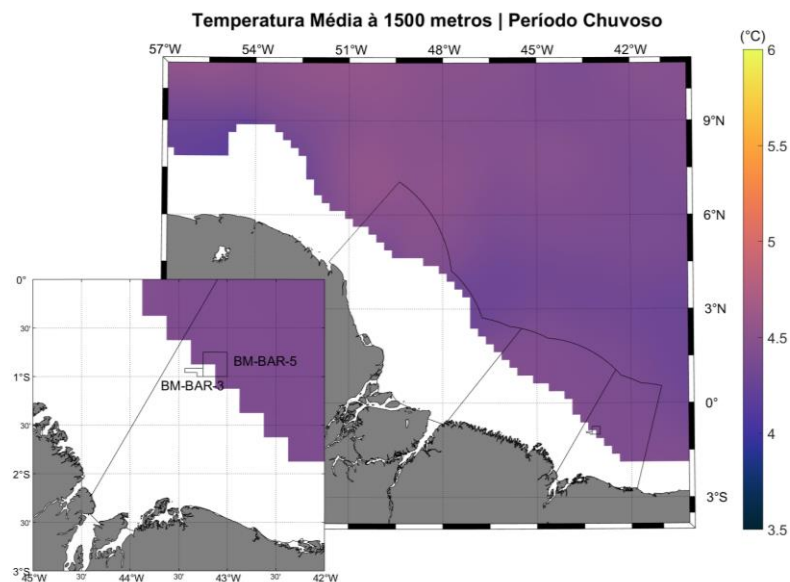


Figura II.6.1.1.2.2.1- 8 - Temperatura climatológica a 1500m de profundidade, na Área de Estudo com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período chuvoso (dezembro a maio) a partir de dados WOA18.

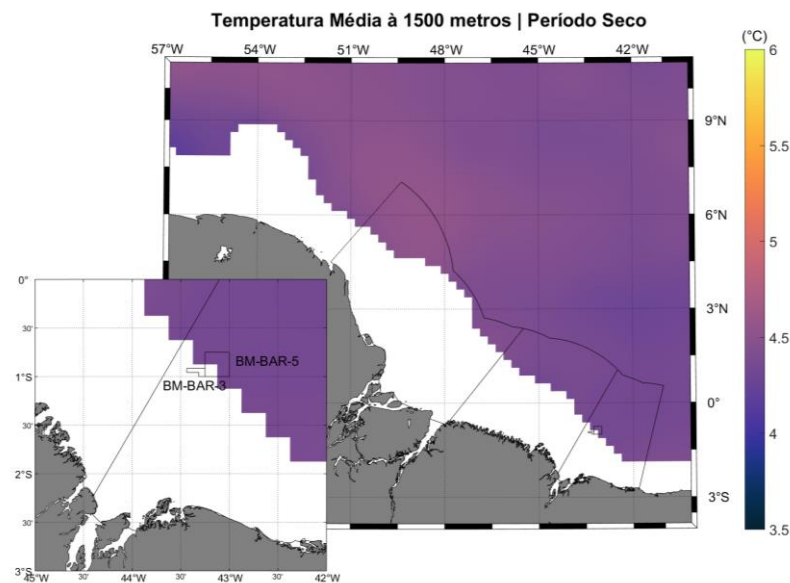


Figura II.6.1.1.2.2.1- 9 - Temperatura climatológica a 1500m de profundidade, na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período seco (junho a novembro) a partir de dados WOA18.

Na **Tabela II.6.1.1.2.2.1- 1** observa-se a variação da temperatura climatológica, em toda a região analisada nas três bacias sedimentares e no ponto mais próximo aos blocos. Como a maior parte da área considerada se encontra no Hemisfério Norte e os blocos no Hemisfério Sul, os valores mínimos, médios e máximos apresentam padrão sazonal contrário quando considerada toda a área e quando considerado apenas o ponto próximo aos blocos.

Tabela II.6.1.1.2.2.1- 1 - Variação da temperatura climatológica superficial.

	Verão				Inverno			
	Mínima (°C)	Média (°C)	Máxima (°C)	D. Padrão (°C)	Mínima (°C)	Média (°C)	Máxima (°C)	D. Padrão (°C)
Área de Estudo	25,29	26,93	28,45	0,18	26,62	28,01	29,05	0,12
Blocos	27,58	27,62	27,66	0,04	26,97	27,01	27,04	0,03

Com relação à salinidade nas bacias Barreirinhas, Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, a **Figura II.6.1.1.2.2.1- 10**, **Figura II.6.1.1.2.2.1- 12** e **Figura II.6.1.1.2.2.1- 14** apresentam os mapas climatológicos de salinidade superficial, 400m e 1500m, respectivamente, elaborados a partir dos dados WOA18 do NODC, para o período chuvoso. E, a **Figura II.6.1.1.2.2.1- 11**, **Figura II.6.1.1.2.2.1- 13** e **Figura II.6.1.1.2.2.1- 15** apresentam os mapas climatológicos de salinidade superficial, 400m e 1500m, respectivamente, para o período seco.

Pode-se observar a redução da salinidade na superfície durante o período chuvoso, nas regiões próximo à costa, principalmente na Foz do rio Amazonas e Pará visto o grande volume de água descarregado no oceano (mais detalhes na descrição dos estuários, **II.6.1.1.2.3**). Em níveis mais profundos (400m e 1500m), pode-se considerar que não há variação significativa de salinidade, seja espacial ou sazonal.

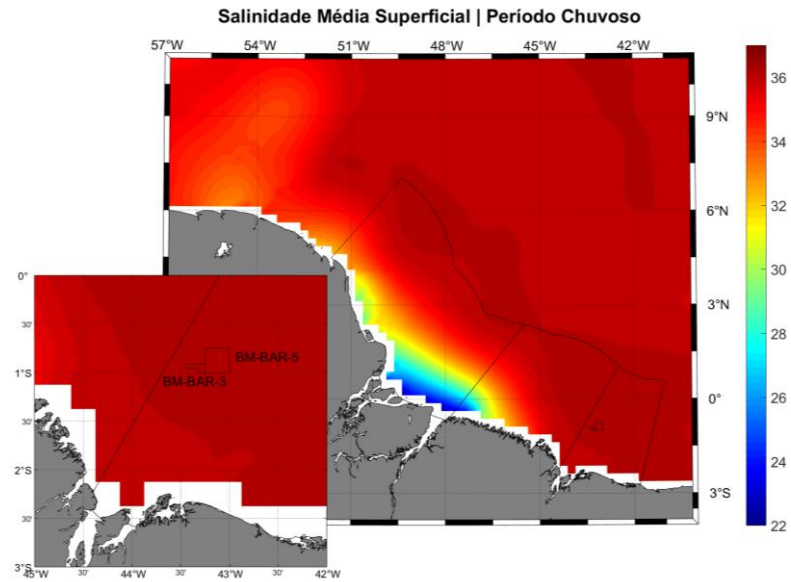


Figura II.6.1.1.2.2.1- 10 - Salinidade climatológica superficial na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período chuvoso a partir de dados WOA18.

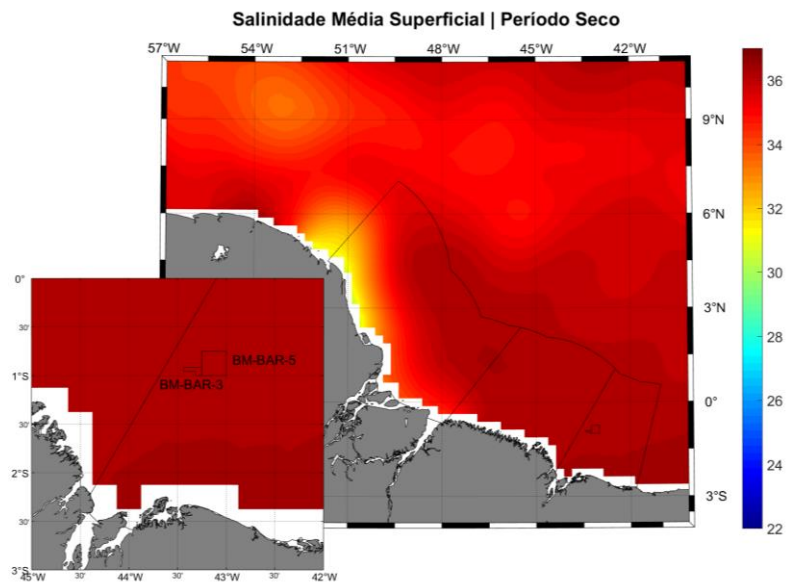


Figura II.6.1.1.2.2.1- 11 - Salinidade climatológica superficial Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período seco a partir de dados WOA18.

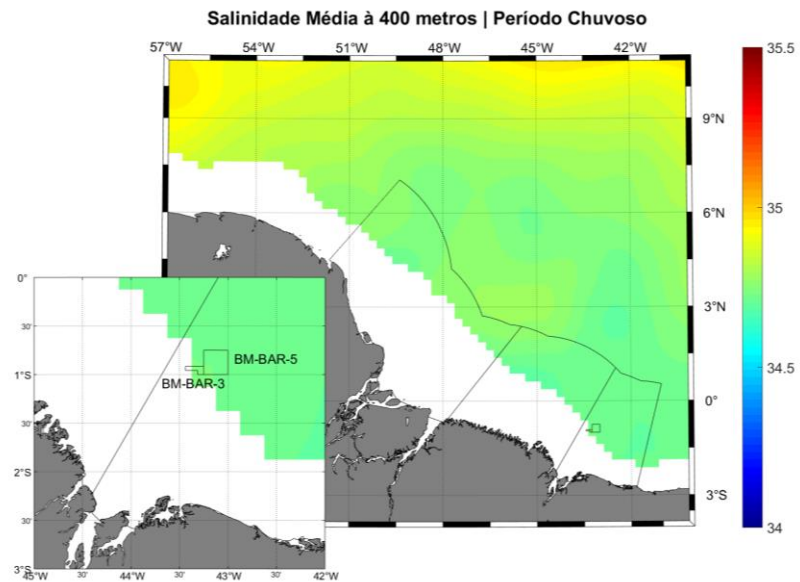


Figura II.6.1.1.2.2.1- 12 - Salinidade climatológica a 400m de profundidade na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período chuvoso a partir de dados WOA18.

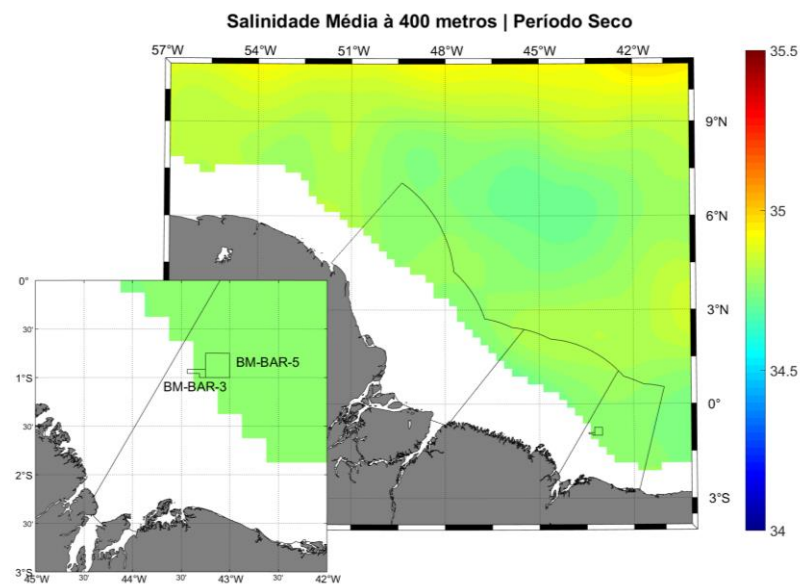


Figura II.6.1.1.2.2.1- 13 - Salinidade climatológica a 400m de profundidade na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período seco a partir de dados WOA18.

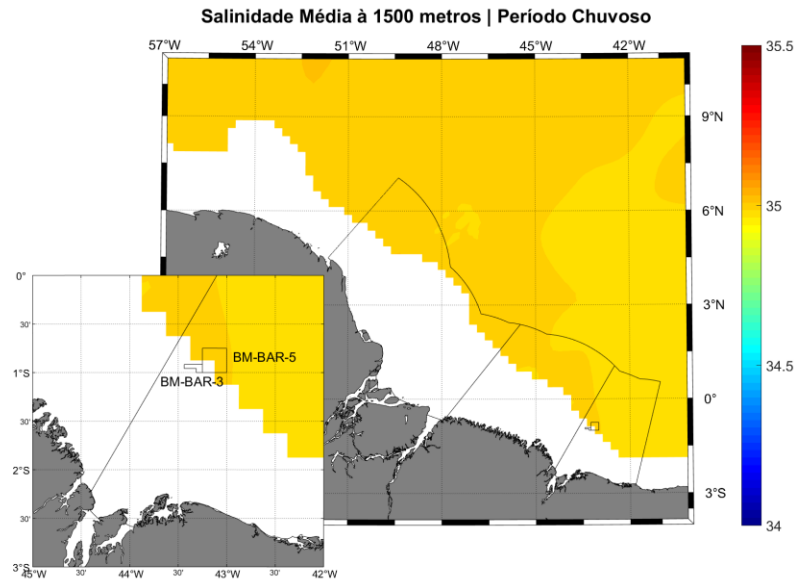


Figura II.6.1.1.2.2.1- 14 - Salinidade climatológica a 1500m de profundidade na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período chuvoso a partir de dados WOA18.

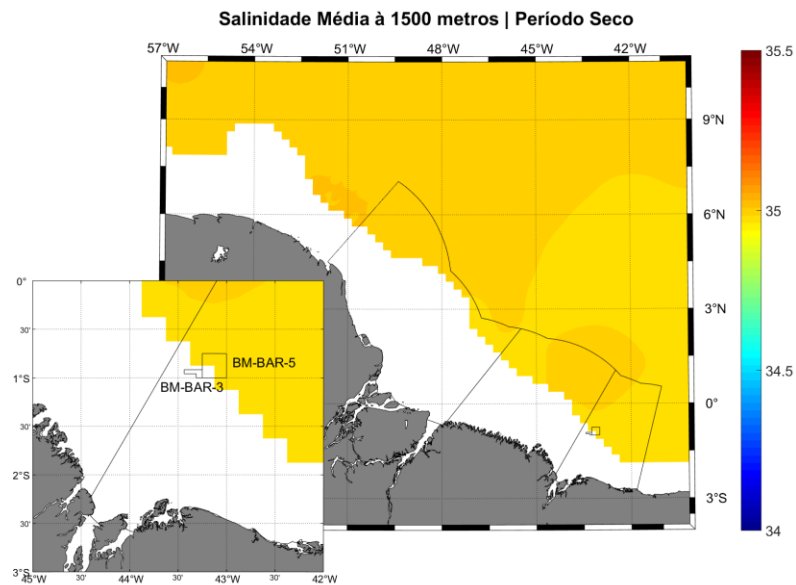


Figura II.6.1.1.2.2.1- 15 - Salinidade climatológica a 1500m de profundidade na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período seco a partir de dados WOA18.

Considerando toda a região analisada, verifica-se o gradiente de salinidade devido à desembocadura do rio Amazonas. Sazonalmente, a área de influência da água doce do rio é mais restrita no verão e se estende mais a norte no inverno.

Já na região da Bacia de Barreirinhas não são observadas grandes variações sazonais e o gradiente de salinidade é consideravelmente menor. De modo geral, são encontradas águas mais salinas na porção mais ao sul da bacia, mais próximo à costa. Na **Tabela II.6.1.1.2.2.1- 2** observa-se a variação da salinidade climatológica para toda a área analisada e para o ponto mais próximo aos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

Tabela II.6.1.1.2.2.1- 2 - Variação da salinidade climatológica superficial.

	Verão				Inverno			
	Mínima	Média	Máxima	D. Padrão	Mínima	Média	Máxima	D. Padrão
Área de Estudo	7,62	33,42	36,68	4,55	8,78	32,77	39,34	3,60
Blocos	36,05	36,10	36,15	0,05	36,01	36,06	36,09	0,04

Na **Figura II.6.1.1.2.2.1- 16**, **Figura II.6.1.1.2.2.1- 18** e **Figura II.6.1.1.2.2.1- 20** são apresentados os mapas climatológicos de densidade superficial, 400m e 1500m, respectivamente, para os períodos chuvoso. E na **Figura II.6.1.1.2.2.1- 17**, **Figura II.6.1.1.2.2.1- 19** e **Figura II.6.1.1.2.2.1- 21** são apresentados os mapas climatológicos de densidade superficial, 400m e 1500m, respectivamente, para os período seco.

Na camada superficial, não é observada variação significativa de densidade com relação a sazonalidade, exceto para os menores valores de densidade observados na costa do Amapá, devido a pluma do rio Amazonas. Assim como os mapas de salinidade e temperatura, não são observadas variações significativas de densidade em maiores profundidades.

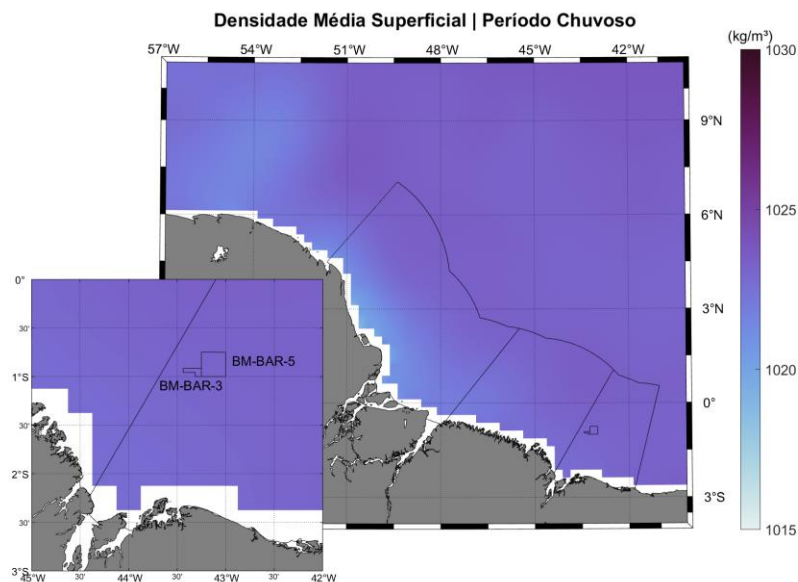


Figura II.6.1.1.2.2.1- 16 - Densidade climatológica superficial na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período chuvoso (dezembro a maio) a partir de dados WOA18.

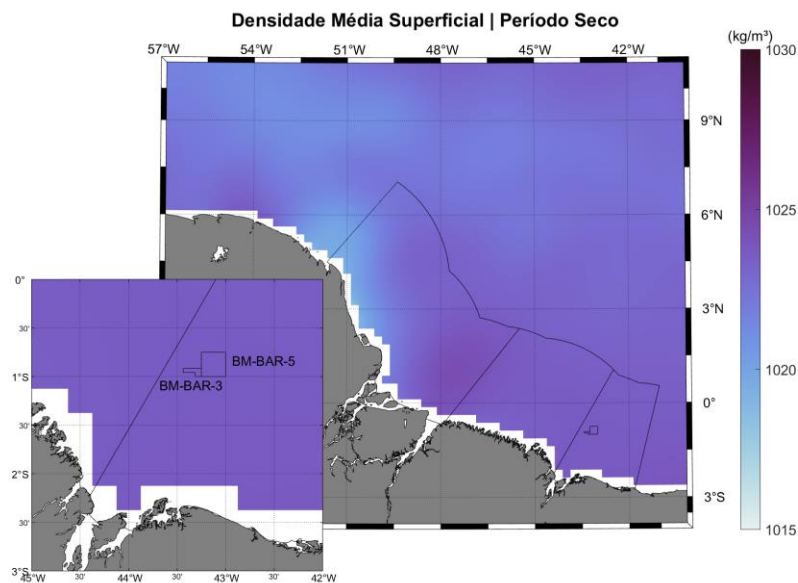


Figura II.6.1.1.2.2.1- 17 - Densidade climatológica superficial na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período seco (junho a novembro) a partir de dados WOA18.

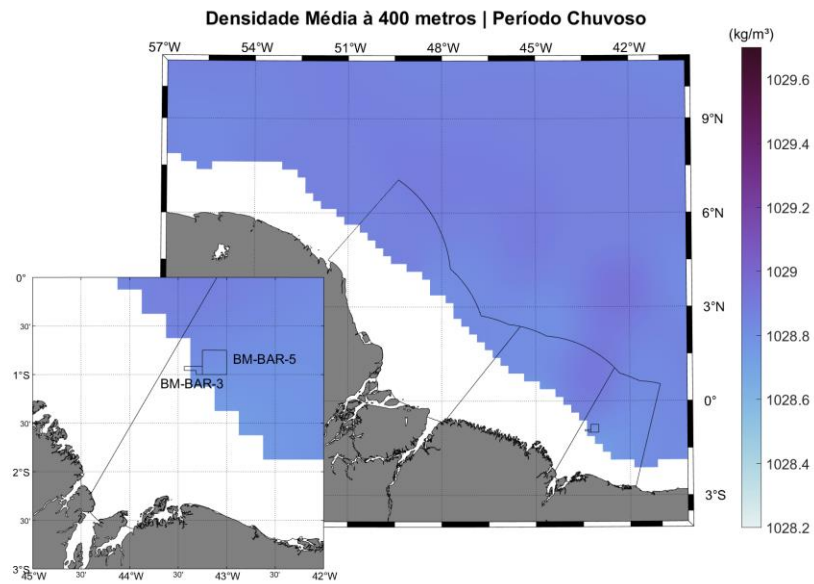


Figura II.6.1.1.2.2.1- 18 - Densidade climatológica a 400m de profundidade na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período chuvoso (dezembro a maio) a partir de dados WOA18.

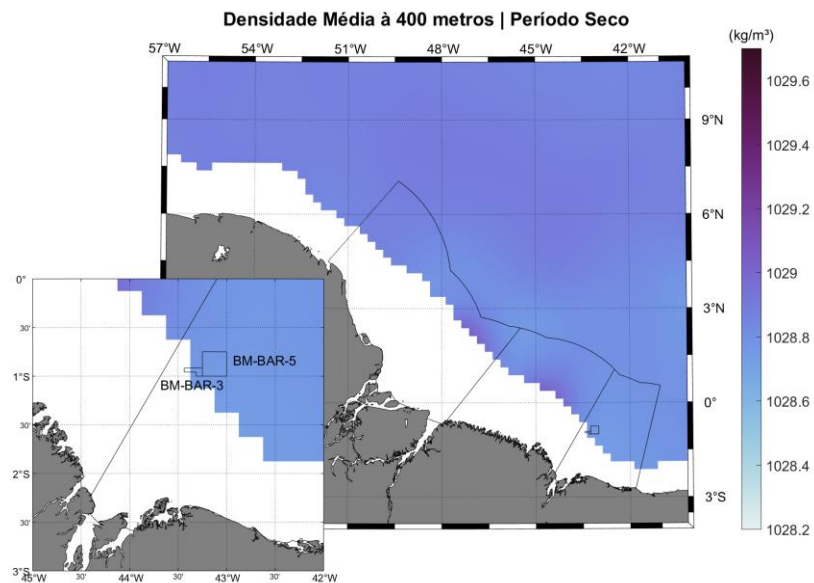


Figura II.6.1.1.2.2.1- 19 - Densidade climatológica a 400m de profundidade na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período seco (junho a novembro) a partir de dados WOA18.

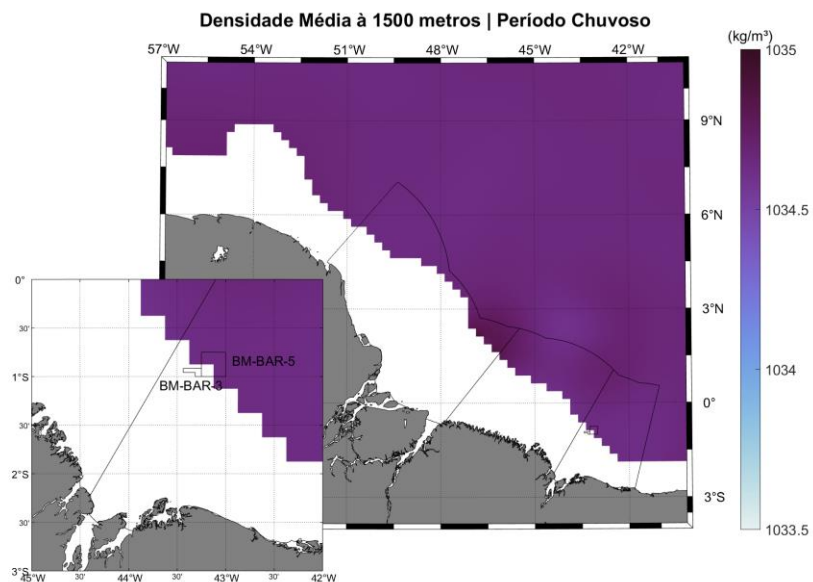


Figura II.6.1.1.2.2.1- 20 - Densidade climatológica a 1500m de profundidade na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período chuvoso (dezembro a maio) a partir de dados WOA18.

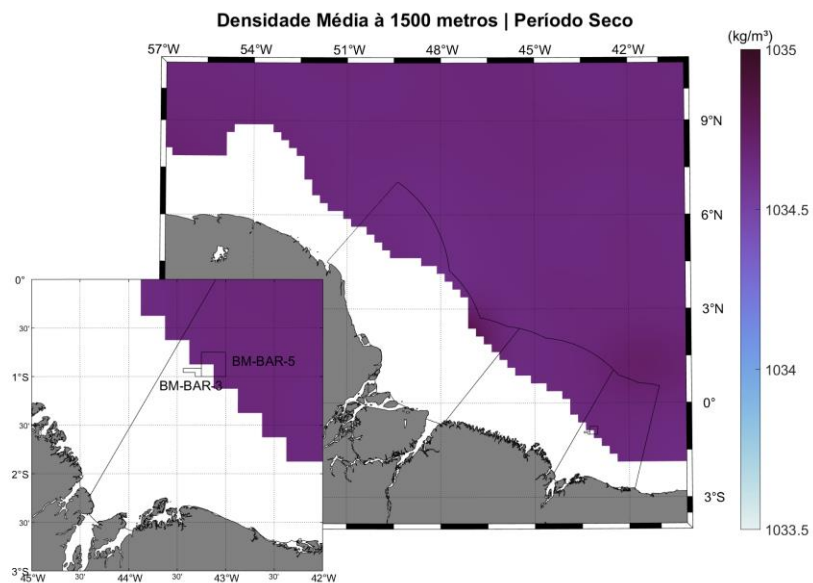


Figura II.6.1.1.2.2.1- 21 - Densidade climatológica a 1500m de profundidade na Área de Estudo, com destaque para região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, para o período seco (junho a novembro) a partir de dados WOA18.

Na **Tabela II.6.1.1.2.2.1- 3** observa-se a variação da densidade climatológica para toda a área analisada e para o ponto mais próximo aos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

Tabela II.6.1.1.2.2.1- 3 - Variação da densidade (kg/m³) climatológica superficial.

	Verão				Inverno			
	Mínima (kg/m ³)	Média (kg/m ³)	Máxima (kg/m ³)	D. Padrão (kg/m ³)	Mínima (kg/m ³)	Média (kg/m ³)	Máxima (kg/m ³)	D. Padrão (kg/m ³)
Área de Estudo	1001,89	1021,56	1024,16	3,44	1002,48	1020,73	1025,68	2,66
Blocos	1023,30	1023,35	1023,40	0,05	1023,49	1023,51	1023,53	0,02

Perfil de Temperatura, Salinidade e Densidade

Para complementar os dados de bases internacionais, foram analisados dados de perfis verticais de temperatura dos transectos realizados nas bacias de Barreirinhas e Pará-Maranhão.

Em ambas as campanhas não há grandes variações verticais de temperatura nas regiões mais próximas à costa, como exemplificado na **Figura II.6.1.1.2.2.1- 22** a **Figura II.6.1.1.2.2.1- 23** para a 1^o campanha dos transectos BAR-1 e PAMA-2 (CENPES, 2013a; 2013b).

Ao longo dos transectos, foi observada a presença de termoclina (plano onde ocorre a redução máxima de temperatura com a profundidade (CHAPRA, 2008) bem definida, com algumas variações entre as campanhas. No transecto PAMA-1, a termoclina se manteve em torno de 100 m em ambas campanhas. Já os transectos PAMA-2, PAMA-3 e BAR-1 apresentaram termoclina em profundidades variadas. Para esses transectos, durante a 1^o Campanha (período chuvoso), a termoclina foi observada em profundidades entre 50 m e 70 m. Na 2^o Campanha, a termoclina esteve a aproximadamente 100 m nos transectos PAMA -2 e PAMA-3, e 150m em BAR-1 (CENPES, 2013a; 2013b).

Variações de temperatura com relação a sazonalidade anual (período chuvoso e seco) foram observadas apenas nas camadas superficiais (cerca de 1,63°C). Como esperado, visto que as diferenças sazonais seriam mais perceptíveis nas camadas superficiais.

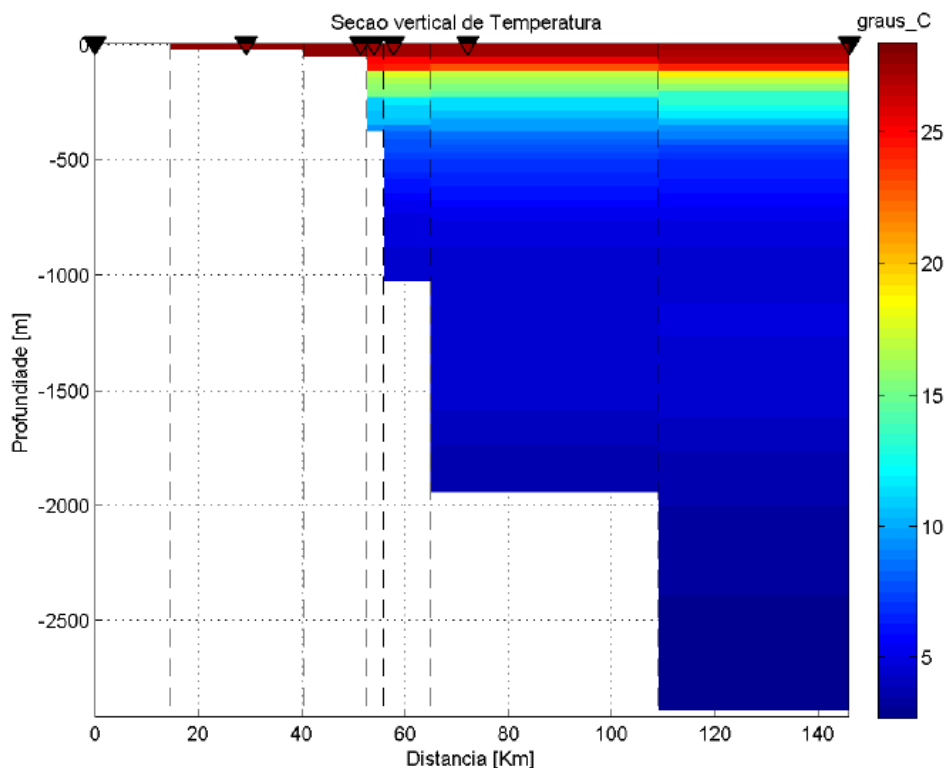


Figura II.6.1.1.2.2.1- 22 - Perfil vertical de temperatura no transecto BAR-1. Dados coletados durante a 1ª Campanha.

Fonte: Cenpes (2013a).

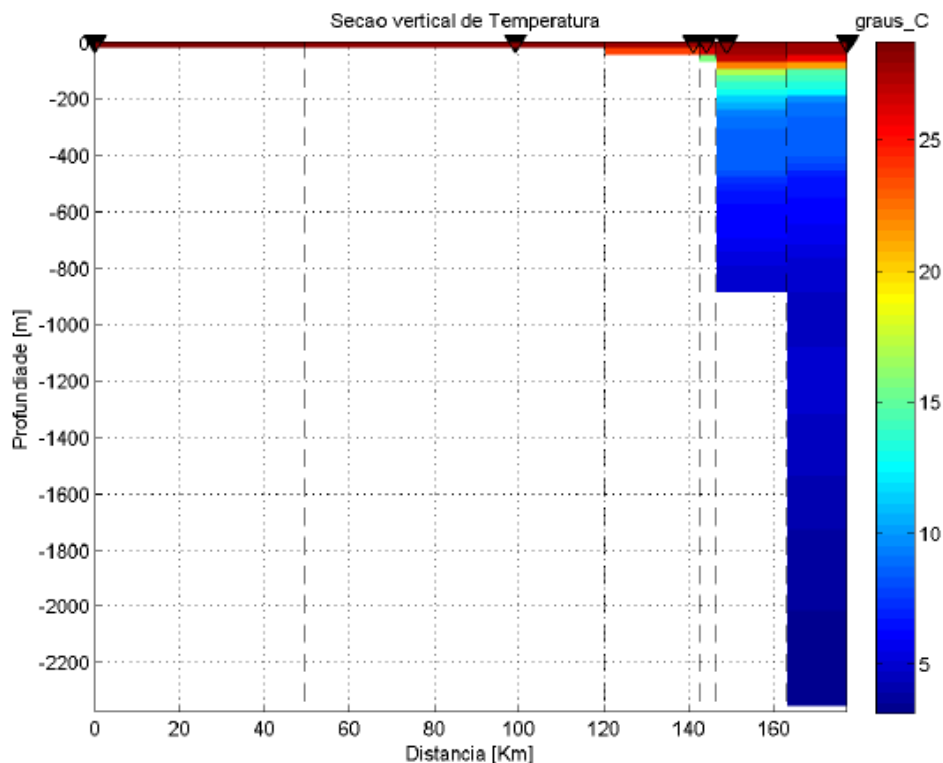


Figura II.6.1.1.2.2.1- 23 - Perfil vertical de temperatura no transecto PAMA-2. Dados coletados durante a 1ª Campanha.

Fonte: Cenpes (2013b).

Os transectos de medições nas bacias de Barreirinhas e Pará-Maranhão indicam salinidades menores nas camadas de fundo e maiores na superfície (Figura II.6.1.1.2.2.1- 24 e Figura II.6.1.1.2.2.1- 25). No transecto BAR-1, essa variação foi de 34,59 – 34,96 no fundo e, 36,22 – 36,78 na superfície. (CENPES, 2013a; 2013b).

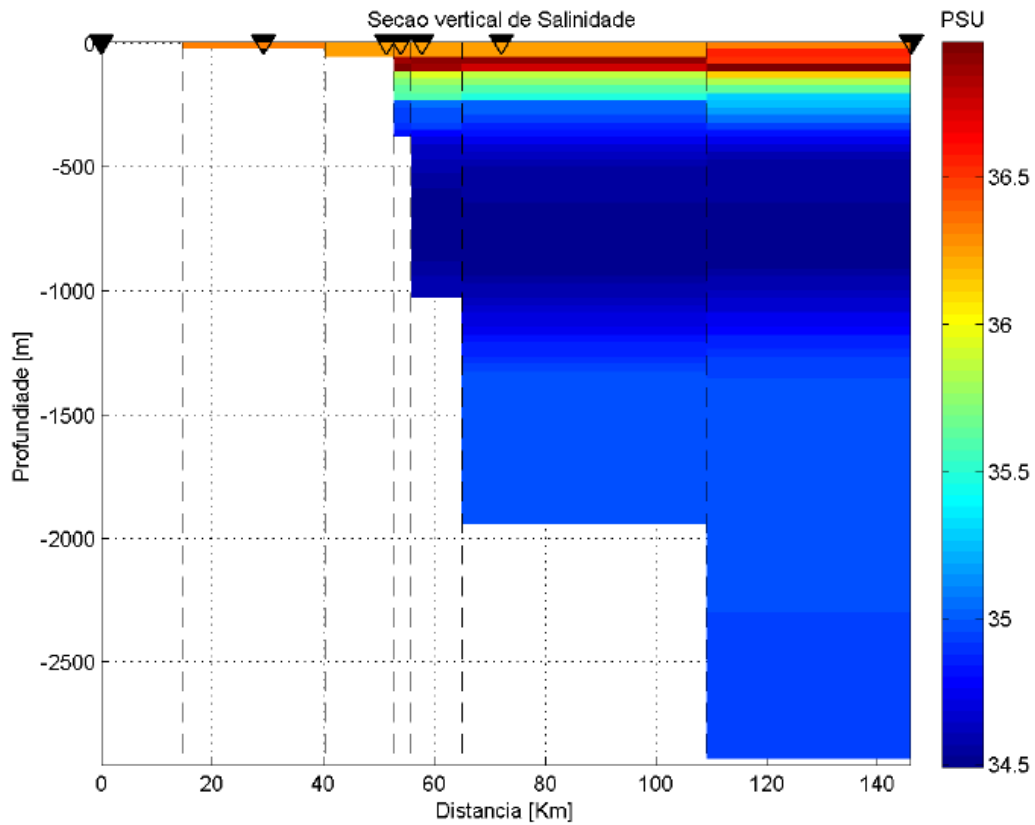


Figura II.6.1.1.2.2.1- 24 - Perfil vertical de salinidade no transecto BAR-1. Dados coletados durante a 1ª Campanha.

Fonte: Cenpes (2013a).

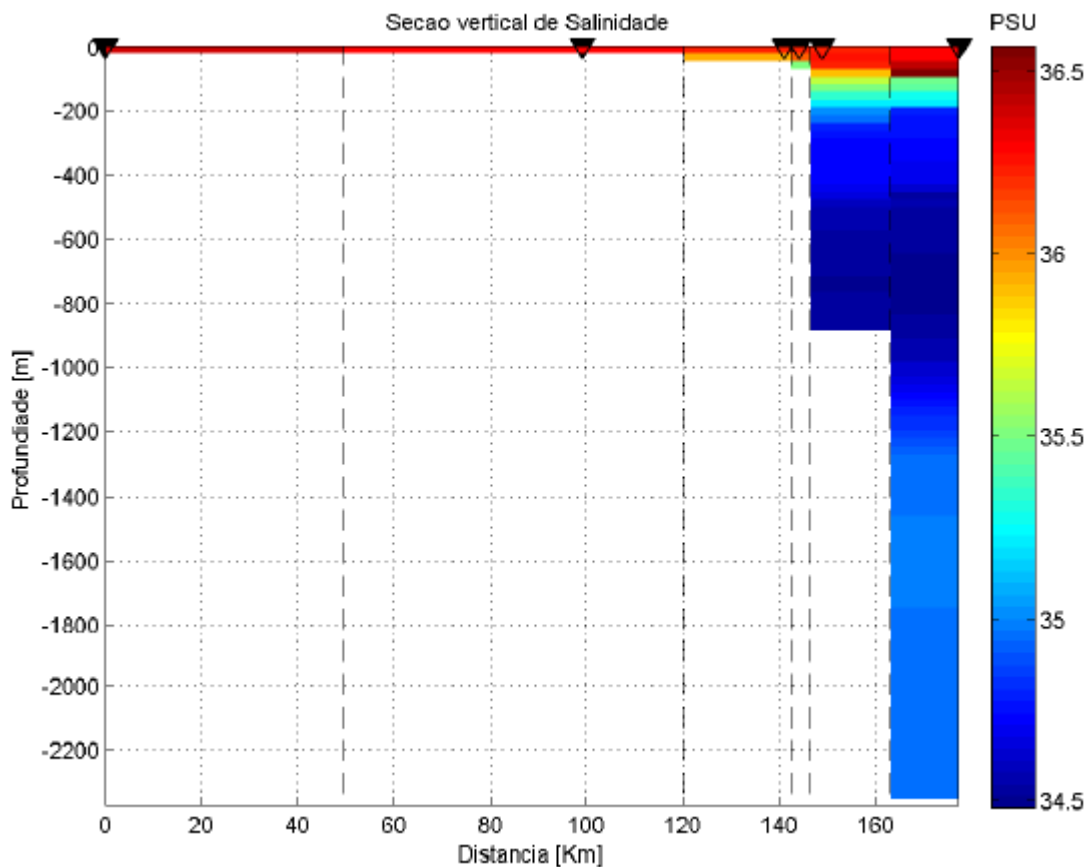


Figura II.6.1.1.2.2.1- 25 - Perfil vertical de salinidade no transecto PAMA-2. Dados coletados durante a 1ª Campanha.

Fonte: Cenpes (2013b)

Os transectos não apresentaram variações significativas de densidade na Área de Estudo entre as campanhas, seguindo o padrão da salinidade (**Figura II.6.1.1.2.2.1- 26** e **Figura II.6.1.1.2.2.1- 27**). No transecto BAR-1, a variação de densidade na superfície foi de $0,48 \text{ kg/m}^3$, com máxima à superfície atingindo $1023,94 \text{ kg/m}^3$ (2ª Campanha) e mínima de $1023,46 \text{ kg/m}^3$ (1ª campanha). Nas camadas mais profundas é verificada a estratificação como reflexo da estrutura termohalina local (CENPES, 2013a; 2013b).

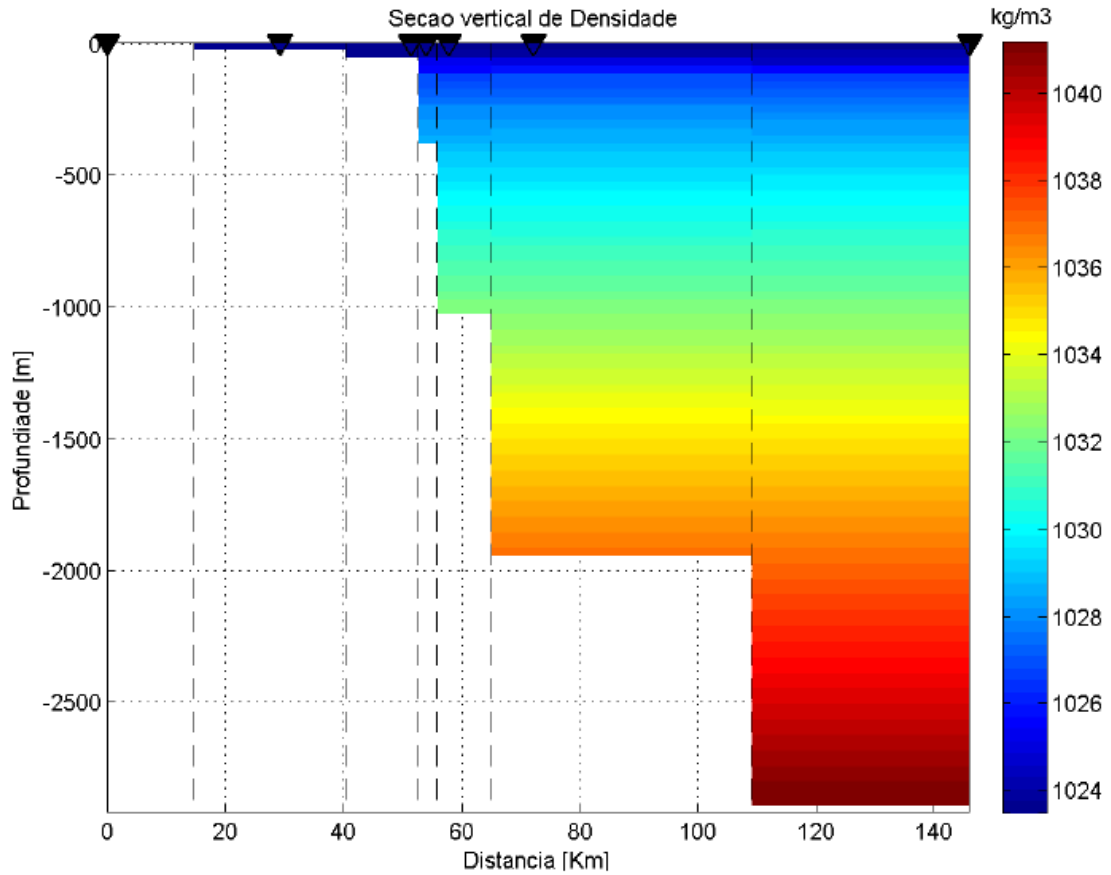


Figura II.6.1.1.2.2.1- 26 - Perfil vertical de densidade no transecto BAR-1. Dados coletados durante a 1ª Campanha.

Fonte: Cenpes (2013a).

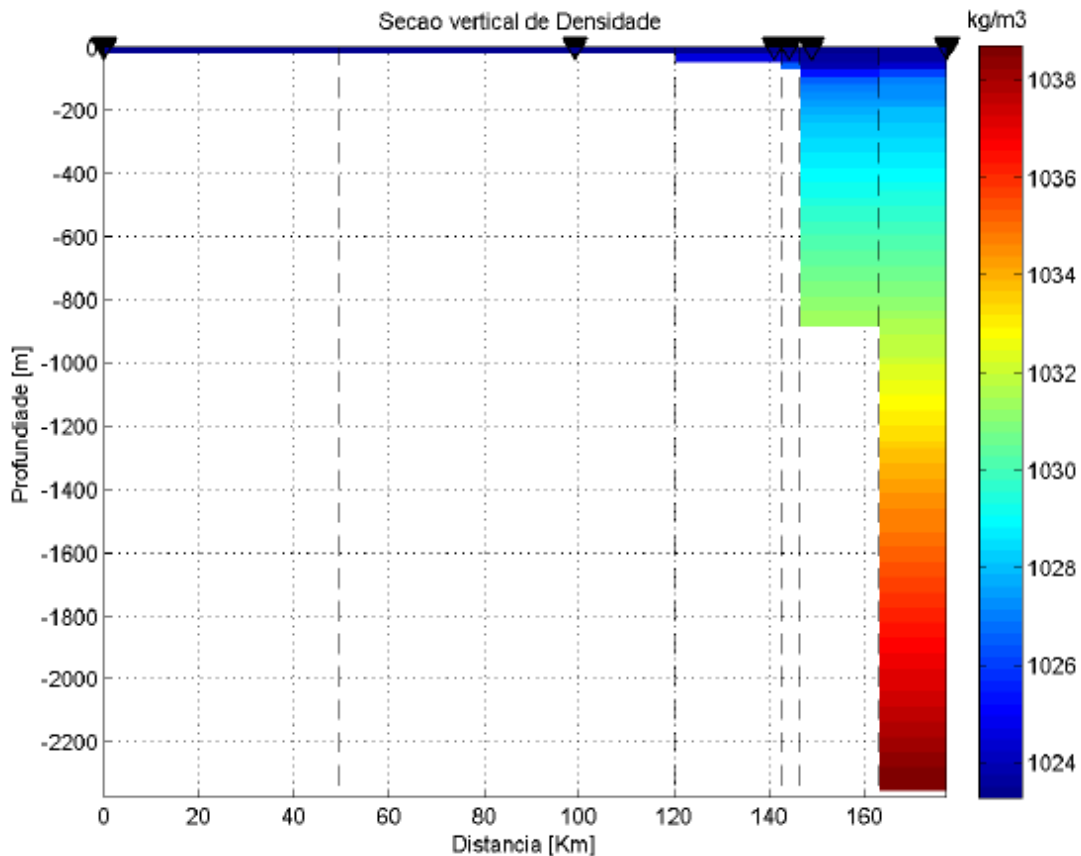


Figura II.6.1.1.2.2.1- 27 - Perfil vertical de densidade no transecto PAMA-2. Dados coletados durante a 1ª Campanha.

Fonte: Cenpes (2013b).

II.6.1.1.2.2.2 Massas D'água

Na Plataforma Continental Amazônica são encontradas geralmente as seguintes massas d'água: AT - Água Tropical, AM - Água de Mistura (água proveniente da mistura entre a AT e AC (Água Costeira), ACAS - Água Central do Atlântico Sul, AIA - Água Intermediária Antártica (MOLLERI *et. al.*, 2008). Molleri *et. al.* (*op.cit.*), ainda descreve as zonas de transição entre massas d'água, sendo a ZACAT a zona de transição entre a AT e AC, e a ZATACAS a mistura entre a AT e a ACAS, ambas com algumas características mostradas na **Tabela II.6.1.1.2.2.2 - 1**. Além destas massas d'água descritas, Silveira *et al.*

(2000) caracterizam no Atlântico Sul a APAN - Água Profunda do Atlântico Norte. Sousa (2017) descreve as massas d'água na Bacia de Barreirinhas, sendo caracterizadas suas espessuras. Os índices termohalinos e a espessura para as massas d'água nessa região estão sumarizadas na **Tabela II.6.1.1.2.2.2 - 1**.

Tabela II.6.1.1.2.2.2 - 1 - Índices termohalinos das massas d'água encontradas na Área de Estudo.

Massas de Água	Temperatura (°C)	Salinidade	Espessura (m)
Água Costeira (AC)	27,1 – 29,5	≤ 33	
Água Tropical (AT)	20,1 – 29,5	≥ 36	0 – 100
Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	6,1 – 16	34,5 – 36,2	100 - 400
Água Intermediária (AIA)	≤ 6	34,5 – 34,8	400 - 1200
Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)	3 - 4	34,6 - 35	1300 – 3260
Zonas de Transição			
Água Costeira+Água Tropical (ZACAT)	≥ 25	33 – 35,9	-
Água Tropical + Água Central do Atlântico Sul (ZATACAS)	16,1 - 20	35,4 – 36,4	-

Fonte: Sousa (2017); Moller *et. al.* (2008); Silveira *et. al.* (2000).

Uma avaliação das massas d'água presentes na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 foi feita com os dados dos perfis de temperatura e salinidade disponíveis no NODC/WOD09 (*World Ocean Database 2009*), coletados entre os anos de 1911 e 2009. Uma descrição completa sobre esta base de dados pode ser encontrada em Boyer *et al.* (2009).

Na **Figura II.6.1.1.2.2- 1** é apresentada a localização dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 e o ponto que localiza a nuvem dos dados apresentados WOD09. Os dados obtidos foram tratados, sendo descartadas as observações com valores

inferiores ou superiores a três vezes o desvio padrão da média para cada profundidade.

Na **Figura II.6.1.1.2.2.2- 1** é apresentado o diagrama TS elaborado com os dados do NODC. As cores são referentes às profundidades dos dados.

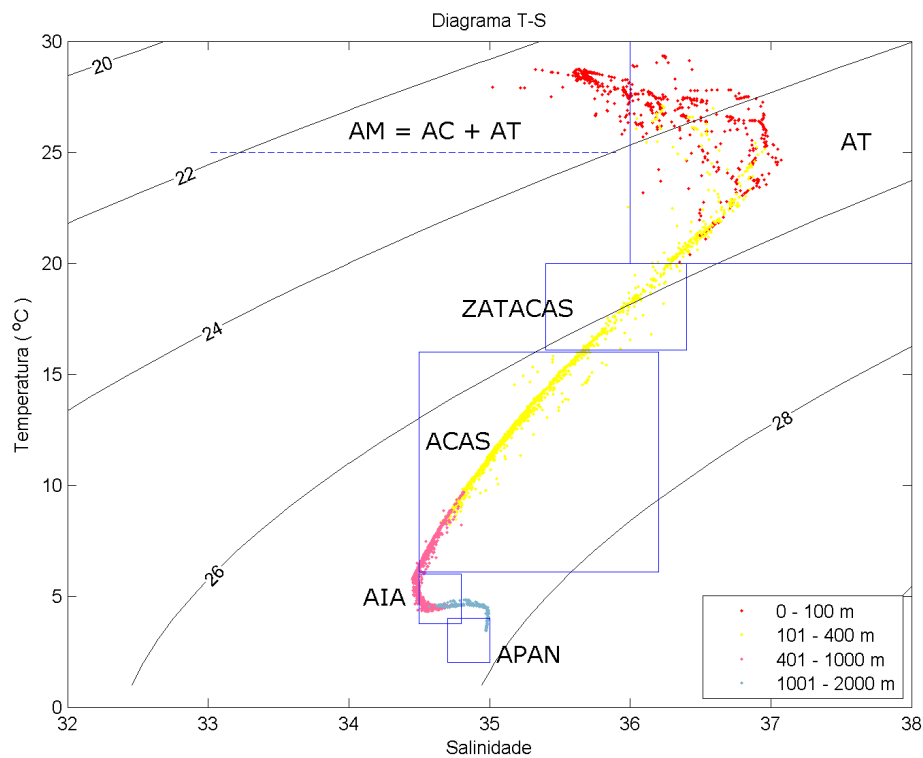


Figura II.6.1.1.2.2.2- 1 - Diagrama TS para a região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, elaborado com os dados do NODC. Os retângulos em azul representam o limite de cada massa d'água.

Fonte: Petrobras (2017).

Estes dados corroboram a descrição de massas d'água encontrada na bibliografia para a Área de Estudo, que são: AT, AM, ACAS, AIA e APAN.

De modo geral, não são observadas diferenças significativas sazonais na localização das massas d'água.

Dados coletados nas bacias Pará–Maranhão e Barreirinhas complementam a caracterização das massas d'água para a área dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

No mapa da **Figura II.6.1.1.2.2- 2** observa-se as estações de coletas ao longo dos transectos, classificadas de acordo com a profundidade aproximada destas.

No transecto BAR-1, observou-se na camada mais superficial a presença da AT, ocupando os primeiros 150 m de profundidade (**Figura II.6.1.1.2.2.2- 2** e **Figura II.6.1.1.2.2.2- 3**). O primeiro ponto de inflexão do diagrama corresponde a região do máximo de salinidade sub-superficial (em torno de 37,0) entre 70 e 150 m.

Abaixo da AT, encontramos a ACAS correspondendo ao trecho linear do diagrama T-S e ocupando a camada de 150 m a até pelos menos 550 m de profundidade. Abaixo dela, até cerca de 1300 m ocorre a presença da AIA, caracterizada por um mínimo de salinidade no diagrama T-S. Abaixo da AIA ocorreu a presença da APAN, presente entre 1300 e 3000 m (CENPES, 2013a).

Ao longo do Transecto BAR-1 (Bacia de Barreirinhas) observou-se a presença de uma termoclina permanente e bem definida nas duas campanhas. A camada de mistura se aprofunda durante o inverno na região equatorial, devido ao período de seca. Isto foi observado na 2ª Campanha, realizada em outubro/novembro, quando a termoclina atingiu 150 m de profundidade (CENPES, 2013a).

Já no verão chuvoso, a termoclina se localizou em profundidades em torno de 70 m.

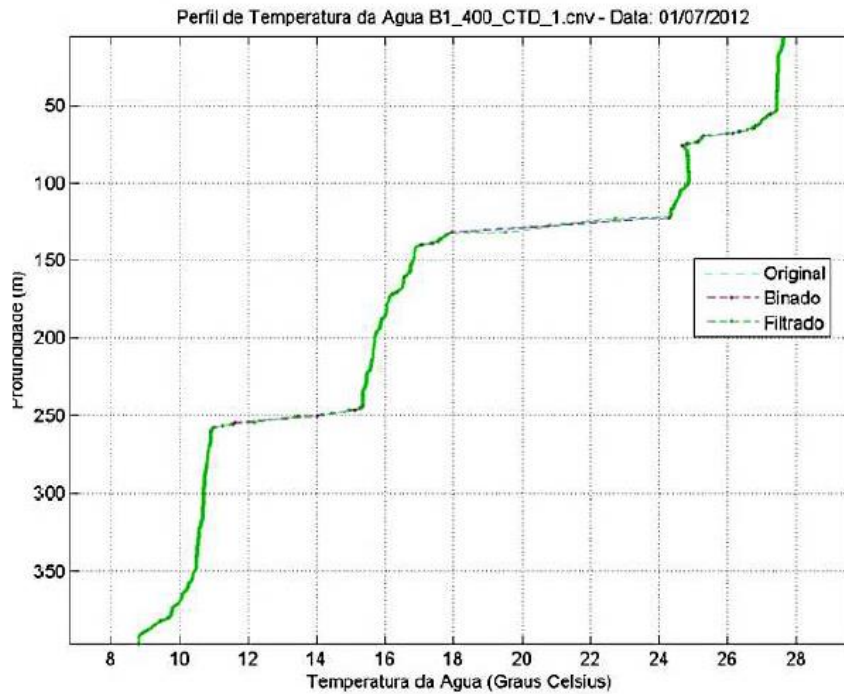
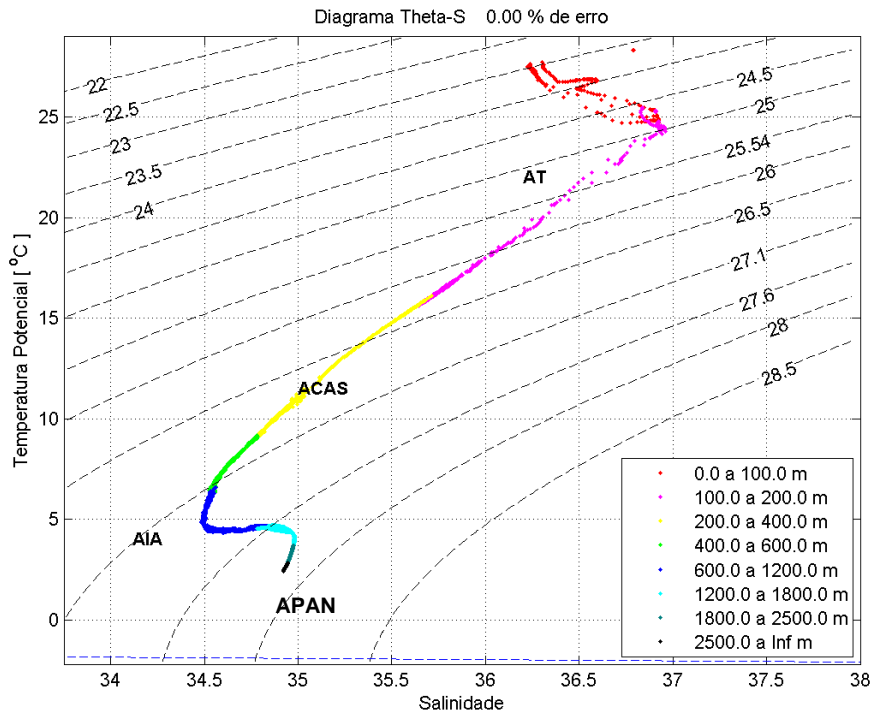


Figura II.6.1.1.2.2.2- 2 - Dados da 1ª Campanha no transecto BAR-1: diagrama T-S no período de 30/06/2012 a 02/07/2012 (superior) e perfil de temperatura (até 400 metros) na data de 01/07/2012 (inferior).

Fonte: Cenpes (2013 a).

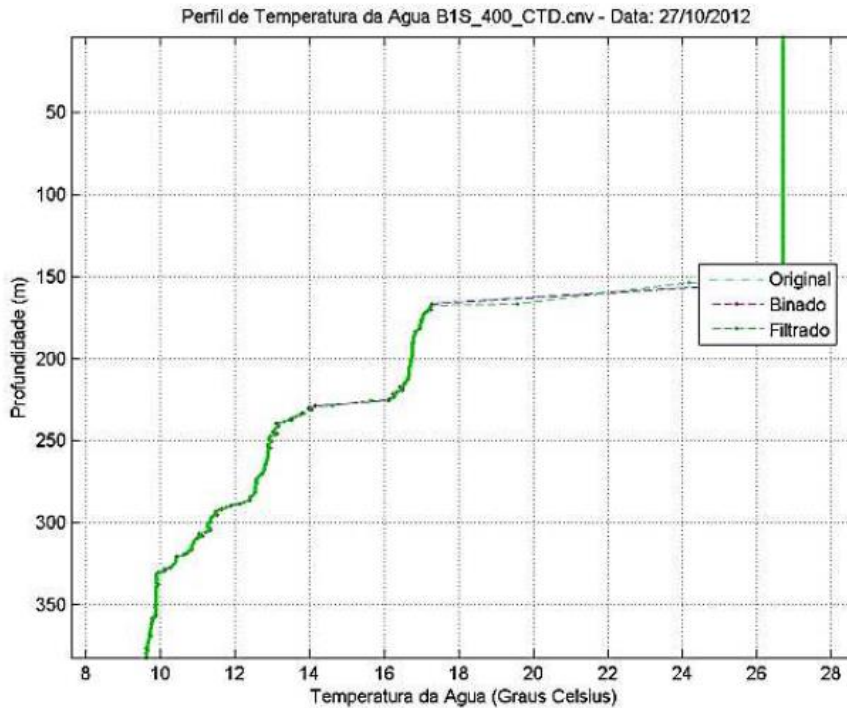
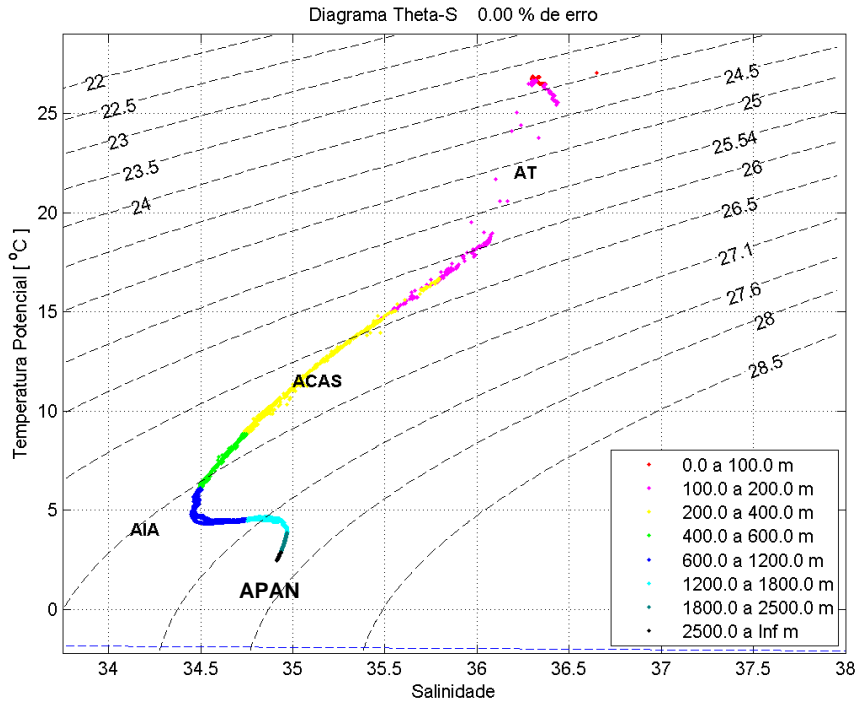


Figura II.6.1.1.2.2.2- 3 - Dados da 2ª Campanha no transecto BAR-1: diagrama T-S no período de 18/09/2012 a 31/10/2012 (superior) e perfil de temperatura (até 400 metros) na data de 27/10/2012 (inferior).

Fonte: Cenpes (2013 a).

Com relação às coletas na bacia Pará-Maranhão, o transecto 1 apresentou os primeiros 100 m de coluna d'água bem homogêneos, com o topo da termoclina bem definido nessa profundidade em ambas campanhas (**Figura II.6.1.1.2.2.2- 4 e Figura II.6.1.1.2.2.2- 5**) (CENPES, 2013b).

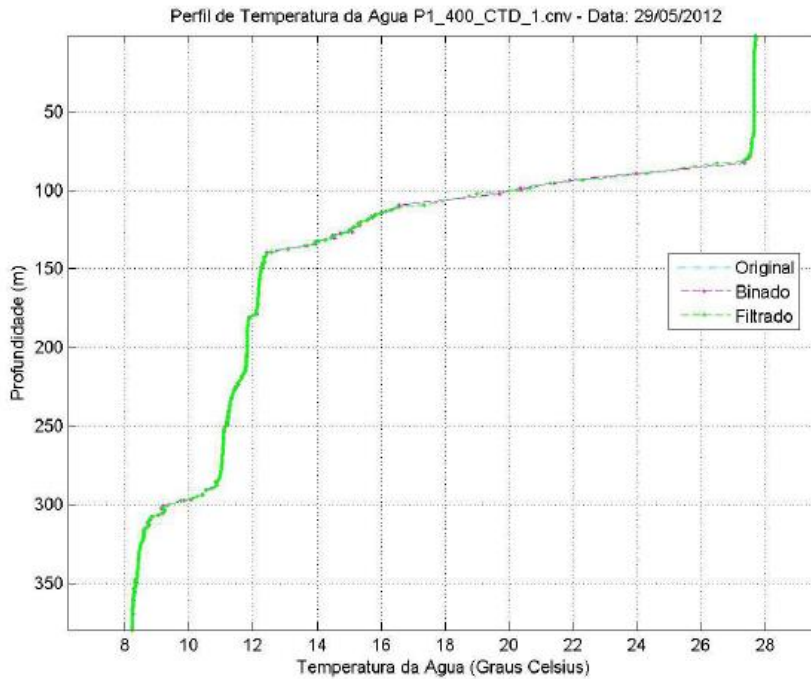
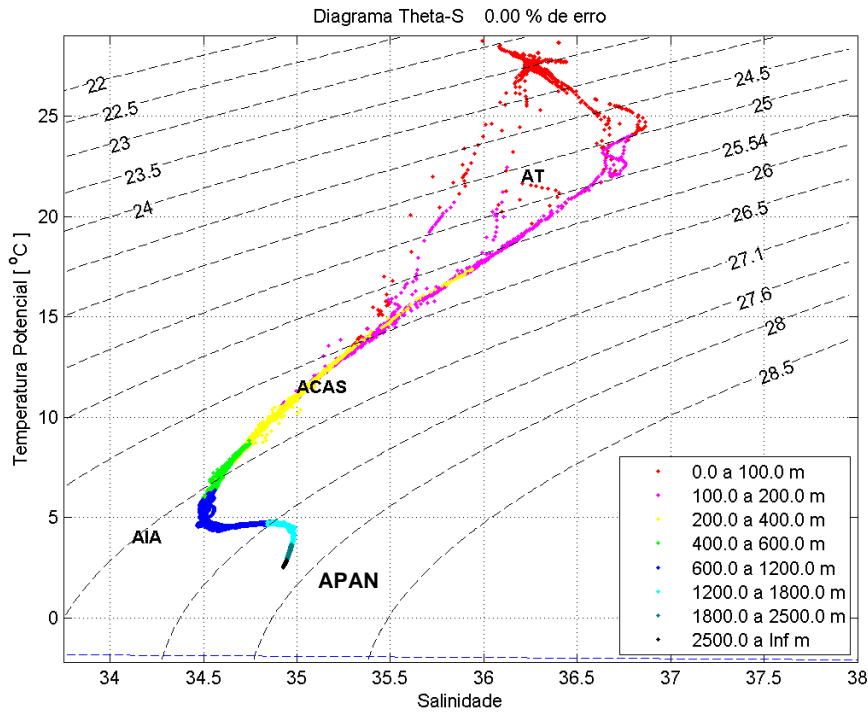


Figura II.6.1.1.2.2.2- 4 - Dados da 1ª Campanha no transecto PAMA-1: diagrama T-S no período de 28/05/2012 a 01/06/2012 (superior) e perfil de temperatura (até 400 metros) na data de 29/05/2012 (inferior).

Fonte: Cenpes (2013 b).

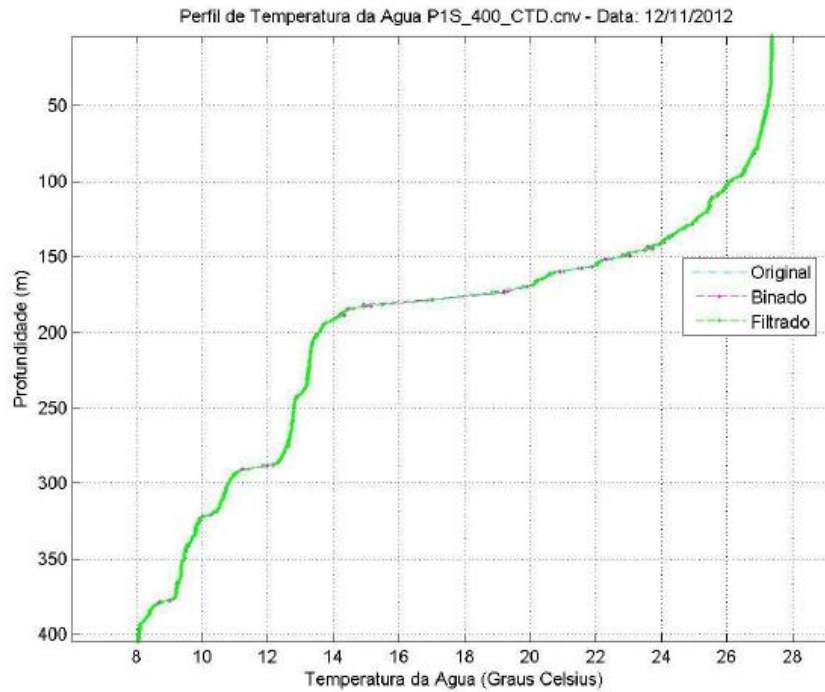
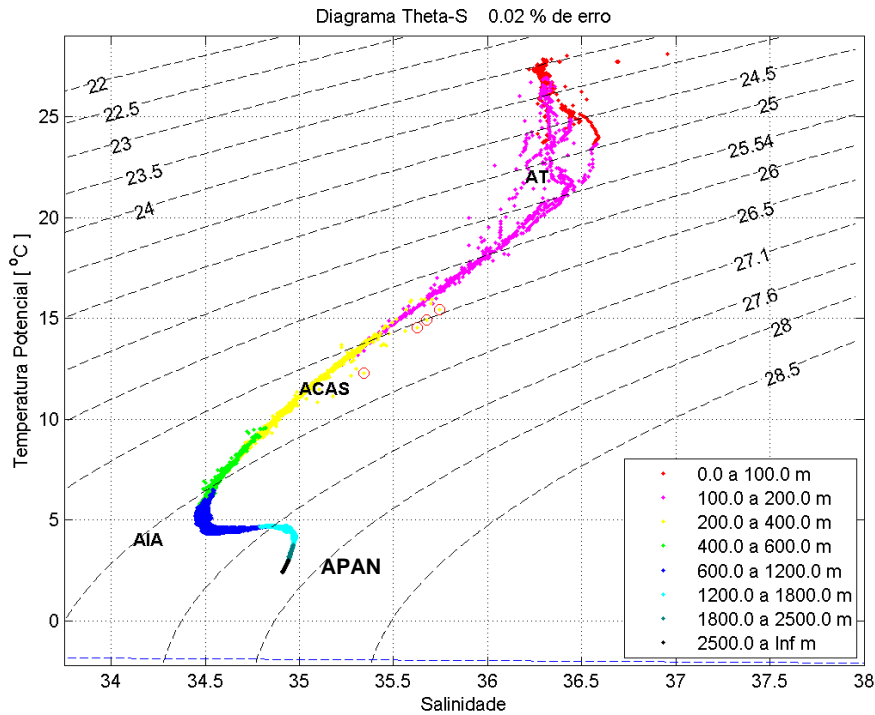


Figura II.6.1.1.2.2.2- 5 - Dados da 2ª Campanha no transecto PAMA-1: diagrama T-S no período de 11/11/2012 a 16/11/2012 (superior) e perfil de temperatura (até 400 metros) na data de 12/11/2012 (inferior).

Fonte: Cenpes (2013 b).

Nos transectos PAMA-2 e PAMA-3, este mesmo padrão se repete na 2ª campanha. Porém, na 1ª campanha, a profundidade de topo da termoclina é nitidamente mais rasa, entre 50 e 70 metros. Nesta campanha, observa-se no transecto PAMA-2 uma queda da salinidade junto com a temperatura, apresentando uma assinatura da ACAS em níveis mais rasos (**Figura II.6.1.1.2.2.2- 6**) (CENPES, 2013b).

Assim como nos resultados apresentados em Barreirinhas, a camada superficial indicam a presença da Água Tropical nos primeiros 150 m de profundidade. Em seguida, é observado a ACAS, com camada até 600 m de profundidade. Abaixo desta, encontra-se a AIA, com a menor salinidade do diagrama T-S. E, a partir de 1200 m, é observado a APAN (CENPES, 2013b).

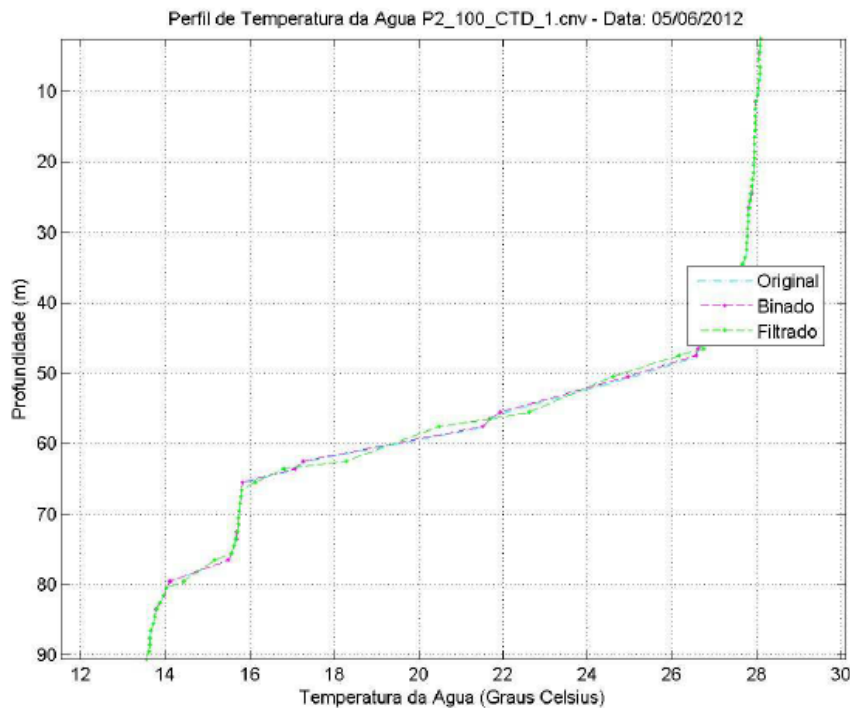
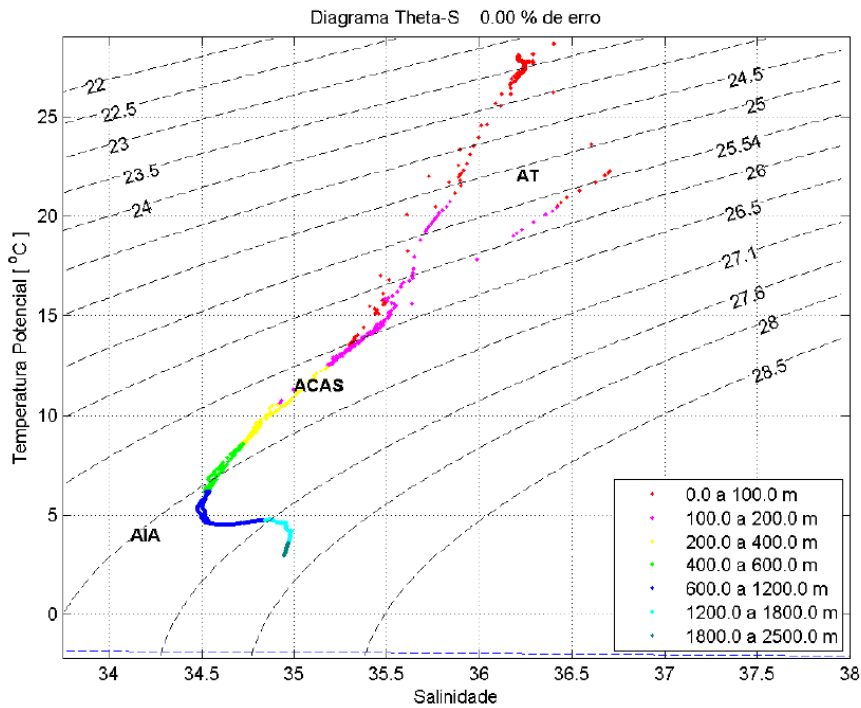


Figura II.6.1.1.2.2.2- 6 - Dados da 1ª Campanha no transecto PAMA-2: diagrama T-S no período de 04/06/2012 a 07/06/2012 (superior) e perfil de temperatura (até 90 metros) na data de 05/06/2012 (inferior).

Fonte: Cenpes (2013 b).

II.6.1.1.2.2.3 Correntes

A seguir, serão apresentados resultados para descrever o regime de correntes da Área de Estudo, sendo esses baseados na revisão bibliográfica e dados coletados *in situ*. As correntes são, portanto, caracterizadas a partir dos dados de:

- Derivadores oceânicos de base global (NOAA-GDP);
- Análise global do MyOcean
- Fundeio na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5
- Dados de derivadores oceânicos lançados
- Dados medidos com ADCP de casco, em campanhas nas Bacias de Barreirinhas e Pará-Maranhão

II.6.1.1.2.2.3.1 Derivadores Oceânicos

Derivadores do Global Drifter Program (GDP – <http://www.aoml.noaa.gov/phod/dac>) são lançados ao mar desde 1988, com os primeiros dados gerados para a Área de Estudo em outubro de 1990. Foram avaliados 473 derivadores que passaram pela região, gerando 120.226 dados pontuais válidos.

Todos os dados disponíveis são oriundos de derivadores do tipo WOCE-SVP. Este derivador tem uma vela que minimiza o efeito do vento, sendo uma importante fonte de informação para caracterização das correntes oceânicas superficiais (NIILER *et al.*, 1987; SYBRANDY & NIILER, 1991) (**Figura II.6.1.1.2.2.3.1 - 1**).

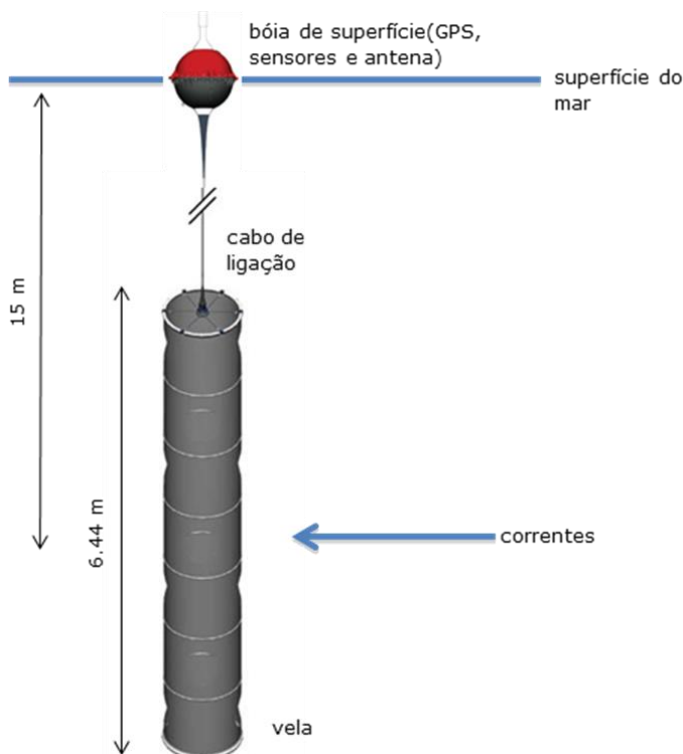


Figura II.6.1.1.2.2.3.1 - 1 - Representação esquemática do derivador usado.

O equipamento registra duas posições sucessivas (indicadas pelo GPS) em um intervalo de tempo conhecido e, pelo seu desenho (bóia de superfície + drogue), a velocidade estimada representa a média dos primeiros 20 m da coluna d'água. Além de sua trajetória, podem também ser obtidas a direção e a intensidade das correntes, sendo ainda registradas a temperatura superficial e a pressão atmosférica.

Na **Figura II.6.1.1.2.2.3.1 - 2** é apresentado um gráfico *spaghetti* das trajetórias descritas por todos os derivadores utilizados.

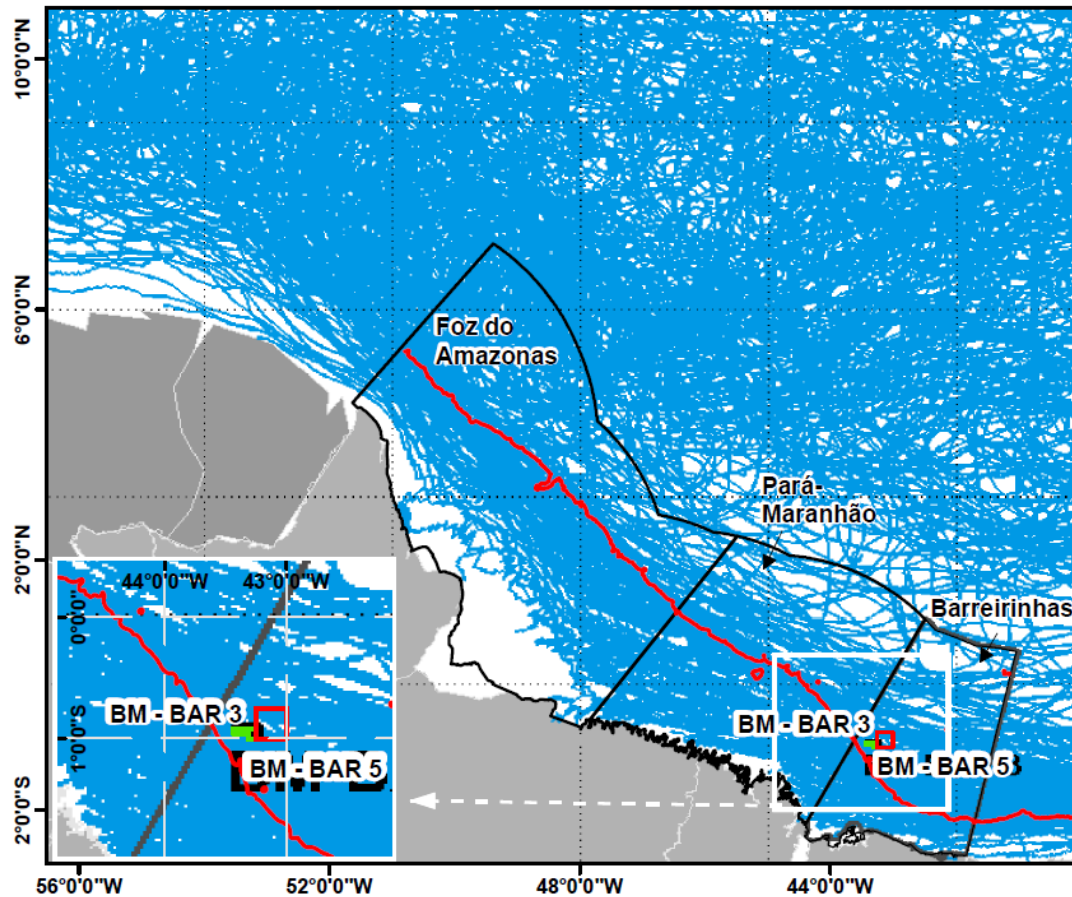


Figura II.6.1.1.2.2.3.1 - 2 - Trajetórias percorridas por todos os derivadores do Global Drifter Program entre 1997 e 2012. A linha vermelha em destaque corresponde a cota batimétrica de 200 metros de profundidade. Os polígonos em verde e vermelho representam os blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 respectivamente.

Fonte: Petrobras (2017).

Na Área de Estudo é possível identificar a direção dos derivadores para SE ou NW, mas por conhecer a corrente da região, é associado o sentido predominante no deslocamento dos derivadores para NW devido à Corrente Norte do Brasil.

Fora dessa área, por influência de outras correntes e contra correntes, os deslocamentos ficam difusos. Assim, os dados foram separados por estação do ano, na tentativa de identificar padrões da circulação de mesoescala da região, e são apresentados na **Figura II.6.1.1.2.2.3.1 - 3**.

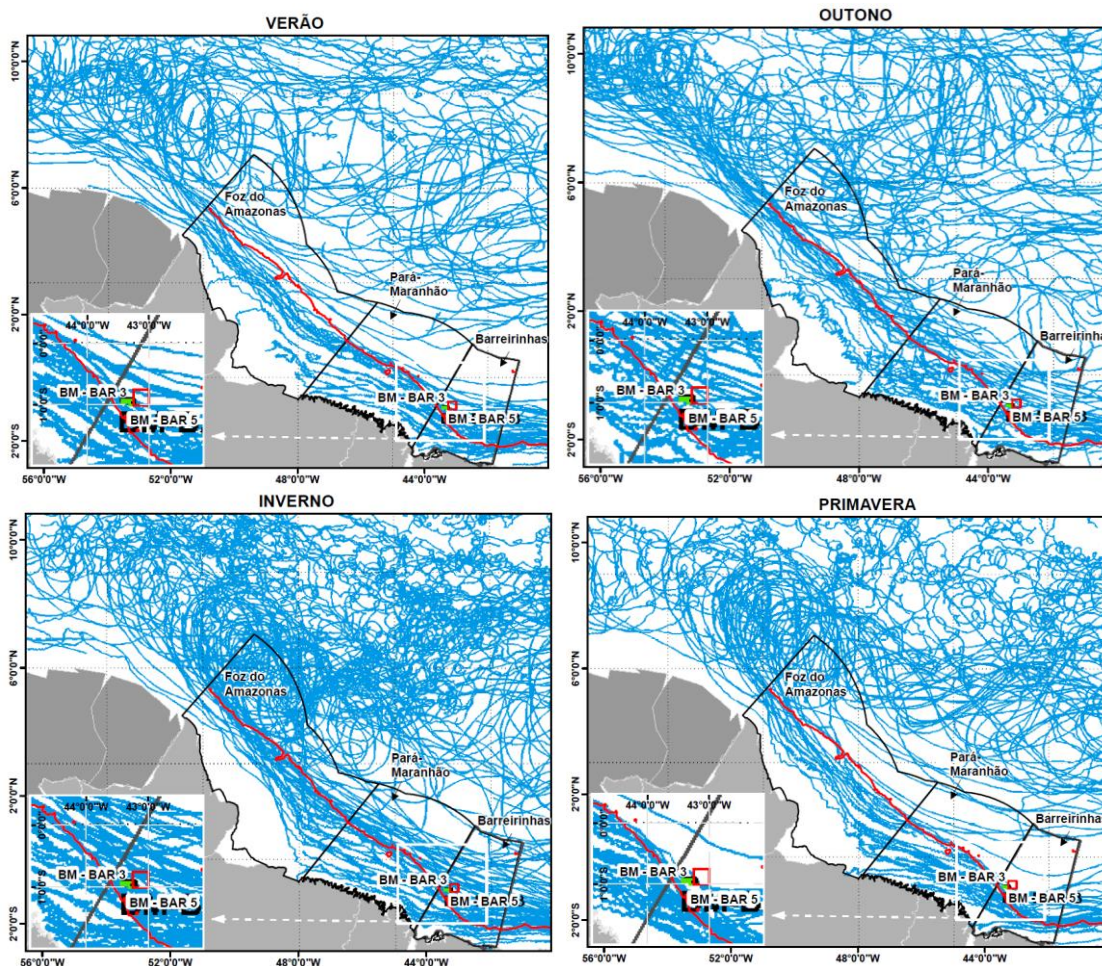


Figura II.6.1.1.2.2.3.1 - 3 - Trajetórias percorridas por todos os derivadores na Área de Estudo (de 1997 e 2012), nos períodos de verão (superior esquerdo), outono (superior direito), inverno (inferior esquerdo) e primavera (inferior direito). A linha vermelha em destaque corresponde a cota batimétrica de 200 metros de profundidade. Os polígonos verde e vermelho representam os blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, respectivamente.

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

Percebe-se que no inverno há uma retroflexão mais intensa da CNB a partir de 8°N, alimentando a CCNE. Esse processo perde intensidade ao longo das demais estações do ano e fica menos visível no outono, quando a CNB flui de forma mais contínua até o limite noroeste da área delimitada.

Sobre a plataforma continental, a trajetória dos derivadores apresenta um comportamento oscilatório bem demarcado associado à influência da maré em algumas partes da região analisada, embora na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 esse movimento oscilatório não seja observado.

Especificamente nas regiões dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 observa-se que no outono e no inverno a CNB parece se estender por uma faixa latitudinal maior. Isto que pode ser explicado pela intensificação que esta corrente sofre nesta região e pode ser melhor observado com as análises do modelo global MyOcean, apresentada em seguida.

Para converter os dados de derivadores em velocidade média foi realizado um processamento específico detalhado em Petrobras (2017). O mapa de velocidade média obtida é apresentado na **Figura II.6.1.1.2.2.3.1 - 4**.

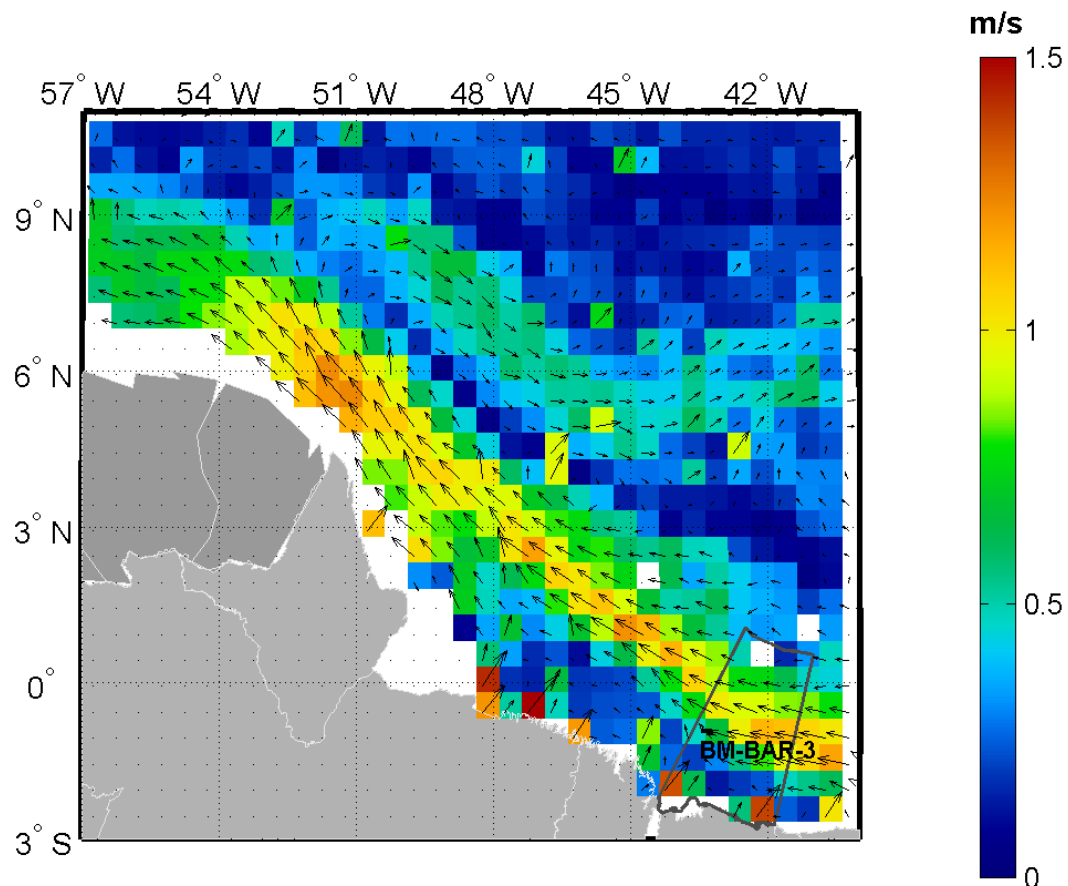


Figura II.6.1.1.2.2.3.1 - 4 - Mapa de velocidade média de corrente entre 1997 e 2012.
As células em branco não possuem dados ou não se enquadram nos critérios estabelecidos.

Fonte: Petrobras (2017).

Observa-se, em média, um deslocamento para noroeste na região da quebra da plataforma continental, associado à Corrente Norte do Brasil, com velocidades médias entre 0,7 e 1,3 m/s. Em 9°N, há uma retroflexão desta corrente. Observa-se também velocidades de direção perpendicular à costa na região costeira do Pará e Maranhão. As velocidades superficiais próximo aos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 são em torno de 0,7 m/s.

II.6.1.1.2.2.3.2 *Análise Global do MyOcean*

Para a análise dos campos de circulação na região da área de estudo foram utilizados os dados da Análise Global do projeto MyOcean (www.myocean.eu.org) para o período compreendido entre 08 de março de 2012 e 08 de março de 2013, mesmo período da modelagem de dispersão de óleo. Este projeto disponibiliza diariamente os resultados da análise global do estado dos oceanos, com resolução de 1/6°. O modelo oceânico numérico utilizado no MyOcean é o *Nucleus for European Models of the Ocean* (NEMO) versão 3.1, forçado pelos campos atmosféricos obtidos da Análise do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). O NEMO assimila dados de correntes, elevação da superfície e TSM obtidos de satélites, além de dados de temperatura e salinidade obtidos *in situ* passando por um criterioso controle de qualidade (LARNICOL *et al.*, 2006). Maiores detalhes sobre o Projeto podem ser encontrados em Bahurel (2008).

Para analisar as características espaciais e temporais da circulação da região, foi realizada média para todo o período analisado dos campos de velocidade superficial (0 m), como também a média de cada estação do ano. Os mapas climatológicos encontram-se da **Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 1** a **Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 5**.

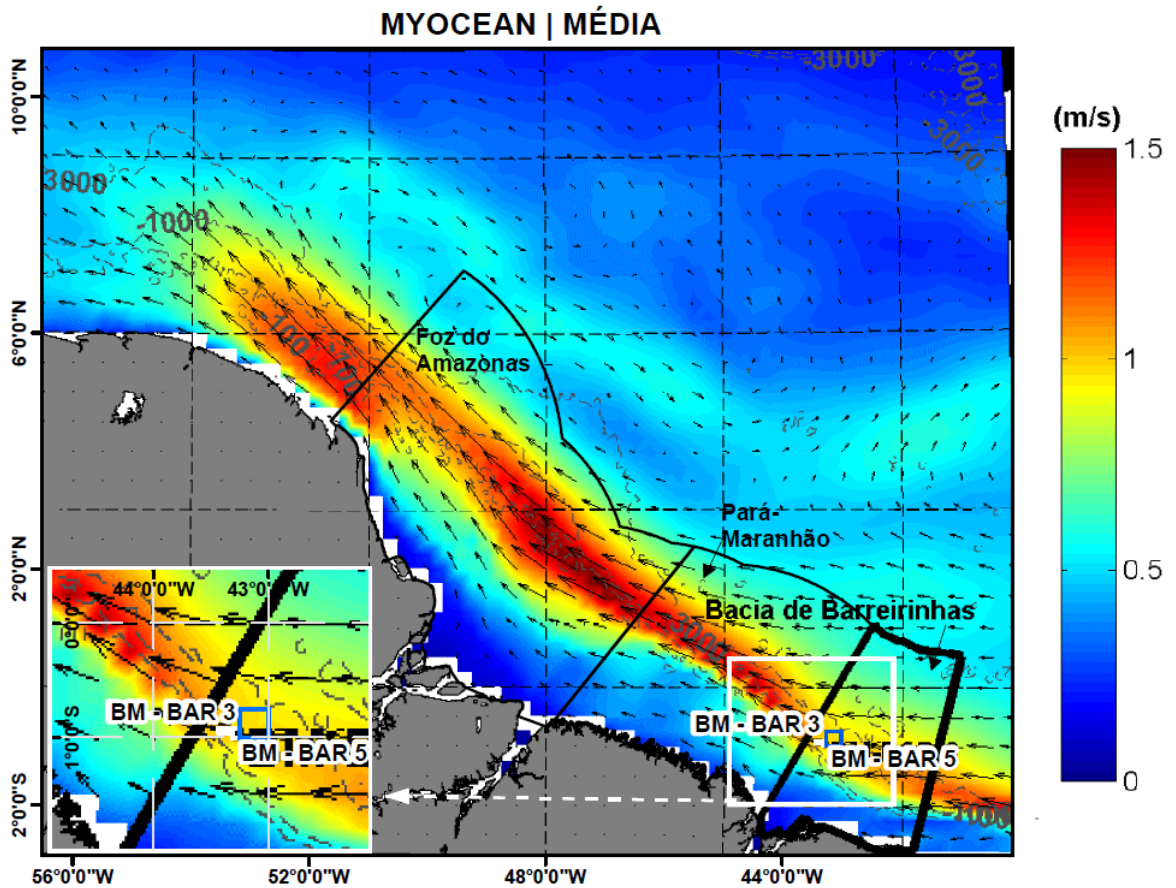


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 1 - Campo médio de corrente do período de março de 2012 a março de 2013 na Área de Estudo, com destaque para os blocos BM-BAR-3 (polígono branco) e BM-BAR-5 (polígono azul).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

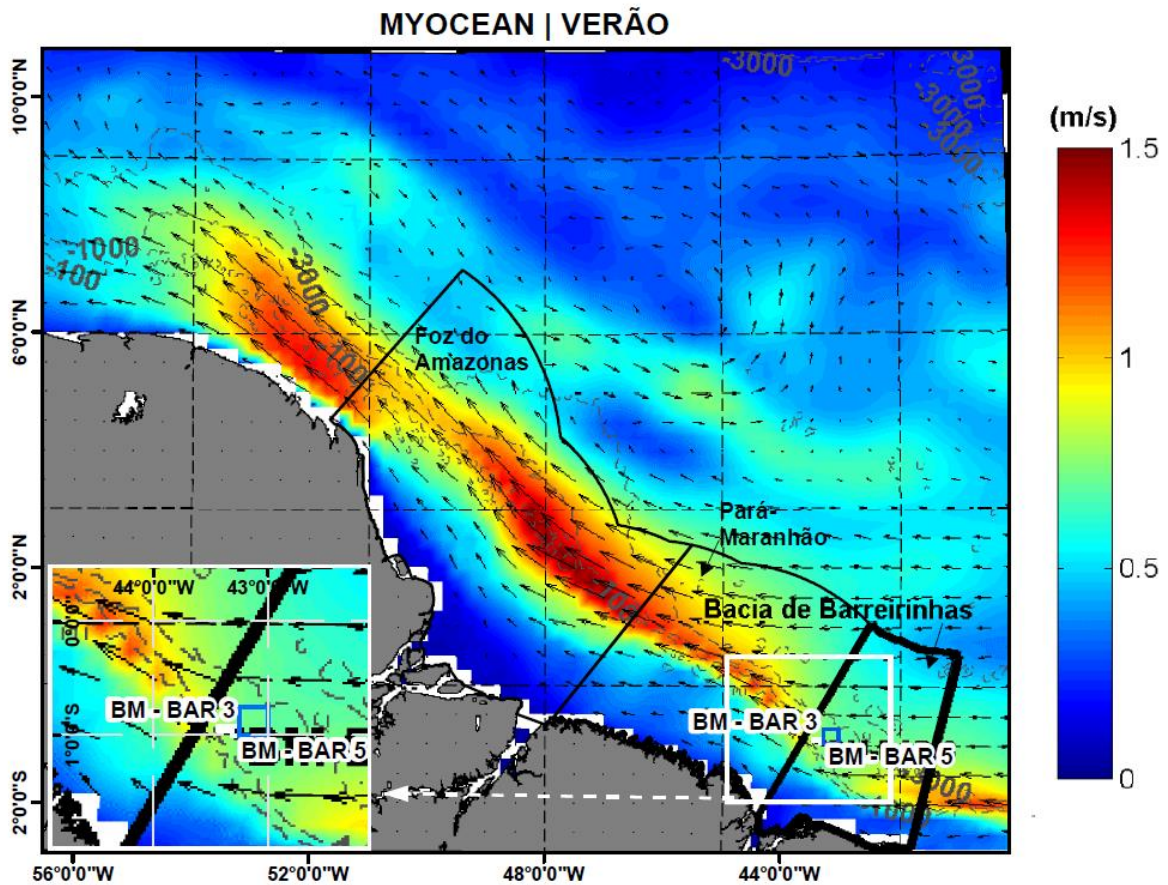


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 2 - Campo médio de corrente para o período de verão (na Área de Estudo, com destaque para os blocos BM-BAR-3 (polígono branco) e BM-BAR-5 (polígono azul)).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

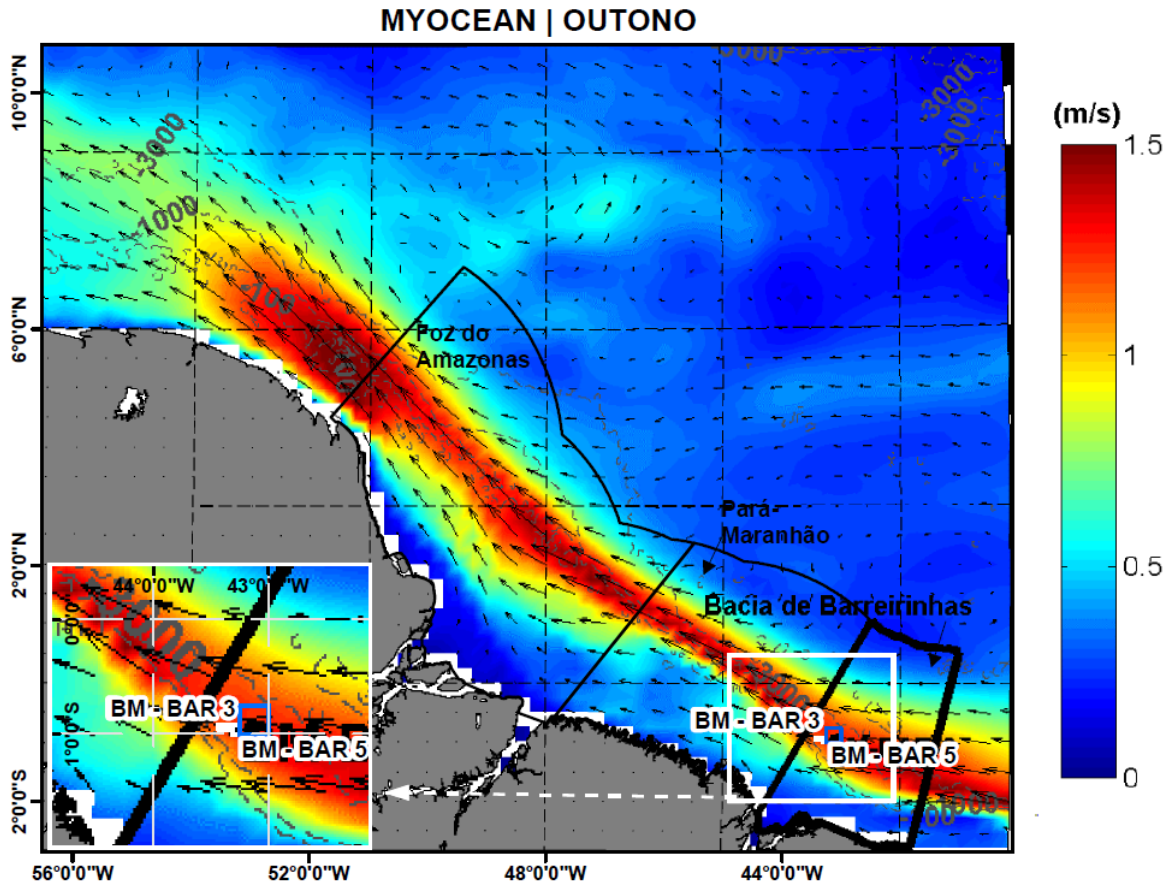


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 3 - Campo médio de corrente para o período de outono na Área de Estudo, com destaque para os blocos BM-BAR-3 (polígono branco) e BM-BAR-5 (polígono azul).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

MYOCEAN | INVERNO

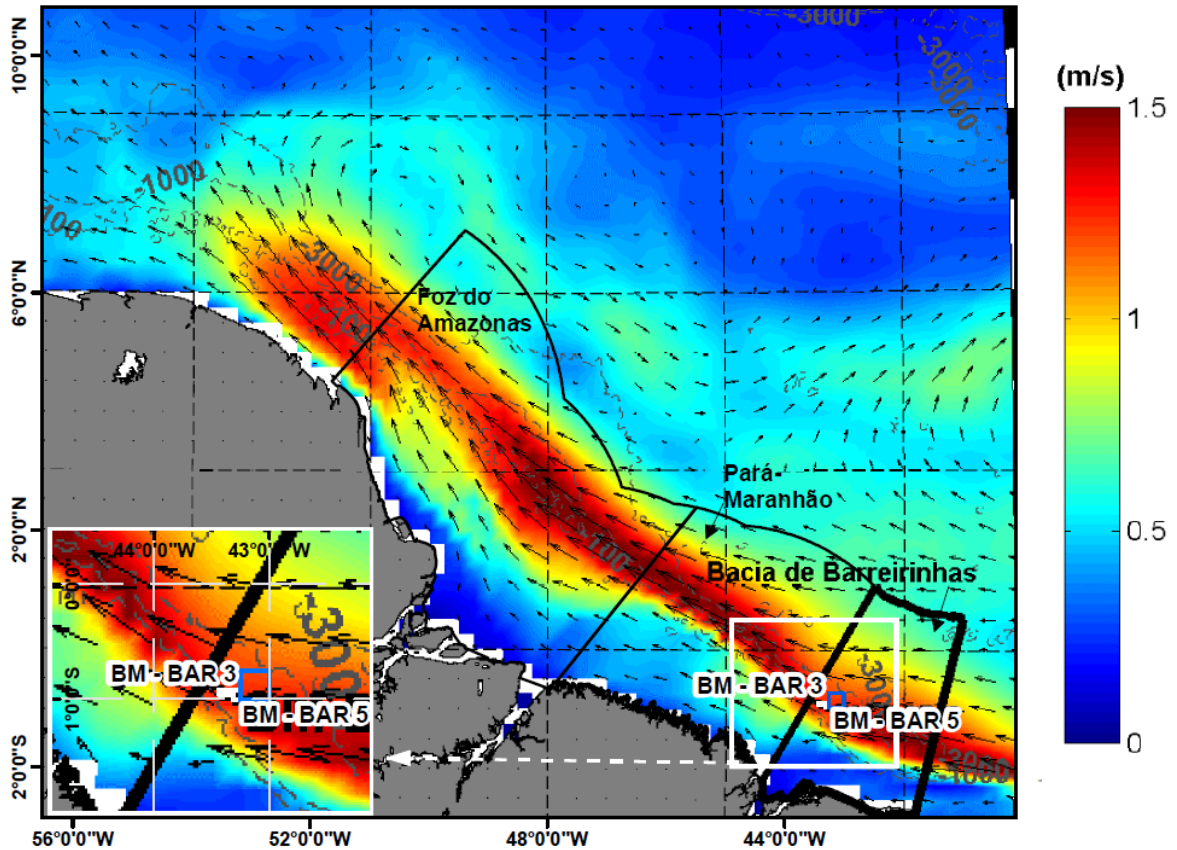


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 4 - Campo médio de corrente para o período de inverno na Área de Estudo, com destaque para os blocos BM-BAR-3 (polígono branco) e BM-BAR-5 (polígono azul).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

MYOCEAN | PRIMAVERA

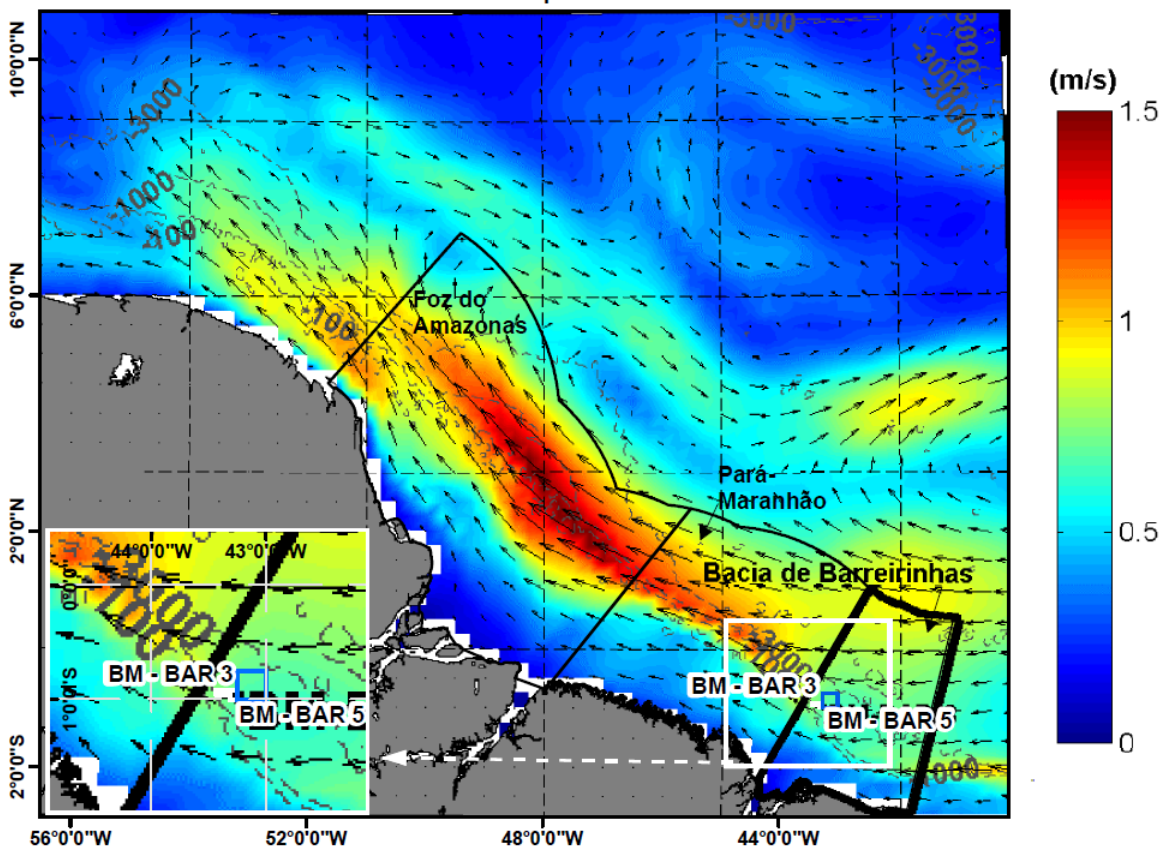


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 5 - Campo médio de corrente para o período de primavera na Área de Estudo, com destaque para os blocos BM-BAR-3 (polígono branco) e BM-BAR-5 (polígono azul).

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

A Corrente Norte do Brasil (CNB) é observada fluindo para noroeste, aproximadamente sobre a isóbata de 1.000 metros de toda Área de Estudo. A intensidade da corrente variou de 1,3 m/s durante outono-inverno a 0,8 m/s nos meses de primavera-verão na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. Percebe-se que a retroflexão da CNB fica mais evidente durante o inverno, reduzindo gradualmente sua intensidade ao longo das estações até o outono. Como dito anteriormente, a retroflexão superficial da CNB alimenta a CCNE e a intensidade dessa retroflexão pode estar associada à sazonalidade da CNB. O ciclo sazonal de transporte da CCNE apresenta menor transporte durante a primeira metade do ano e, maior em outubro/novembro (GARZOLI *et al.*, 2004,

apud KRELLING, 2010). E, segundo Johns *et al.* (1998), a retroflexão superficial da CNB se apresenta mais evidente durante a segunda metade do ano, com máximo em julho-agosto, e mínimo em abril-maio.

Para avaliar a distribuição vertical das correntes na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 foram elaboradas seções verticais médias da componente meridional das correntes na latitude de 1° S. As seções verticais são apresentadas **Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 6 à Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 10**. As seções verticais consideram as longitudes entre 43,5° W e 40° W porque a oeste dessa seção a plataforma continental é muito rasa. Na seção média obtida verifica-se a presença da Corrente Norte do Brasil fluindo para norte nas adjacências dos blocos, desde a superfície até 500 m de profundidade. Abaixo desse nível, entre 1.500 e 2.500 m de profundidade, encontra-se o fluxo da Corrente de Contorno Profunda, fluindo para S.

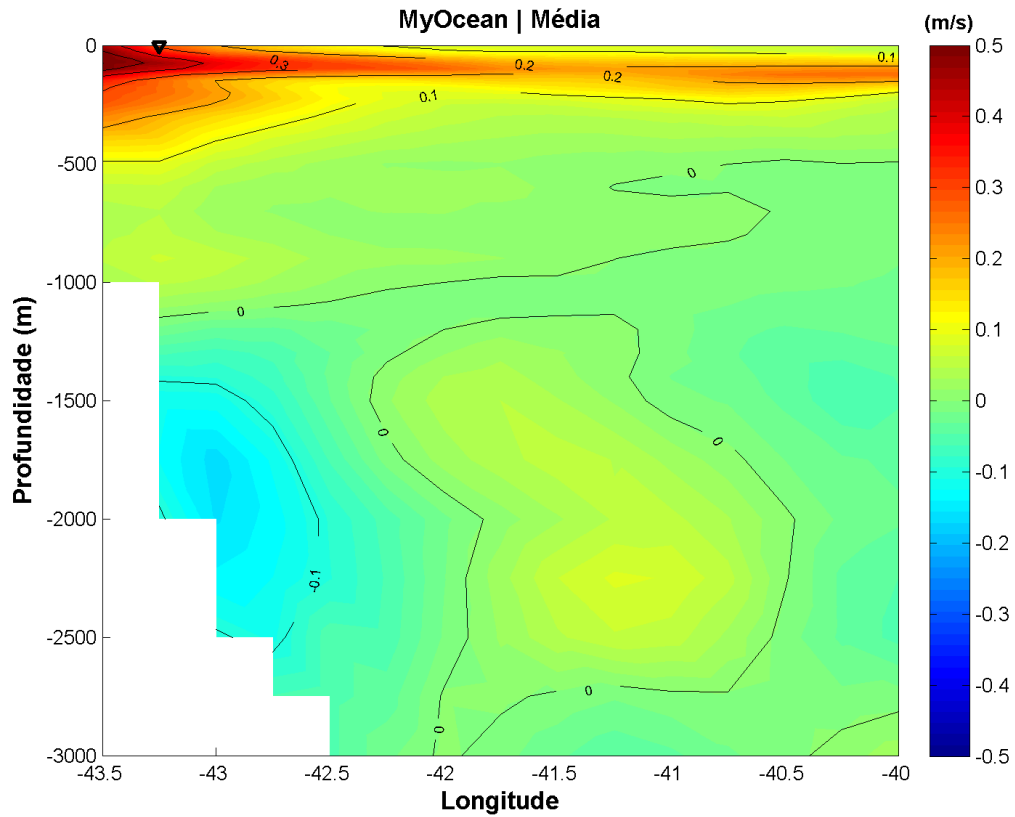


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 6 - Seção vertical da componente meridional de corrente, na latitude de 1° S, para todo o período analisado. O triângulo em preto indica a posição aproximada dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. Fonte: Petrobras (2017).

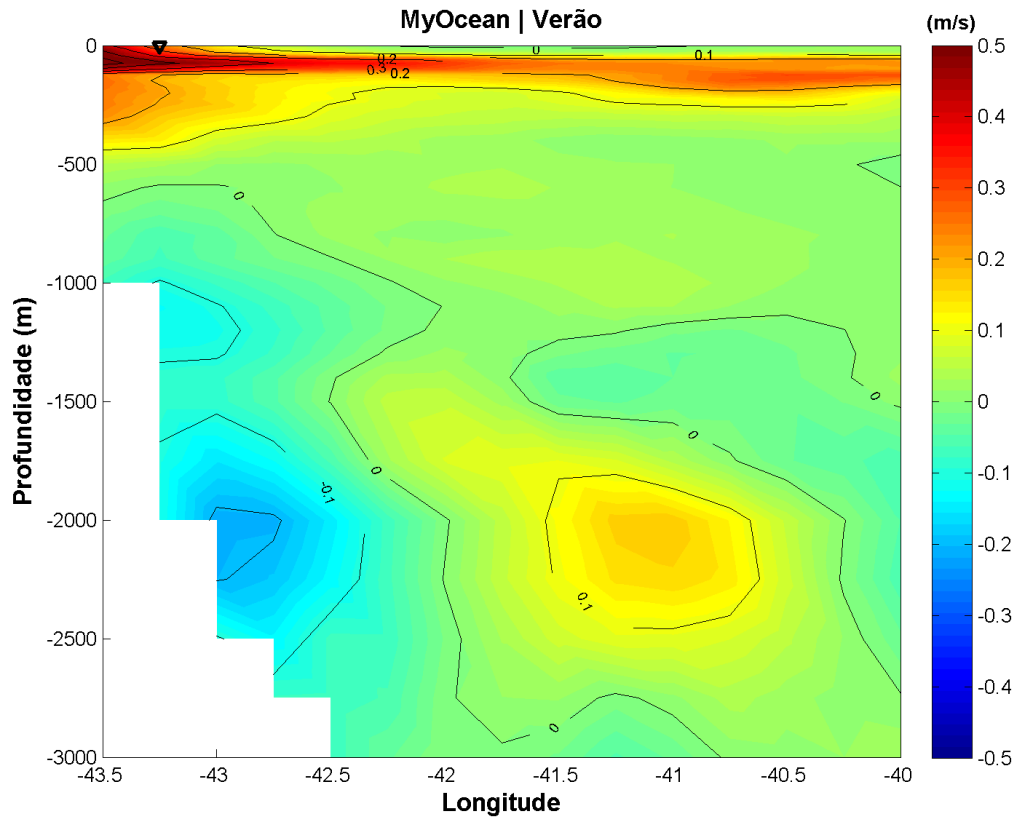


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 7 - Seção vertical da componente meridional de corrente, na latitude de 1º S, para o período de verão. O triângulo em preto indica a posição aproximada dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. Fonte: Petrobras (2017).

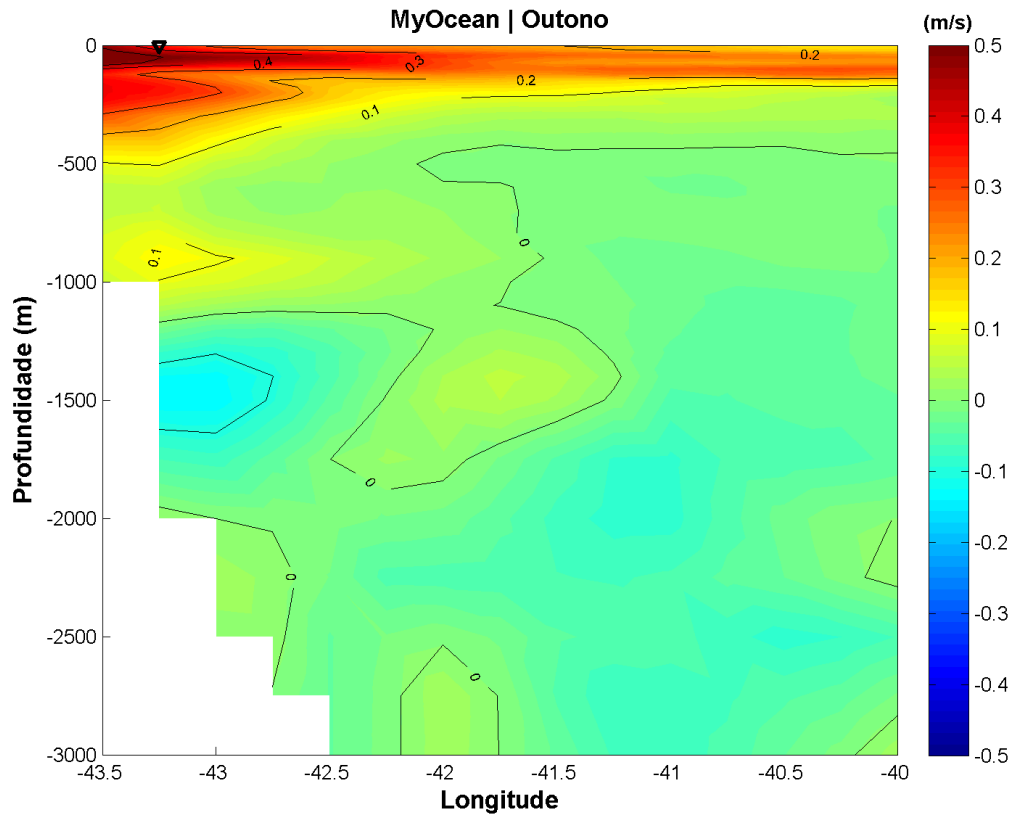


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 8 - Seção vertical da componente meridional de corrente, na latitude de 1° S, para o período de outono. O triângulo em preto indica a posição aproximada dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. Fonte: Petrobras (2017).

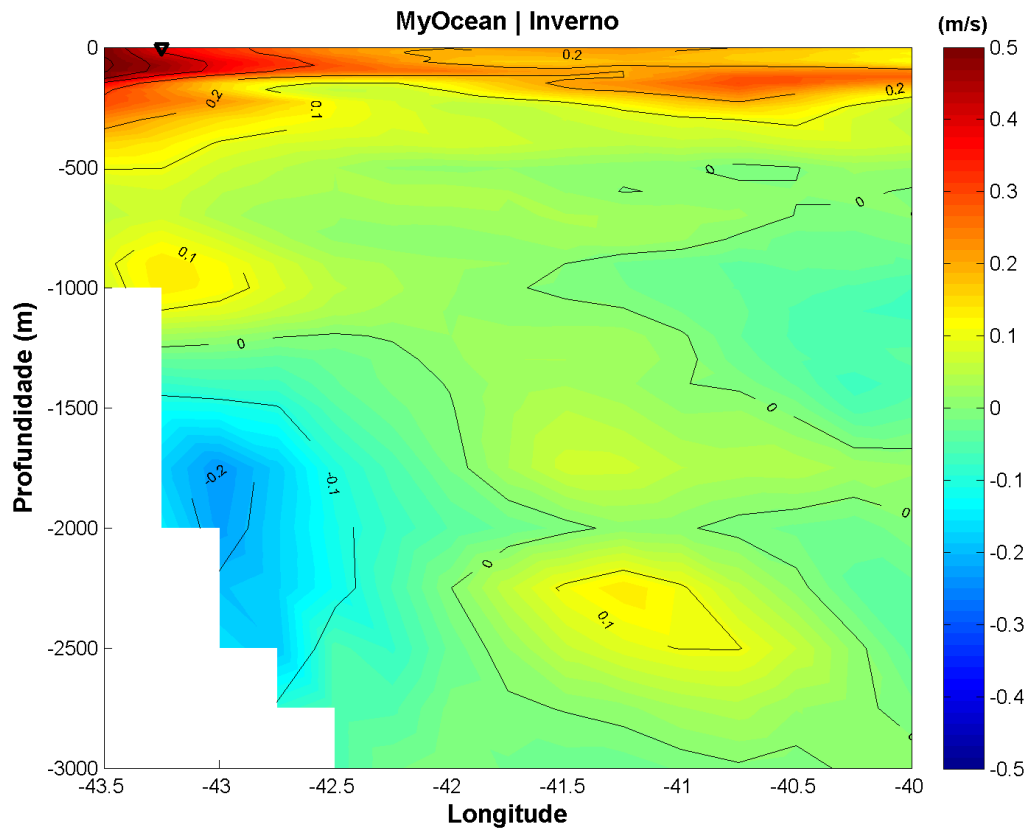


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 9 - Seção vertical da componente meridional de corrente, na latitude de 1° S, para o período de inverno. O triângulo em preto indica a posição aproximada dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. Fonte: Petrobras (2017).

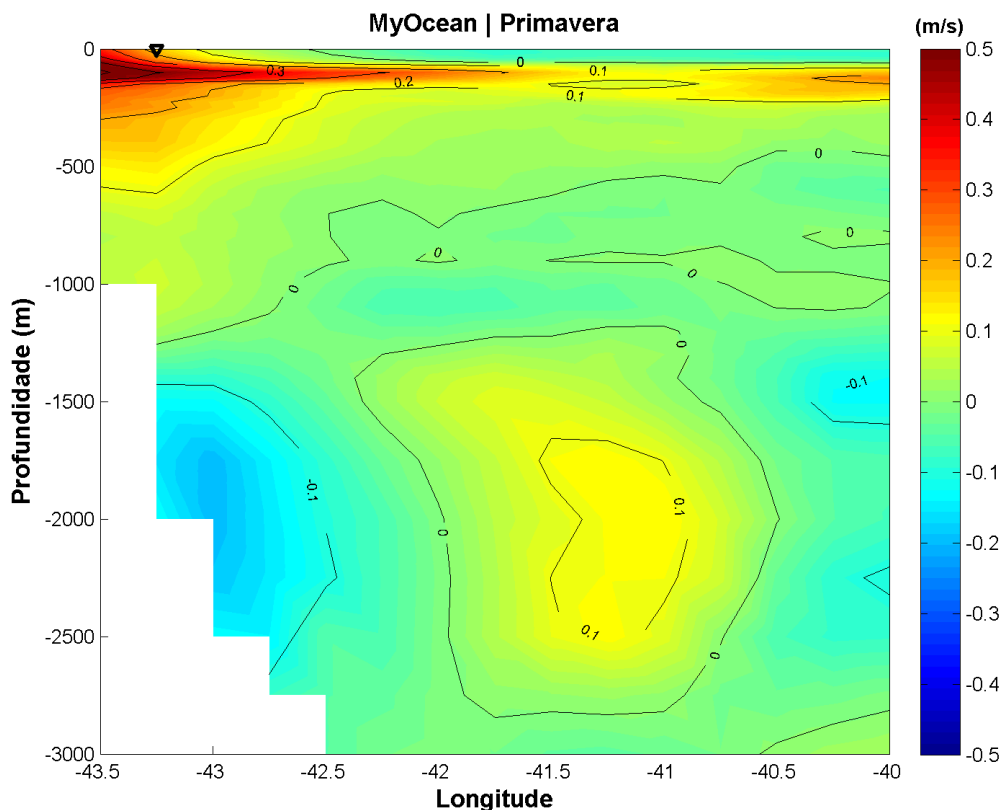


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 10 - Seção vertical da componente meridional de corrente, na latitude de 1° S, para o período de primavera. O triângulo em preto indica a posição aproximada dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5.

Fonte: Petrobras (2017).

Para avaliar as velocidades de corrente mais especificamente na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, foram extraídos os resultados do ponto de grade do MyOcean localizado em 1°S e 43,25°W no interior do bloco.

A série de temporal de correntes superficiais para todo o período analisado (Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 11) demonstra correntes bastante estáveis ao longo do tempo, com ocorrência de fluxo constante para noroeste associado à CNB.

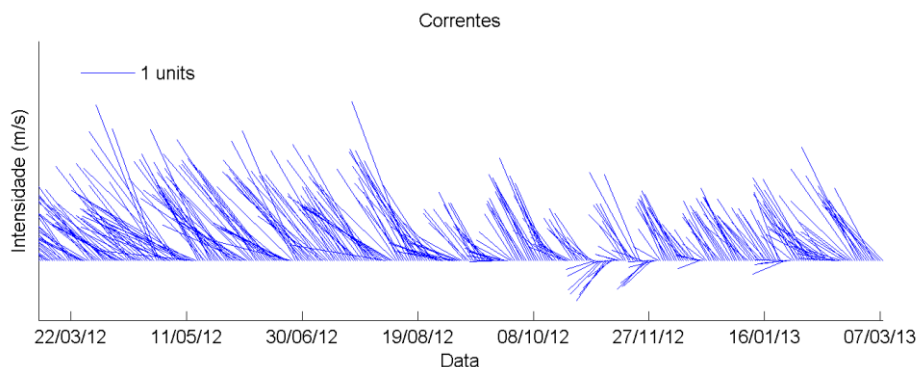


Figura II.6.1.1.2.2.3.2 - 11 - Série temporal de correntes superficiais para o ponto localizado em 1°S e 43,25°W.

Fonte: Petrobras (2017).

A Tabela II.6.1.1.2.2.3.2 - 1 apresenta a estatística básica das velocidades de corrente nas proximidades dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5. São verificadas correntes com velocidades médias de aproximadamente 0,9 m/s com máximas ultrapassando os 1,9 m/s.

Tabela II.6.1.1.2.2.3.2 - 1 - Estatística básica das velocidades de correntes na região do BM-BAR-3 e BM-BAR-5 (em m/s).

Vel. Mínima	Vel. Média	Vel. Máxima	D. Padrão
0,38	0,97	1,94	0,36

II.6.1.1.2.2.3.3 Fundeios na Área de Estudo

Foram realizados três fundeios na Área de Estudo com ADCP de 75kHz (Figura II.6.1.1.2.2- 1): um próximo aos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 (Fundeiio BAR-1) e dois na Bacia do Pará-Maranhão (Fundeios PAMA-1 e PAMA-2).

O fundeiio BAR-1 foi realizado de abril de 2008 a fevereiro de 2009 na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 com intuito de fazer medições para ajudar a caracterização do comportamento e variabilidade da circulação oceânica da região.

O fundeio consistiu de um perfilador acústico instalado a 430 m abaixo da superfície do mar, configurado com orientação "para cima" e para armazenar velocidade e direção da corrente em 16 níveis a cada 20 minutos. Abaixo desta profundidade foi feita a instalação de 8 correntômetros pontuais nas seguintes profundidades: 632m, 892m, 1162m, 1431m, 1703m, 1973m, 2244m e 2514m. Estes também foram configurados para medições em intervalos de tempo de 20 minutos. Para avaliar as variações sazonais da circulação da região são apresentadas as rosas de correntes para o período do fundeio para as profundidades de 53m, 200m, 1000m e 2000m (**Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 1 a Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 4**).

Maiores percentuais de velocidades maiores que 1,25 m/s para a Corrente Norte do Brasil foram observados no período de junho a novembro, nas camadas mais superficiais. A Corrente Norte do Brasil ainda domina o fluxo a 200m de profundidade, entretanto com velocidades menores que 1m/s. Abaixo da influência da Corrente Norte do Brasil, a Corrente de Contorno Profunda é observada com núcleo em torno de 2000 m, sendo mais intensa entre dezembro e maio.

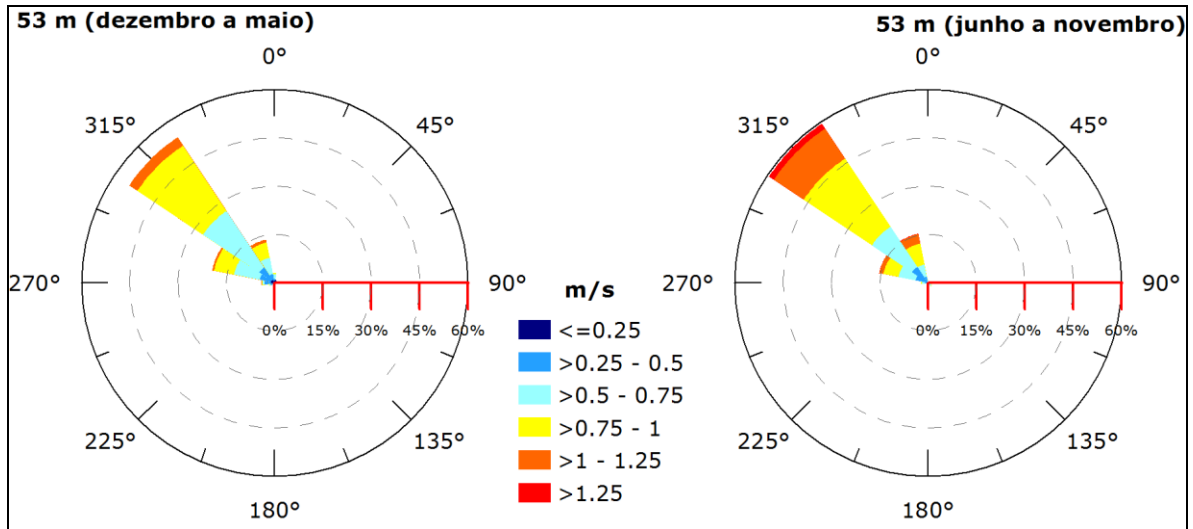


Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 1 - Rosas de correntes para a profundidade de 53 m, nos períodos de dezembro a maio (esquerda) e junho a novembro (direita) do fundeio BAR-1.

Fonte: Petrobras (2017).

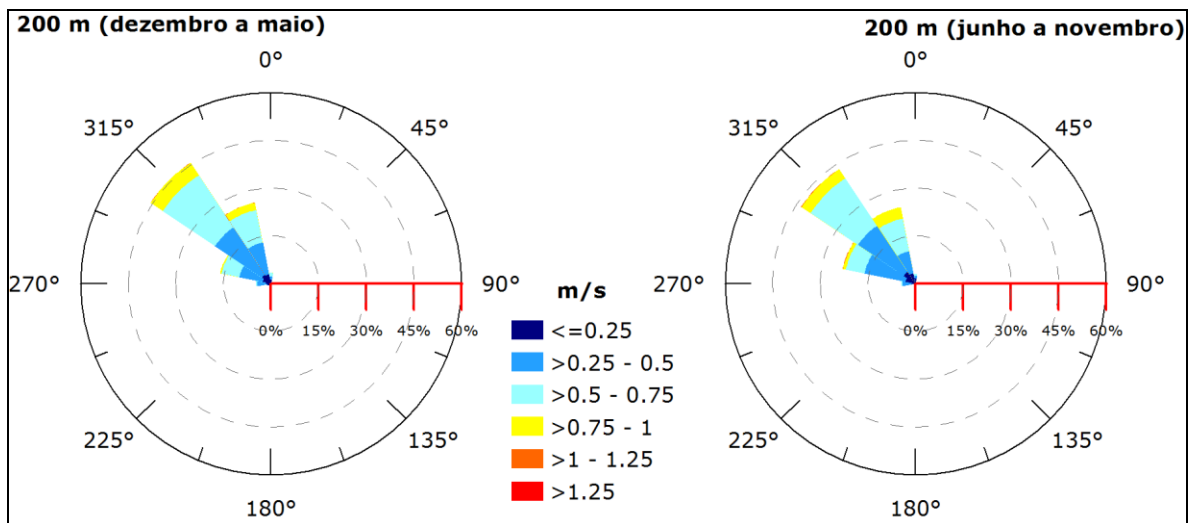


Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 2 - Rosas de correntes para a profundidade de 200 m, nos períodos de dezembro a maio (esquerda) e junho a novembro (direita) do fundeio BAR-1.

Fonte: Petrobras (2017).

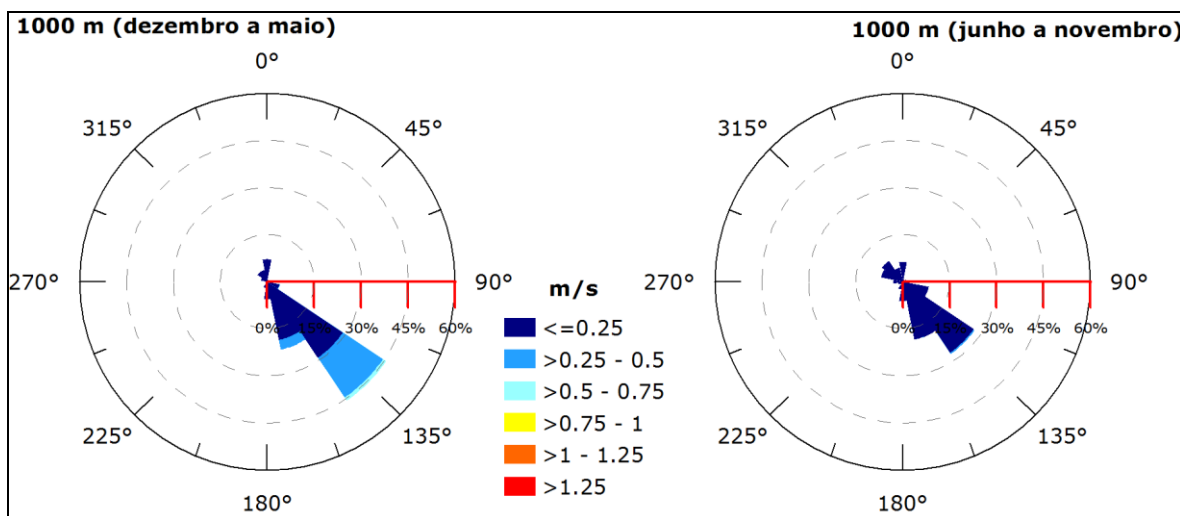


Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 3 - Rosas de correntes para a profundidade de 1000 m, nos períodos de dezembro a maio (esquerda) e junho a novembro (direita) do fundeio BAR-1.

Fonte: Petrobras (2017).

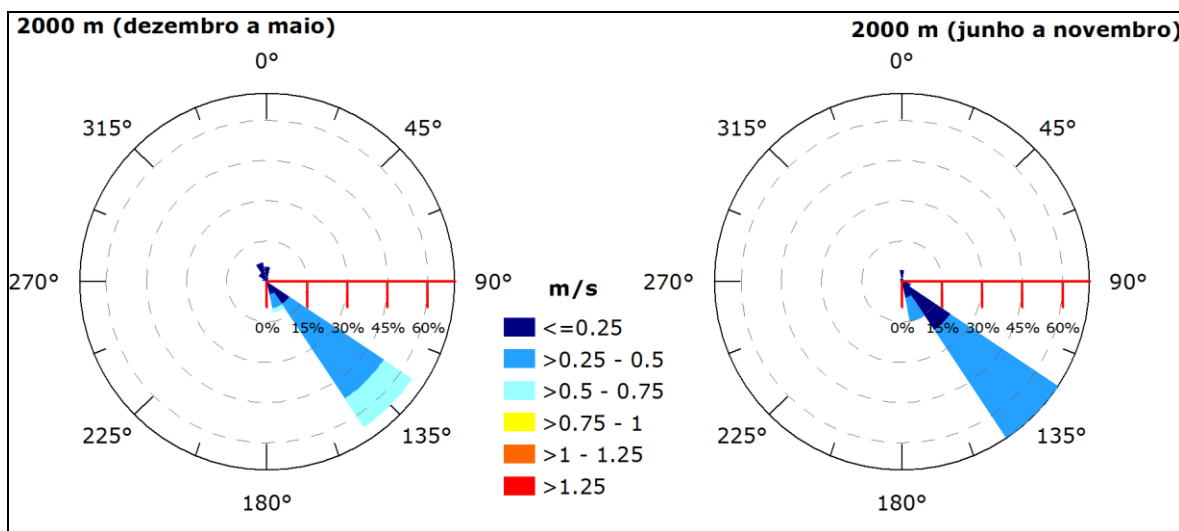


Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 4 - Rosas de correntes para a profundidade de 2000 m, nos períodos de dezembro a maio (esquerda) e junho a novembro (direita) do fundeio BAR-1.

Fonte: Petrobras (2017).

Foram também analisados dados de dois fundeios na bacia do Pará-Maranhão, sendo um em uma região com 200 metros de coluna d'água (fundeio

PAMA-1) e outro em uma profundidade de 1500 metros (fundeio PAMA-2), de Junho a Dezembro de 2012.

A linha de fundeio PAMA-1 foi equipada com perfilador acústico a 3 m acima do fundo. A linha de fundeio PAMA-2 foi equipada com um perfilador acústico instalado no nível nominal de profundidade de 400m e quatro correntômetros. Ambos os perfiladores acústicos foram configurados para armazenamento de dados horários.

A seguir, como primeira visualização dos dados dos fundeios nos pontos analisados, são apresentadas as séries temporais de intensidade e de direção interpoladas em profundidade para o fundeio PAMA-1 (**Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 5**). A corrente fluiu com direções variando entre W-NW em 91% dos dados, sendo a máxima intensidade 1,75 m/s medida em superfície para a lâmina d'água de 200m..

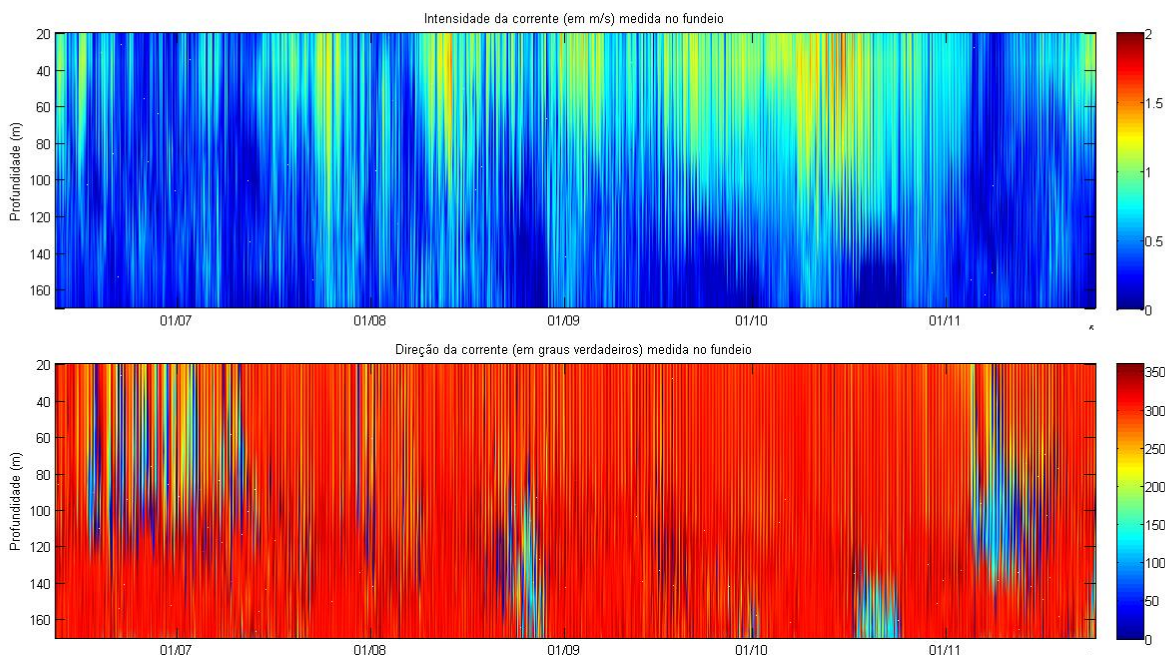


Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 5 - Séries temporais de intensidade de corrente em m/s (acima) e de direção em graus (abaixo) interpoladas na coluna d'água para todo o período de medição para o ADCP do fundeio PAMA-1 de junho a dezembro de 2012.

Fonte: Petrobras (2017).

A seguir, são apresentadas as séries temporais de intensidade e de direção interpoladas em profundidade para o fundeio PAMA-2 (**Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 6**). Neste fundeio, 98% dos dados mostram correntes variando entre W-NW. As maiores intensidades ocorrem nestas mesmas direções, sendo 1,98 m/s próximo à superfície. Nas demais profundidades ocorre o mesmo padrão, corrente fluindo para W-NW e no nível de maior profundidade, 370 m, a corrente flui nesta direção principal com uma frequência de 80% e a maior intensidade de corrente medida nesta profundidade foi de 0,80 m/s na direção W.

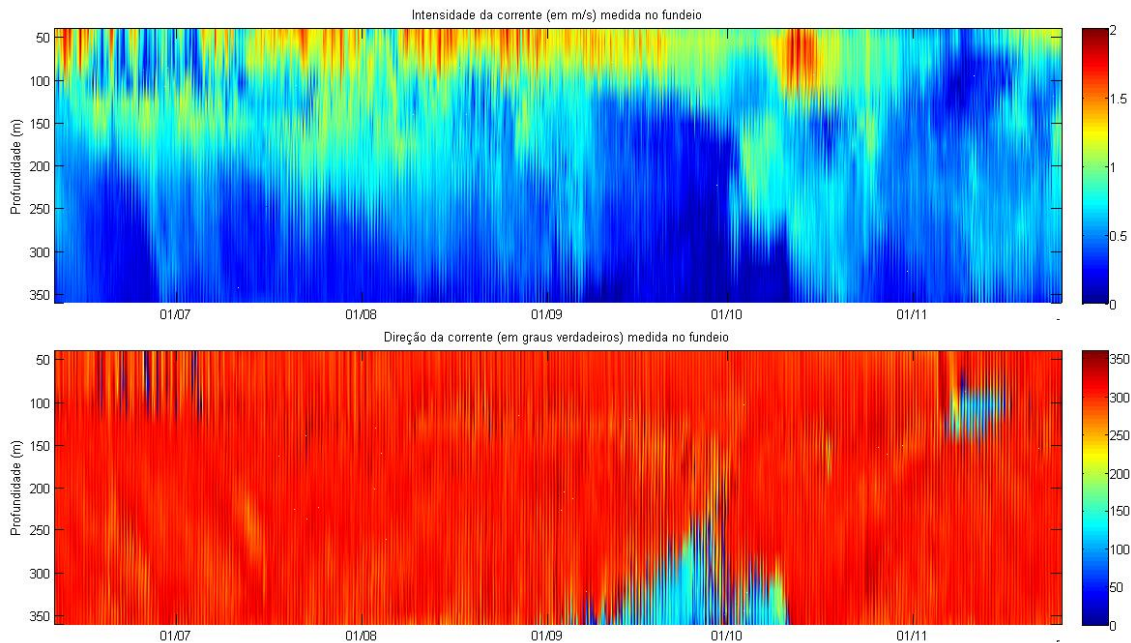


Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 6 - Séries temporais de intensidade de corrente em m/s (acima) e de direção em graus (abaixo) interpoladas na coluna d'água para todo o período de medição para o ADCP do fundeio PAMA-2 de junho a dezembro de 2012.

Fonte: Petrobras (2017).

A seguir são apresentadas as rosas de corrente para os fundeios PAMA-1 (Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 7) e PAMA-2 (Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 8).

A direção das correntes na região do fundeio PAMA-1 é para NW em superfície (20 m) e no fundo (170 m). Em superfície, as correntes chegam a ter entre 1,35 e 1,65 m/s de velocidade enquanto em 170 m não passam de 0,95 m/s.

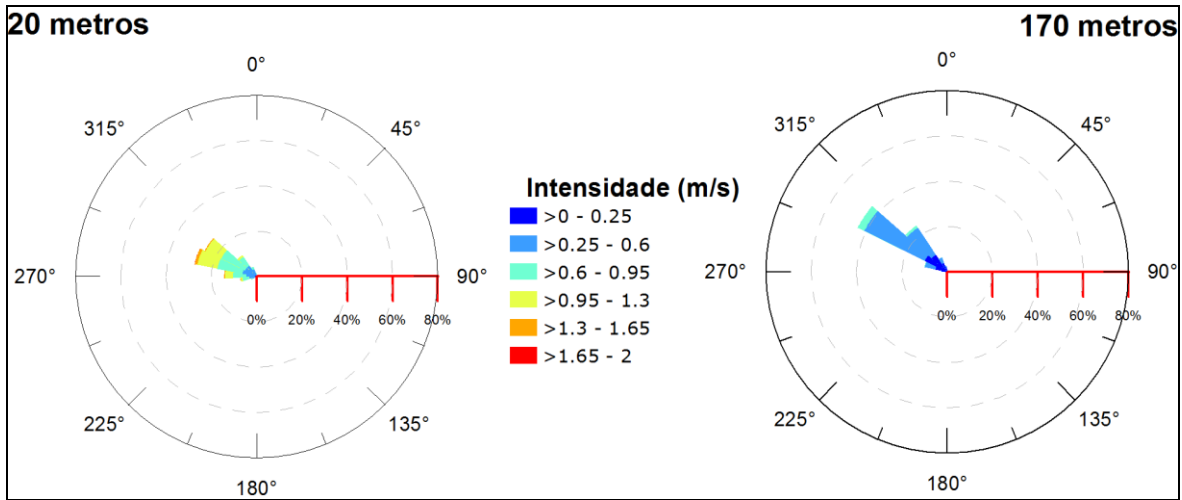


Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 7 - Rosas de corrente elaboradas com a primeira e última profundidade (20 e 170 metros) do fundeio PAMA-1.

Fonte: Petrobras (2017).

No fudeio PAMA-2, a direção das correntes é NW em tanto em superfície quanto no fundo. Nos dados mais superficiais, que neste fundeio são de 40 m, há velocidades superiores a 1,65 m/s. Em 360 m de profundidade, as velocidades não passam de 0,6 m/s.

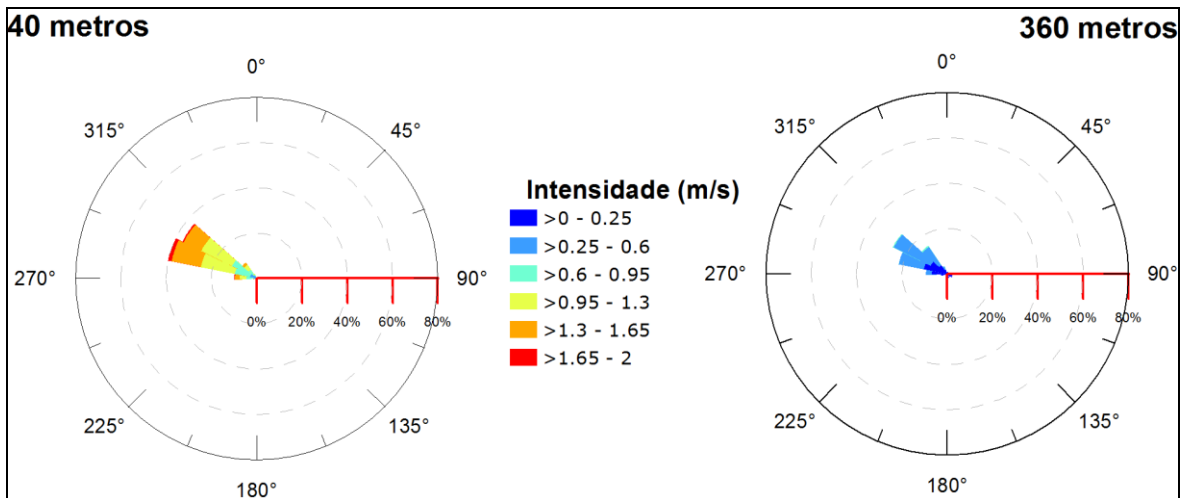


Figura II.6.1.1.2.2.3.3 - 8 - Rosas de corrente elaboradas com a primeira e última profundidade (40 e 360 metros) do fundeio PAMA-2.

Fonte: Petrobras (2017).

Segue abaixo na **Tabela II.6.1.1.2.2.3.3 - 1** a estatística básica dos dados dos fundeios PAMA-1 e PAMA-2, apresentando-se as porcentagens de ocorrência.

Tabela II.6.1.1.2.2.3.3 - 1 - Estatística básica dos dados de correntes medidos.

PAMA 1 a 20 metros									
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
0 a 0,25	1,2%	0,8%	0,2%	0,2%	0,6%	1,1%	2,2%	2,1%	8,4%
0,30 a 0,5	1,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,3%	1,4%	7,4%	11,1%	21,5%
0,55 a 1,0	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	1,1%	24,8%	28,6%	55,5%
>1,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,4%	6,2%	14,6%
Total	3,5%	0,9%	0,2%	0,2%	1,0%	3,6%	42,8%	47,9%	100,0%

PAMA 2 a 50 metros									
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
0 a 0,25	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,5%
0,30 a 0,5	0,5%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,6%	3,2%	5,5%
0,55 a 1,0	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	12,3%	21,2%	34,5%
>1,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	23,3%	31,3%	54,8%
Total	1,5%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	39,3%	58,9%	100,0%

PAMA 2 a 370 metros									
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
0 a 0,25	2,4%	2,3%	6,0%	6,6%	2,2%	1,5%	22,2%	25,0%	68,3%
0,30 a 0,5	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,3%	24,0%	29,5%
0,55 a 1,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	2,3%
>1,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
Total	2,6%	2,3%	6,1%	6,6%	2,2%	1,5%	27,6%	51,2%	100,0%

II.6.1.1.2.2.3.4 Derivadores Oceânicos das Campanhas

Para obtenção de conhecimento e embasamento além da literatura existente, foram realizadas campanhas para averiguação e coleta de dados de correntes na região das bacias de Barreirinhas e Pará-Maranhão utilizando-se derivadores oceânicos, com até 3 modelos de derivadores.

Foram realizadas duas campanhas para Petrobras: uma realizada pela Prooceano através do lançamento de 8 derivadores, sendo 5 do tipo SVP e 3 do tipo ISPHERE e uma realizada pela Ekman através do lançamento de 10 derivadores, 7 do tipo SVP e 3 do tipo Markerbuoy (MKR). O derivador do tipo

SVP, como já apresentado, tem uma vela que dificulta o arrasto pelo vento, representando a corrente superficial. Os derivadores ISPHERE e MKR não tem vela, então reproduzem o descolamento devido a corrente e vento, tendo como objetivo simular a deriva de manchas de óleo no mar.

Segundo Proceano (2012a, 2012b) lançou-se cada um dos derivadores do tipo ISPHERE em locais distintos nos blocos BM-BAR-1 [iBR01], BM-BAR-3 [iBR02] e BM-PAMA-11 [iBR03]. Os iBR01 e iBR03 foram lançados sobre a Plataforma Continental e o iBR02 na quebra da plataforma, em isóbata superior a 1000 m.

A **Figura II.6.1.1.2.2.3.4 - 1** apresenta a trajetória realizada pelos derivadores tipo ISPHERE.

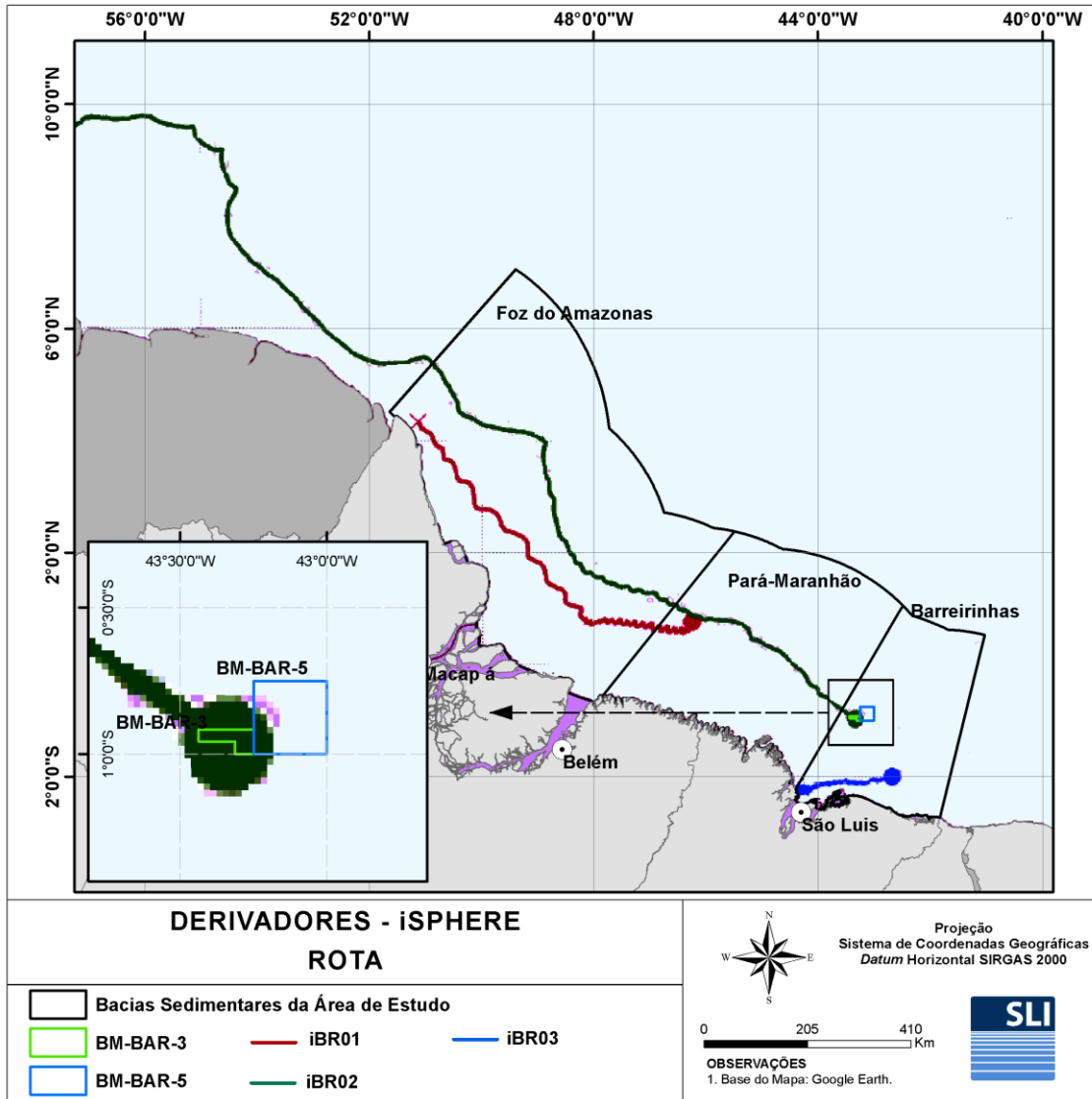


Figura II.6.1.1.2.2.3.4 - 1 - Trajetórias descritas pelos derivadores tipo ISPHERE.

Fonte: Prooceano (2012b), adaptado por SLI.

Os demais derivadores (cinco) pertencem ao tipo SVP-WOCE, sendo lançados entre os dias 21 e 23 de julho de 2012 em uma radial da costa nas profundidades de 100, 1000, 2000, 2500 e 3000 metros (em ordem decrescente, iBR05 a iBR01, respectivamente), na região do BM-BAR-1 (PROOCEANO 2012b), adjacente aos blocos exploratórios BM-BAR-3 e BM-BAR-5. A **Figura**

II.6.1.1.2.2.3.4 - 2 apresenta a trajetória realizada pelos derivadores tipo SVP-WOCE.

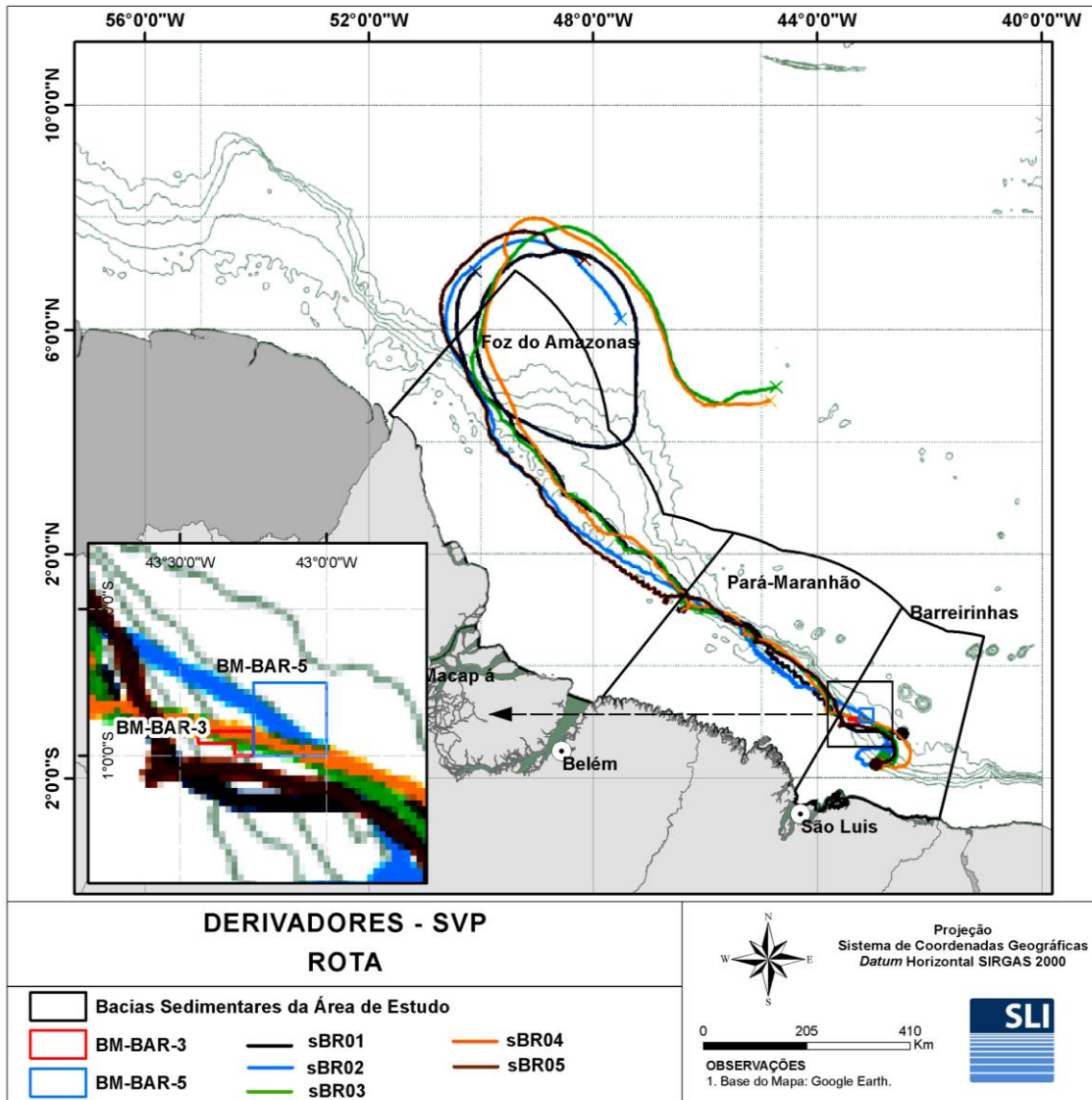


Figura II.6.1.1.2.2.3.4 - 2 - Trajetórias descritas pelos derivadores tipo SVP-WOCE.

Fonte: Proceano (2012b), adaptado por SLI.

De acordo com Proceano (2012b), os dados gerados pelo equipamento iSPHERE, sugerem que a dinâmica de manchas de óleo e, principalmente, o tempo para toque não apresentam uma correlação com a distância da costa mas sim, com a lâmina d'água do ponto inicial.

Os derivadores iSPHERE lançados sobre a plataforma continental, mesmo em regiões onde esta é mais larga, atingiram a costa mais rapidamente que o derivador lançado sobre sua quebra (mesmo sendo menor a distância desta para a linha de costa). Adicionalmente, foram observadas correlações da trajetória com a maré e não com o vento local.

Em relação ao SVP, a trajetória seguiu o esperado para o fluxo da Corrente Norte do Brasil (CNB), representando sua retroflexão e um dos derivadores representou o vórtice anticiclônico.

Ekman (2013) descreve uma outra campanha com o lançamento de dez derivadores, sendo sete SVP's e três do modelo Markerbuoy (MKR).

Os derivadores foram lançados ao largo do estado do Maranhão, tanto na Plataforma Continental quanto no Talude Continental. Na **Tabela II.6.1.1.2.2.3.4 - 1** são apresentados o tipo de derivador, sua identificação, datas e coordenadas de lançamento tais quais data da captura e encalhe, além de sua posição (geográfica) final. Dois dos 10 derivadores permaneceram na água além de 5 meses do seu lançamento, sendo descritos no relatório até 12 de março de 2013.

Tabela II.6.1.1.2.2.3.4 - 1 - Derivadores lançados no projeto CODE (EKMAN, 2013, adaptado SLI).

IMEI	tipo	Data de lançamento	Data de captura/ encalhe	Inicial		Final		Tempo de vida (dias)
				Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	
218180	SVP	27/10/2012	-	-1,7611	-42,967	-9,1677	-54,2734	*
216190	SVP	27/10/2012	01/11/12	-1,7600	-42,9652	-1,4229	-43,5937	6
217150	SVP	28/10/2012	16/12/12	-1,7393	-42,9614	2,2354	-48,8224	50
211180	MKR	28/10/2012	9/11/12	-2,000	-42,6889	-2,1716	-44,4091	13
211190	SVP	29/10/2012	23/02/13	-1,7322	-42,9165	9,7090	-49,7383	117
214180	SVP	29/10/2012	-	-1,6464	-42,821	7,7071	-46,7809	*
217190	SVP	30/10/2012	01/11/12	-1,5094	-42,6405	-1,2116	-43,4302	2
212180	SVP	31/10/2012	09/11/12	-1,2449	-42,2946	0,3131	-45,1252	10
219170	MKR	01/11/2012	20/11/12	-1,0003	-43,3131	0,0213	-47,3042	20
217170	MKR	12/11/2012	16/11/12	0,7498	-46,2500	0,8460	-46,9132	5

* Não coletados antes de 12 de março de 2013.

A **Figura II.6.1.1.2.2.3.4 - 3** apresenta a trajetória realizada pelos derivadores tipo SVP-WOCE.

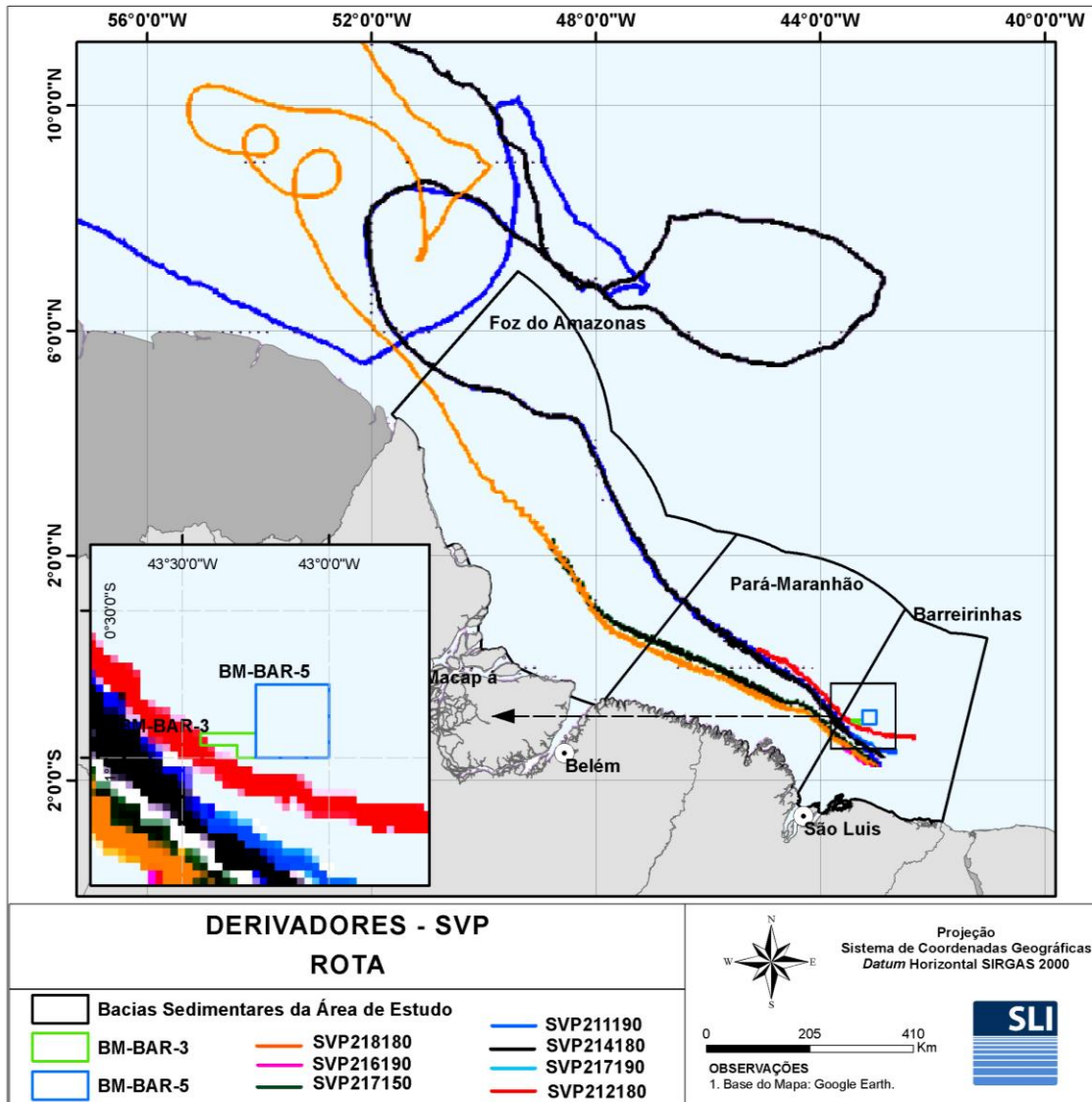


Figura II.6.1.1.2.2.3.4 - 3 - Trajetórias descritas pelos derivadores tipo SVP-WOCE.

Fonte: Ekman (2013), adaptado por SLI.

A Figura II.6.1.1.2.2.3.4 - 4 apresenta a trajetória realizada pelos derivadores tipo MKR.

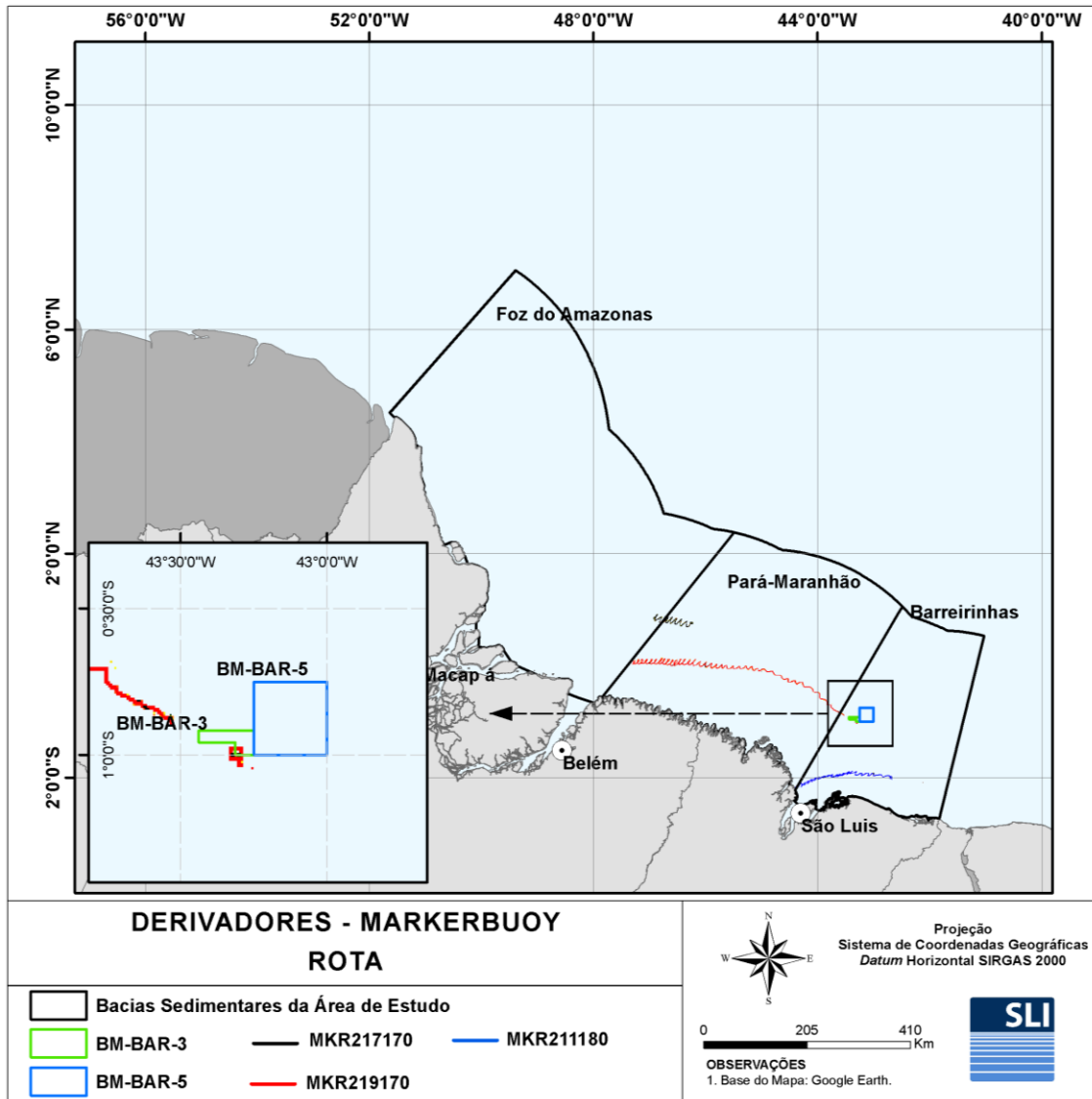


Figura II.6.1.1.2.2.3.4 - 4 - Trajetórias descritas pelos derivadores tipo MKR.

Fonte: Ekman (2013), adaptado por SLI.

Segundo Ekman (2013), observou-se que:

- Enquanto na Área de Estudo, todos os derivadores inclusive do tipo SVP, apresentaram a influência da maré em seu deslocamento;

- Todos os derivadores se deslocaram primeiramente para norte/noroeste do ponto de lançamento. Apenas uma boia do tipo MKR (IMEI 211180) seguiu para oeste e após alguns dias para sudoeste;
- No segundo mês do projeto, os derivadores 211190 e 214180 atingiram 8°N e sofreram uma retroflexão para leste/sudeste. No quarto mês o 211190 voltou a seguir para NW, sendo capturado próximo à Trinidad e Tobago. Já o 214180 no quinto mês continuou seguindo para N, próximo à 2°N.
- Próximo a 8°N, o derivador 218180 começou a apresentar uma trajetória circular, mostrando o momento em que se uniu a um anel da Corrente Norte do Brasil, sendo observado próximo a 2°N no quinto mês do projeto;
- As componentes zonais e meridionais das correntes estimadas a partir do deslocamento dos derivadores ficaram abaixo de 1,5 m/s ao longo de todo o período do monitoramento.

II.6.1.1.2.2.3.5 Dados de ADCP de casco

Foram realizadas medições de dados de correntes com ADCP instalado em navios de pesquisa durante o período de seco entre os dias 20/10/2012 e 18/11/2012, e durante o período chuvoso entre 27/05/2012 e 19/06/2012 (campanha Pará-Maranhão – E&P-EXP).

O navio Seward Johnson fez a campanha do período chuvoso equipado com dois perfiladores acústicos de correntes ADCP TRDI instalados em seu casco, um OS38 (38 kHz) e um OS150 (150 kHz). No período seco o navio utilizado foi o Ocean Stalwart, equipado com um ADCP do tipo Workhorse Long Range 75 kHz (LR75), a 7 metros de profundidade.

Os dados coletados foram processados conforme detalhado em Cenes (2013c). A rota realizada pelo navio de pesquisa é apresentada na **Figura**

II.6.1.1.2.2.3.5 - 1.

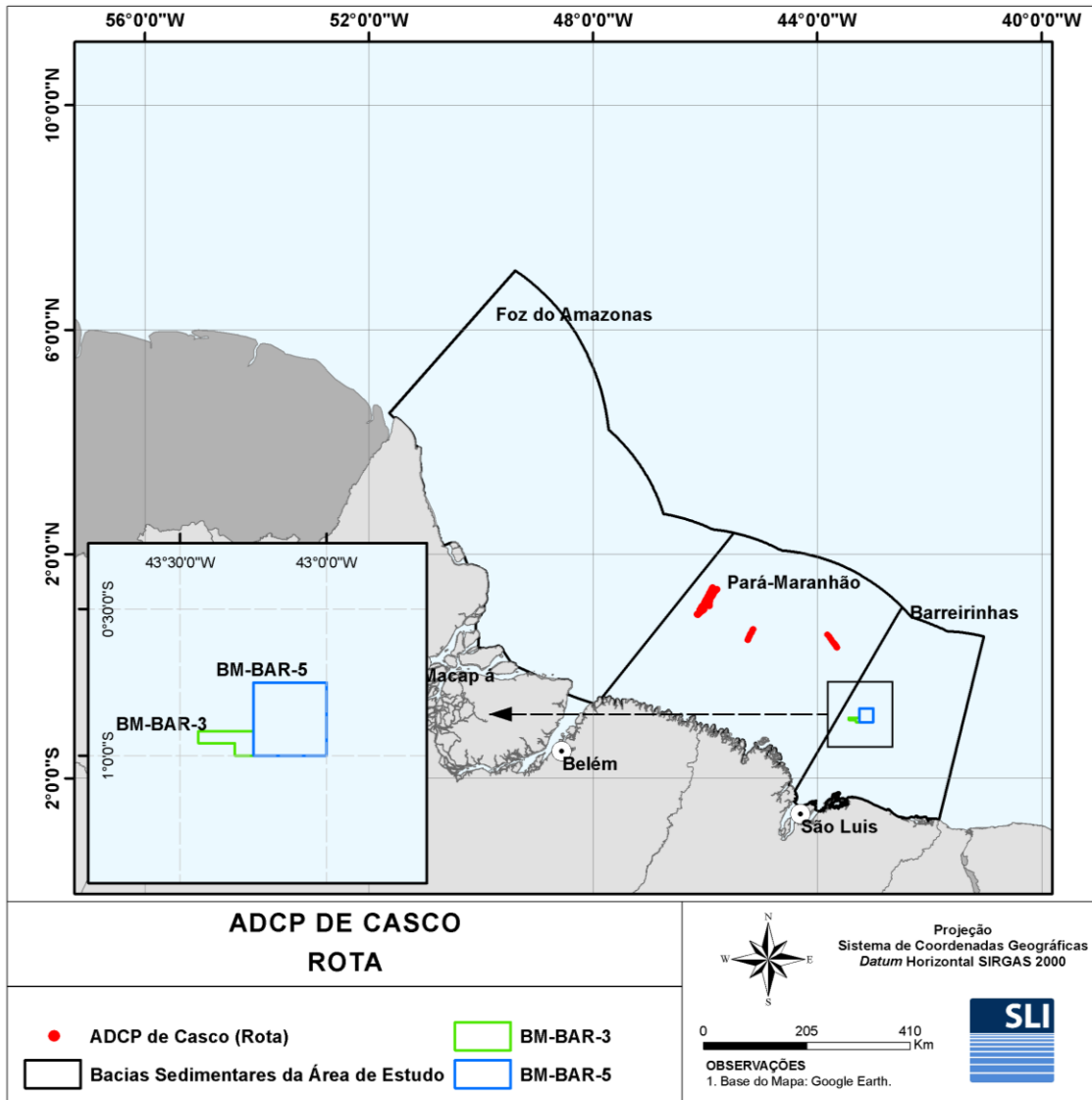


Figura II.6.1.1.2.2.3.5 - 1 - Rota realizada pelo navio de pesquisa Steward Johnson entre 27/05/2012 e 19/06/2012.

Fonte: Cenpes (2013c).

Conforme apontado em Cenpes (2014), os dados medidos no período seco tiveram outra calibração e em profundidades maiores que 100 metros apresentaram falhas, dificultando sua análise. De modo geral, entre 42°W e 43°W foram observadas correntes com 0,8 m/s para NW.

No período chuvoso, as direções de correntes medidas foram principalmente para sentido NW nas profundidades de 39 m a 231 m, com ocorrências em mais de 70% dos casos, quando comparados com outras direções. À medida que aumenta-se a profundidade, gradualmente as ocorrências de velocidades com direções para W tornam-se mais frequentes. Observam-se velocidades entre 1,6 e 1,7 m/s mais frequentes nas profundidade de 39 m, e velocidades mais frequentes diminuindo gradativamente com o aumento da profundidade, até que velocidades entre 0,2 e 0,4 m/s tornam-se mais frequentes nas profundidades maiores que 231 m. A seguir, nas **Tabela II.6.1.1.2.2.3.5 - 1** e **Tabela II.6.1.1.2.2.3.5 - 2**, são apresentados os dados medidos de corrente para as direções W e NW, respectivamente.

Tabela II.6.1.1.2.2.3.5 - 1 - Distribuição de ocorrência das velocidades de corrente medidas de direção de W para cada profundidade.

prof. (m): Vel (m/s)	39	63	87	111	135	159	183	207	231	255	279	303	327	351	375	399
0 - 0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
0,1 - 0,2	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,05
0,2 - 0,3	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,11	0,11	0,10	0,12	0,22	0,27	0,27
0,3 - 0,4	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,14	0,23	0,33	0,30	0,15	0,16	0,21	0,10
0,4 - 0,5	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,03	0,05	0,07	0,05	0,05	0,00	0,01	0,00
0,5 - 0,6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6 - 0,7	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,7 - 0,8	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,8 - 0,9	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,9 - 1	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 - 1,1	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,1 - 1,2	0,04	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,2 - 1,3	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3 - 1,4	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,4 - 1,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,5 - 1,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,6 - 1,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,7 - 1,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,8 - 1,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,9 - 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Freq. (W)	19%	18%	11%	5%	5%	5%	6%	12%	23%	41%	53%	47%	33%	39%	53%	42%

Tabela II.6.1.1.2.2.3.5 - 2 - Distribuição de ocorrência das velocidades de corrente medidas de direção de NW para cada profundidade.

prof. (m): Vel (m/s)	39	63	87	111	135	159	183	207	231	255	279	303	327	351	375	399
0 - 0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0 - 0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05
0,2 - 0,3	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,07	0,05	0,09	0,14	0,18	0,21	0,27
0,3 - 0,4	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,07	0,13	0,25	0,16	0,14	0,24	0,48	0,37	0,23	0,24
0,4 - 0,5	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,07	0,22	0,34	0,21	0,20	0,22	0,18	0,03	0,03	0,02	0,00
0,5 - 0,6	0,01	0,01	0,01	0,09	0,09	0,22	0,32	0,21	0,19	0,14	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6 - 0,7	0,00	0,00	0,04	0,02	0,07	0,15	0,15	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,7 - 0,8	0,00	0,01	0,03	0,01	0,07	0,08	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,8 - 0,9	0,00	0,02	0,04	0,03	0,11	0,19	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,9 - 1	0,02	0,04	0,02	0,05	0,13	0,13	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 - 1,1	0,05	0,02	0,01	0,11	0,13	0,08	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,1 - 1,2	0,03	0,05	0,05	0,15	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,2 - 1,3	0,08	0,11	0,14	0,16	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3 - 1,4	0,06	0,05	0,14	0,11	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,4 - 1,5	0,07	0,10	0,17	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,5 - 1,6	0,05	0,16	0,16	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,6 - 1,7	0,14	0,15	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,7 - 1,8	0,12	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,8 - 1,9	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,9 - 2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Freq.(NW)	71%	76%	87%	94%	95%	94%	93%	87%	76%	57%	47%	52%	67%	60%	47%	56%

II.6.1.1.2.2.4 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-BAR-3 e BM-BAR-5. Nesse contexto, a modelagem numérica torna-se essencial para caracterização do estado do mar ao longo do litoral e áreas *offshore* 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 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.

Na descrição aqui apresentada serão utilizados alguns termos como vaga (*wind sea*) e marulho (*swell*). Entende-se por vaga ou *wind sea*, a onda que ainda está sofrendo influência do vento que a gerou, ou seja, ainda está em sua área 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.

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 ($T_p=1/f_p$).

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 BM-BAR-3 e BM-BAR-5 encontra-se sob influência das ondas geradas no cinturão dos ventos Alísios, sendo influenciada por ondas de longas pistas do quadrante Norte e Leste.

Segundo Innocentini *et. al.* (2001), na Região Norte do Brasil, do Amapá até aproximadamente Natal (RN), 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.

Ondas originadas por ventos de tempestade de inverno no Atlântico Norte, que ocorrem principalmente entre dezembro e março, também podem atingir a área dos blocos, na forma de *swell*.

Coincidentemente, 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.

Esta caracterização é baseada na reconstituição da agitação marítima realizada com o modelo de ondas *WaveWatch III*, em escala global, resolução de 1° em longitude e latitude, forçado por ventos oriundos da Reanálise da NOAA/NCEP, para o período de 1° de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 2011, com resultados gravados a cada 6 horas.

Informações e documentação de todas as versões do modelo de ondas *WaveWatch III* podem ser encontradas no seguinte endereço eletrônico: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>. Para o estudo em questão, foi utilizada a versão 2.22 e informações técnicas referentes à utilização e instalação do modelo encontram-se em WW3DG (2016).

O modelo *WaveWatch III* separa o espectro de energia das ondas em vaga e marulho. No diagrama de dispersão de altura e direção das ondas, pode-se verificar a ocorrência de ondas variando de N a E, com as maiores alturas atingindo valores acima de 3 m (**Figura II.6.1.1.2.2.4- 1**). A ondulação de vaga (*wind sea*) apresenta distribuição parecida, porém, por se tratar de ondas geradas pelo vento local, há uma maior ocorrência de ondas de NE e E. O marulho (*swell*) apresenta uma amplitude direcional ligeiramente menor, com maior ocorrência de ondas de N. Na **Figura II.6.1.1.2.2.4- 1** a seguir é possível observar a dispersão de altura significativa (H_s) da onda com relação as direções e períodos (T_p), para a área de interesse (localização do ponto do WW3 na **Figura II.6.1.1.2.2- 1**).

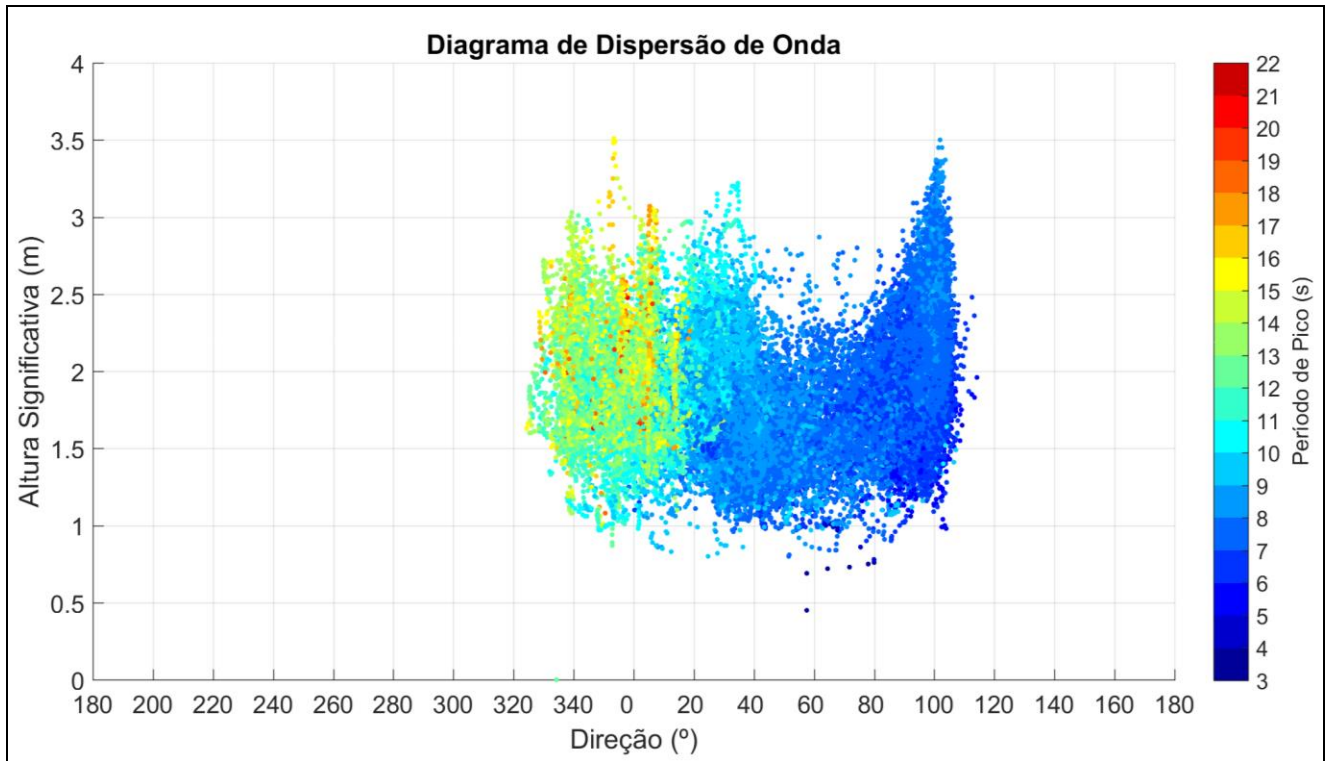


Figura II.6.1.1.2.2.4- 1 - Diagrama de dispersão de altura significativa (H_s) por direção e período de pico (T_p).

As ondas de maiores períodos ocorrem, preferencialmente, de direção Norte. Mas a maior frequência de ocorrência das ondas é de Leste/Nordeste, como pode ser observado nas figuras a seguir (**Figura II.6.1.1.2.2.4- 2 e Figura II.6.1.1.2.2.4- 3**).

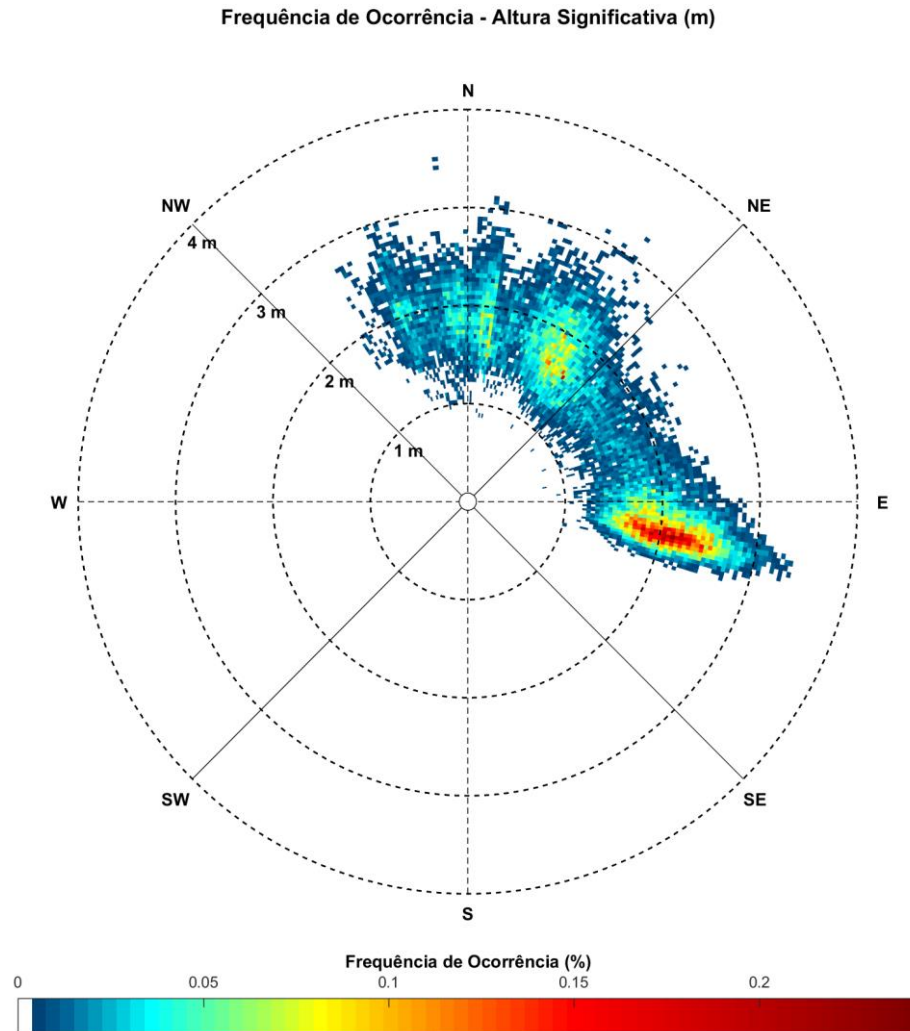


Figura II.6.1.1.2.2.4- 2 - Frequência de Ocorrência das Alturas Significativas (H_s) de onda.

Frequência de Ocorrência - Período (s)

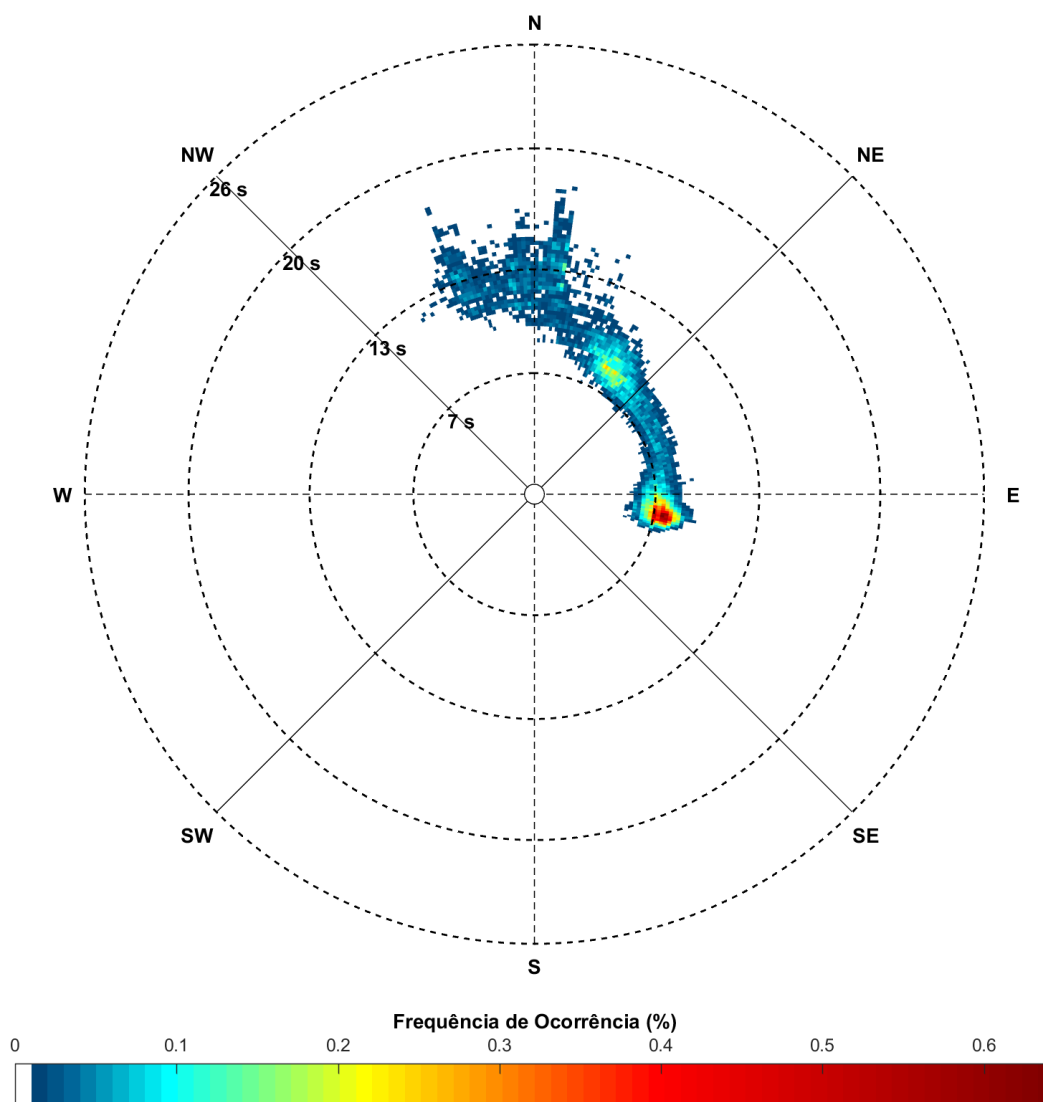


Figura II.6.1.1.2.2.4- 3 - Frequência de Ocorrência dos Períodos de Picos (T_p) de onda.

As tabelas a seguir detalham esses resultados. Os máximos de altura significativa (**Tabela II.6.1.1.2.2.4- 1**) estão associados geralmente ao quadrante N e NE. A tabela demonstra a ocorrência de ondas bem orientadas de NE e E, que juntas contribuem com 94,4% das ondas. As alturas mais típicas estão entre 1,5 m e 2,0 m (46,64%), seguidas de ondas de 2,0 a 2,5 m (32,09%).

Tabela II.6.1.1.2.2.4- 1 - Ocorrência conjunta entre altura significativa (Hs) e direção média.

Altura (m)/direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	total	Freq. (%)
0 - 0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5 - 1,0	4	152	81	0	0	0	0	0	237	0,49
1,0 - 1,5	184	3300	3412	1	0	0	0	0	6897	14,31
1,5 - 2,0	1016	10568	10900	0	0	0	0	0	22484	46,64
2,0 - 2,5	1062	7200	7210	0	0	0	0	0	15472	32,09
2,5 - 3,0	374	1124	1362	1	0	0	0	0	2861	5,93
3,0 - 4,0	63	81	107	0	0	0	0	0	251	0,52
4,0 - 5,0	4	2	0	0	0	0	0	0	6	0,01
5,0 - 6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total	2707	22427	23072	2	0	0	0	0	48208	
Freq. (%)	5,62	46,52	47,86	0	0	0	0	0		

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

Para a vaga (wind sea) (**Tabela II.6.1.1.2.2.4- 2**) predominam as ondas de E (81,28%), seguindo os ventos mais comuns na região, e alturas principalmente entre 1,5 e 2,0 m (40,29%). O marulho (swell) mais comum é de N e NE (39,27% e 47,38%, respectivamente) e as alturas predominantes são de 0,5 a 1,0 m (44,03%), seguidas de ondas de 1,0 a 1,5 m (26,61%) (**Tabela II.6.1.1.2.2.4- 3**).

Tabela II.6.1.1.2.2.4- 2 - Ocorrência conjunta entre altura e direção da vaga (wind sea).

Altura (m)/direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	total	Freq. (%)
0 - 0,5	2	69	177	12	4	4	1	3	272	0,7
0,5 - 1,0	3	323	2952	28	2	5	9	2	3324	8,59
1,0 - 1,5	17	2126	10131	14	0	1	0	0	12289	31,75
1,5 - 2,0	38	3285	12268	7	0	0	0	0	15598	40,29
2,0 - 2,5	24	1211	5083	2	0	0	0	0	6320	16,33
2,5 - 3,0	2	53	787	1	0	0	0	0	843	2,18
3,0 - 4,0	0	0	65	0	0	0	0	0	65	0,17
4,0 - 5,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,0 - 6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total	86	7067	31463	64	6	10	10	5	38711	
Freq. (%)	0,22	18,26	81,28	0,17	0,02	0,03	0,03	0,01		

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

Tabela II.6.1.1.2.2.4- 3 - Ocorrência conjunta entre altura e direção do marulho (swell).

Altura (m)/direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	total	Freq. (%)
0 - 0,5	3581	2317	339	16	0	0	0	400	6653	13,89
0,5 - 1,0	8210	10350	1844	5	0	0	0	687	21096	44,03
1,0 - 1,5	4718	6022	1649	2	0	0	0	358	12749	26,61
1,5 - 2,0	1723	3079	860	1	0	0	0	81	5744	11,99
2,0 - 2,5	439	840	129	0	0	0	0	18	1426	2,98
2,5 - 3,0	124	92	3	0	0	0	0	5	224	0,47
3,0 - 4,0	21	0	0	0	0	0	0	0	21	0,04
4,0 - 5,0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0
5,0 - 6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total	18818	22700	4824	24	0	0	0	1549	47915	
Freq. (%)	39,27	47,38	10,07	0,05	0	0	0	3,23		

Fonte: Petrobras (2017), adaptado por SLI.

Na **Figura II.6.1.1.2.2.4- 4** pode ser visualizada a distribuição de período por altura para todo o espectro de energia, ou seja, considerando todo o espectro, apenas vagas e apenas marulhos. Nota-se que para a distribuição referente a todo o espectro (gráfico superior) e ao marulho (gráfico inferior) possuem ocorrências em períodos mais elevados, maiores que 15 segundos, embora as maiores alturas (em torno de 3 m) estejam associadas a períodos menores também. Para as vagas (gráfico intermediário), há uma tendência quase que linear de aumento das alturas com o aumento dos períodos.

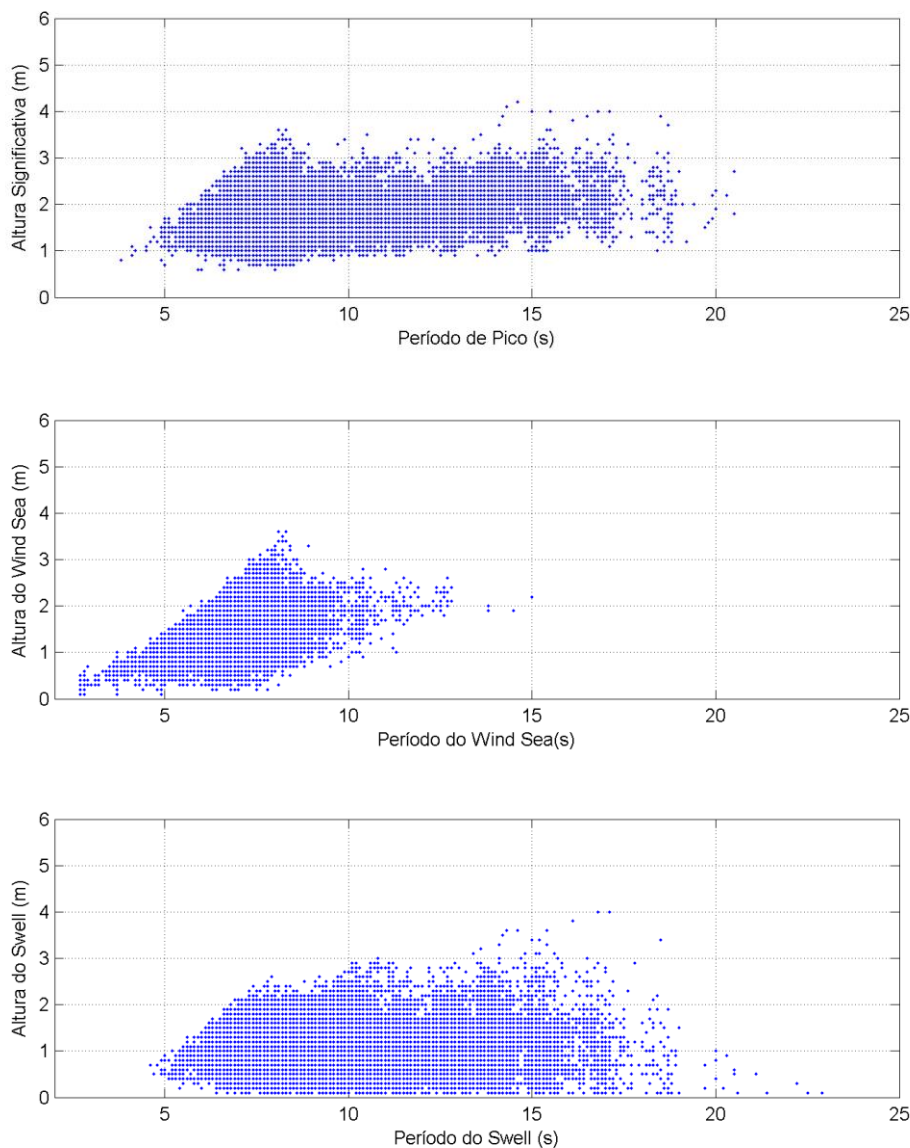


Figura II.6.1.1.2.2.4- 4 - Diagrama de dispersão para altura significativa e período de pico para todo o espectro (superior), wind sea (intermediária) e swell (inferior).

Para verificar a variação sazonal no clima de ondas da região, da **Figura II.6.1.1.2.2.4- 5** a **Figura II.6.1.1.2.2.4- 7** são apresentadas as alturas médias e

máximas mensais, considerando todo o espectro, vagas (wind sea) e os marulhos (swell).

Considerando as alturas significativas médias (**Figura II.6.1.1.2.2.4- 5**), podemos verificar um claro ciclo sazonal, com as maiores alturas médias no período de primavera e verão, e alturas menores no outono e inverno. Fevereiro aparece como mês de maior média de alturas (2,08 m). As alturas significativas máximas (**Figura II.6.1.1.2.2.4- 5**) apresentam o mesmo padrão, com dois picos principais, ocorrendo em fevereiro e dezembro.

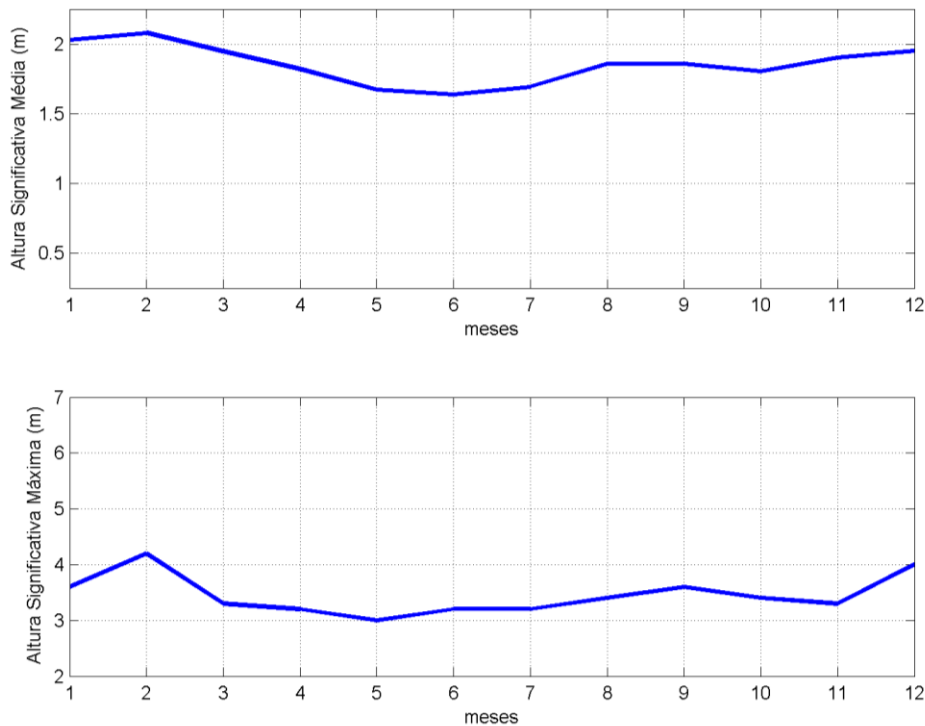


Figura II.6.1.1.2.2.4- 5 - Valores médios (superior) e máximos (inferior) mensais da altura significativa.

Considerando as vagas (*wind sea*) **Figura II.6.1.1.2.2.4- 6** e os marulhos (*swell*) **Figura II.6.1.1.2.2.4- 7**, verificamos que a variação sazonal dos marulhos é muito próxima aquela apresentada para altura significativa, entretanto para as vagas, a variação é diferente, com as maiores médias e máximas nos meses de agosto e setembro.

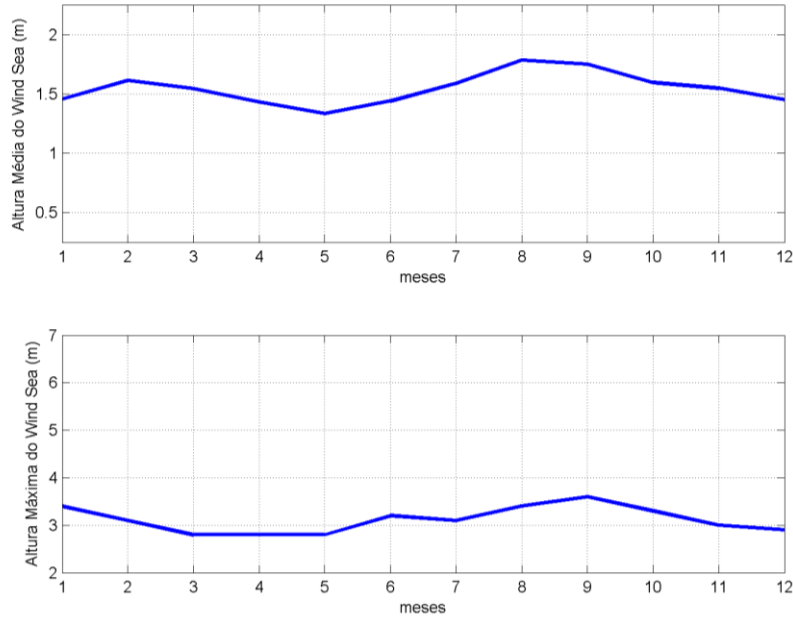


Figura II.6.1.1.2.2.4- 6 - Valores médios (superior) e máximos (inferior) mensais do wind sea.

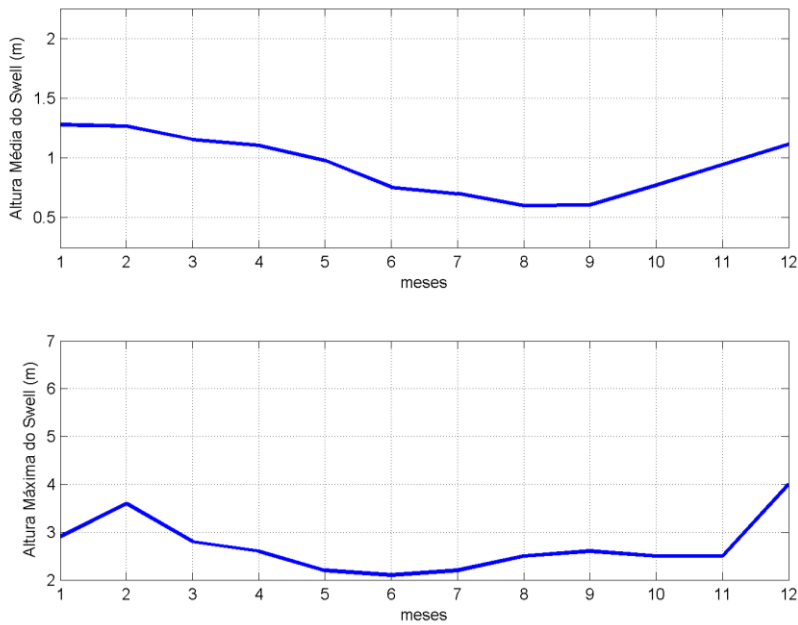


Figura II.6.1.1.2.2.4- 7 - Valores médios (superior) e máximos (inferior) mensais do swell.

A Tabela II.6.1.1.2.2.4- 4 apresenta os valores médios e máximos mensais de Hs, altura dos marulhos (swell) e alturas das vagas (*wind sea*).

Tabela II.6.1.1.2.2.4- 4 - Valores médios e máximos mensais de altura significativa, marulhos e vagas em metros.

mês	Hs (m)		Marulhos (m)		Vagas (m)	
	média	máxima	média	máxima	média	máxima
janeiro	2,03	3,60	1,28	2,90	1,46	3,40
fevereiro	2,08	4,20	1,27	3,60	1,61	3,10
março	1,95	3,30	1,15	2,80	1,54	2,80
abril	1,82	3,20	1,10	2,60	1,43	2,80
maio	1,67	3,00	0,98	2,20	1,33	2,80
junho	1,64	3,20	0,76	2,10	1,44	3,20
julho	1,69	3,20	0,70	2,20	1,59	3,10
agosto	1,86	3,40	0,60	2,50	1,78	3,40
setembro	1,86	3,60	0,61	2,60	1,75	3,60
outubro	1,80	3,40	0,77	2,50	1,60	3,30
novembro	1,90	3,30	0,94	2,50	1,55	3,00
dezembro	1,95	4,00	1,12	4,00	1,45	2,90

Fonte: Petrobras (2017).

Em resumo, a agitação marítima na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 é caracterizada pela ocorrência de ondas de NE e E geradas pelos ventos predominantes característicos da região, isto é ventos de NE a E. As alturas de ondas mais frequentes na região variam de 1,0 a 1,5 m, no entanto, podem ocorrer ondas com alturas máximas de aproximadamente 4,0 m, sendo o período de verão mais propício a ocorrência de extremos de ondas.

II.6.1.1.2.2.5 Regime de Marés

Para a caracterização da maré na Área de Estudo foram utilizadas as constantes harmônicas obtidas do modelo global de marés FES-2004 (de “*Finite Element Solutions*”). Essa é uma versão completamente revisada do modelo hidrodinâmico global de marés iniciado por Le Provost *et al.* (1994). São disponibilizados dados de amplitude e fase de 15 constituintes de maré em uma

grade com resolução de $1/8^\circ$. Uma descrição mais detalhada do FES-2004 pode ser obtida em Lyard *et al.* (2006).

A partir destes, foram então retirados os dados de fase e amplitude de dez componentes (M2, S2, N2, K2, K1, O1, Q1, P1, Mm e Mf) para o ponto localizado na latitude 1° S e longitude $43,25^\circ$ W, nos blocos BAR-3 e BAR-5.

A localização desse ponto na Bacia de Barreirinhas pode ser observada na **Figura II.6.1.1.2.2- 1** e as constantes harmônicas encontram-se na **Tabela II.6.1.1.2.2.5- 1**.

Tabela II.6.1.1.2.2.5- 1 - Constantes harmônicas obtidas pelo modelo global de maré FES-2004 no ponto de latitude 1° S e longitude $43,25^\circ$ W.

Componente	Nome	Amplitude (m)	Fase (em relação à Greenwich)
Q1	lunar elíptica diurna	0,014	201,14
O1	lunar principal diurna	0,076	231,63
K1	luni-solar principal	0,082	261,41
N2	lunar elíptica semi-	0,192	206,35
M2	lunar principal semi-	0,895	221,71
S2	solar principal semi-	0,279	243,45
K2	luni-solar semi-diurna	0,072	244,38
P1	solar principal diurna	0,027	261,36
Mm	lunar mensal	0,008	356,35
Mf	lunar quinzenal	0,017	357,57

Exemplos dos campos de amplitude e fase da componente M2 (mais significativa na região) podem ser vistos na **Figura II.6.1.1.2.2.5- 1** e na **Figura II.6.1.1.2.2.5- 2**, respectivamente. A amplitude e a fase da componente M2 na região da Bacia de Barreirinhas apresentam um gradiente em direção ao norte da bacia (menores valores ao norte, e maiores ao sul). Na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, a componente M2 apresenta amplitude e fase de 0,89 m e 221°, respectivamente.

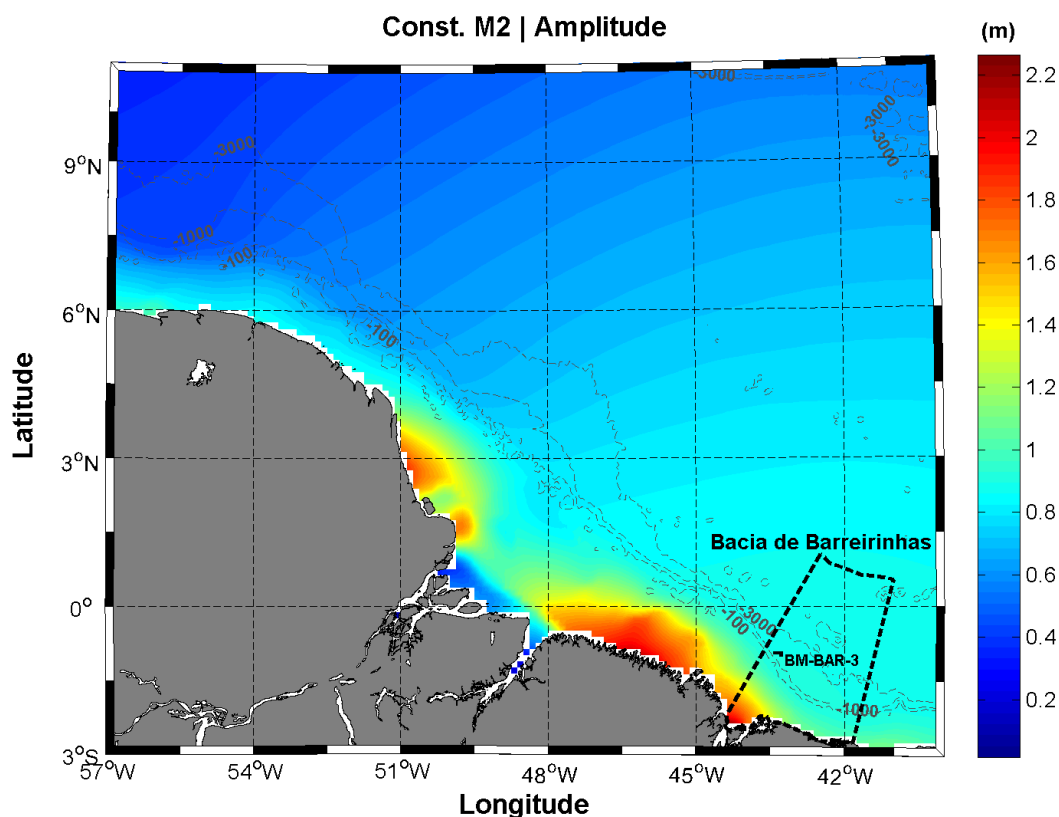


Figura II.6.1.1.2.2.5- 1 - Amplitude da componente M2.

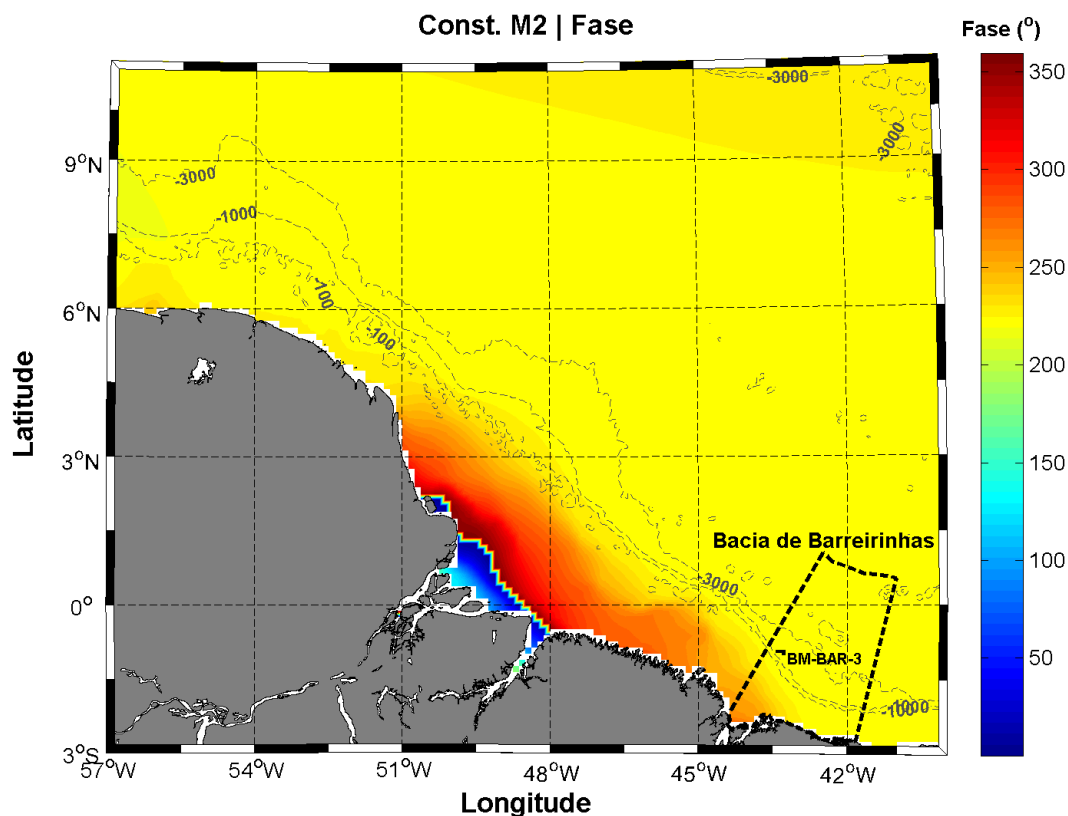


Figura II.6.1.1.2.2.5- 2 - Fase da componente M2.

Seguindo a descrição de Pond & Pickard (1978), podemos classificar a maré na região como sendo semi-diurna com desigualdade e com alturas médias de maré de sizígia variando em torno de 234,43 cm.

Na **Figura II.6.1.1.2.2.5- 3** é apresentada a reconstituição da série de elevação para todo o ano de 2013, usando as componentes obtidas através do modelo global FES2004 (localização: Figura II.6.1.1.2.2- 1; componentes: Tabela II.6.1.1.2.2.5- 1). Foram verificadas amplitudes máximas de aproximadamente 145 cm, e mínimas de -144 cm. Através da figura, podemos concluir que as marés de quadratura na região possuem alturas médias da ordem de 130 cm.

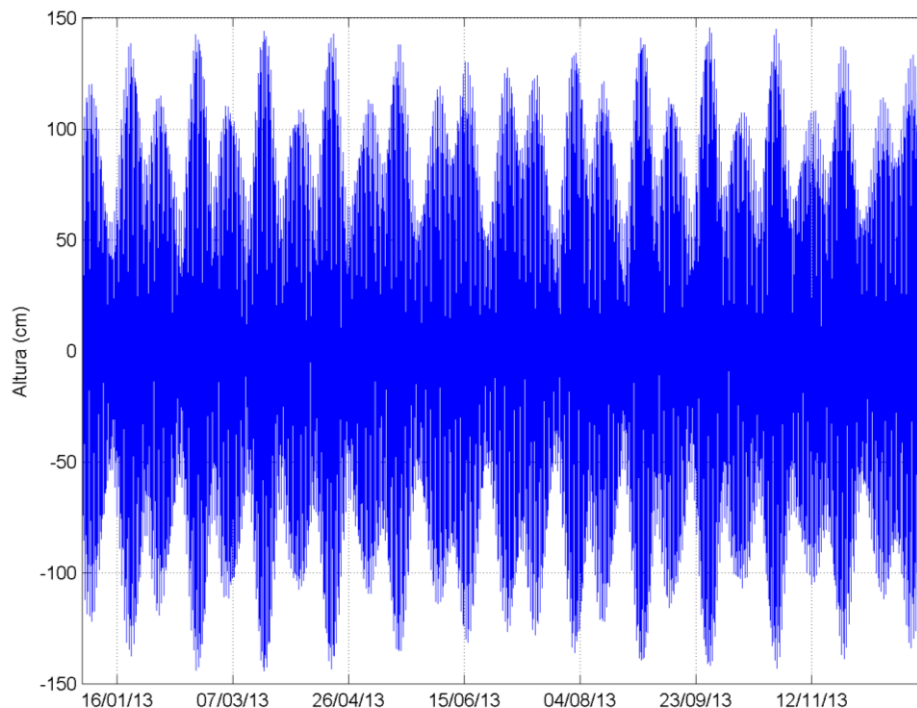


Figura II.6.1.1.2.2.5- 3 – Reconstrução da elevação da superfície do mar (cm) para todo o ano de 2013, com as componentes obtidas através do FES2004 (Tabela II.6.1.1.2.2.5- 1).

Fonte: Petrobras (2017).

Além dos dados do FES-2004, verificou-se as constantes das principais componentes harmônicas através do modelo de assimilação global Model TPXO 6.2, para o ponto central entre os centróides dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, na plataforma Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, Além destes, foram analisadas marés de acordo com fichas maregráficas da FEMAR para as estações de São Luís-MA, Viseu-PA, Vila Nazaré-PA e Ponta do Céu-AP.

O modelo TPXO 6.2 foi desenvolvido na Universidade do Estado de Oregon (EUA) e apresenta resolução de $1/4^0$ x $1/4^0$ (<http://www.coas.oregonstate.edu/research/po/research/tide/index.html>). As componentes harmônicas foram obtidas através do pacote de ferramentas do Matlab chamado Tidal Model Drive – TMD (L. Padman & S. Erofeeva, 2005).

As componentes harmônicas provenientes do modelo TPXO 6.2 estão dispostas na tabela a seguir (**Tabela II.6.1.1.2.2.5- 2**). E a série reconstituída com estas componentes, para o período de 03/2012 a 03/2013, pode ser observada na **Figura II.6.1.1.2.2.5- 4**.

Tabela II.6.1.1.2.2.5- 2 - Componentes harmônicas para o ponto central entre os centróides dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, obtidas através do TMD.

Componente	TMD					
	Barreirinhas		Pará-Maranhão		Foz do Amazonas	
	Amplitude (m)	Fase (graus)	Amplitude (m)	Fase (graus)	Amplitude (m)	Fase (graus)
M ₂	0,8877	221,42	1,2858	264,17	1,1312	293,07
S ₂	0,2836	244,97	0,4263	293,4	0,2879	308,02
N ₂	0,1884	205,79	0,2738	250,76	0,2178	256,77
K ₂	0,0793	240,69	0,109	292,57	0,0862	293,11
K ₁	0,0846	263	0,0998	267,72	0,0933	276,49
O ₁	0,0756	232,16	0,0919	242,72	0,086	250,15
P ₁	0,0272	258,47	0,0259	271,64	0,0324	269,23
Q ₁	0,0161	204,04	0,0175	236,18	0,0178	228,1
MF	0,0176	358,84	0,0177	0,43	0,0173	1,78
MM	0,0086	355,78	0,0087	358,29	0,0086	358,77
M ₄	0,0091	140,86	0,0337	123,05	0,005	62,27
MS ₄	0,0041	198,54	0,0305	211,57	0,0058	283,1
MN ₄	0,0027	66,26	0,0139	177,5	0,0035	228,01

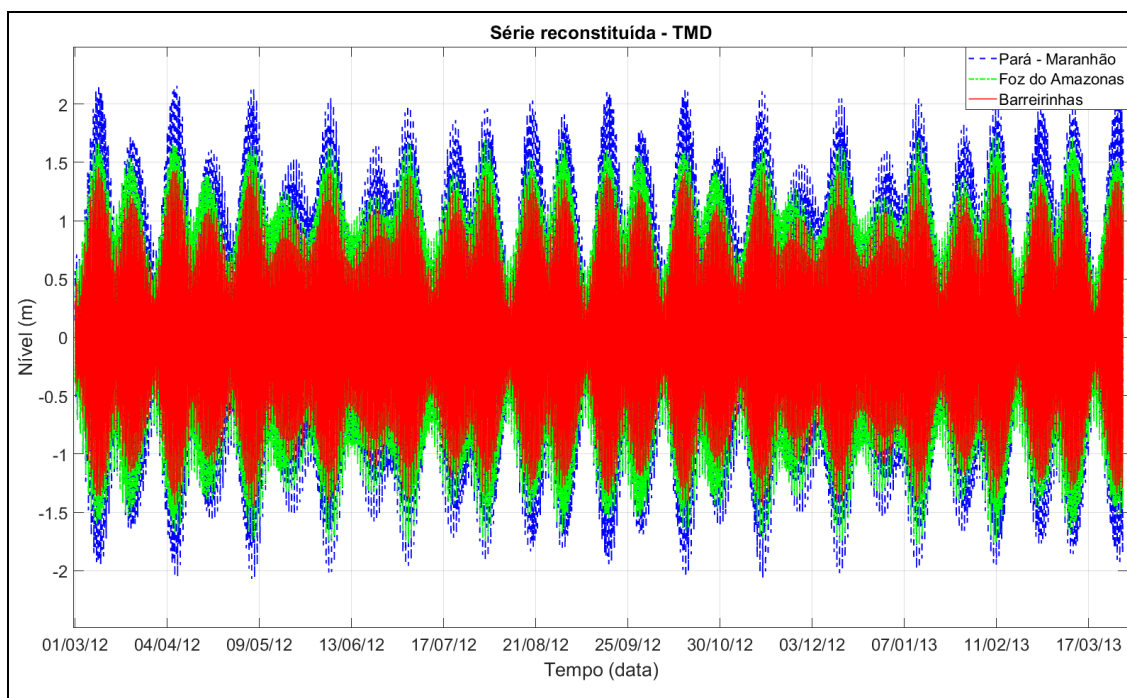


Figura II.6.1.1.2.2.5- 4 - Reconstituição da série de nível com as componentes provenientes do Modelo Global TPXO 6.2, obtidas através do TMD, para um ponto na bacia de Barreirinhas, um na Pará-Maranhão e um na Foz do Amazonas.

As componentes disponíveis no catálogo da FEMAR (2000) foram obtidas através de análise harmônica com o Método Tidal Liverpool Institute, com base em uma série de 30 dias, de 25/05/1961 a 25/06/1961.

As figuras a seguir, de **Figura II.6.1.1.2.2.5- 5** a **Figura II.6.1.1.2.2.5- 8**, trazem os catálogos para as estações de São Luis-MA, Viseu-PA, Vila Nazaré-PA e Ponta do Céu-AP. E, a **Figura II.6.1.1.2.2.5- 9**, mostra a reconstituição da série de nível com estas componentes harmônicas para o período de 03/2012 a 03/2013, nas estações mencionadas.

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

Nome da Estação : SÃO LUIS – MA					
Localização : Próximo à Capitania, no casco soçobrado "Maria Celeste"					
Organ. Responsável : DHN / INPH					
Latitude : 02° 31,6' S		Longitude : 44° 18,4' W			
Período Analisado : 25/05/61 a 25/06/61		Nº de Componentes : 36			
Análise Harmônica : Método Tidal Liverpool Institute					
Classificação : Maré Semidiurna.					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		VI H 59 min	Nível Médio (Zo):		328 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sизία (MHWS) :		602 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		487 cm acima do NR
Média das Baixa-mares de Sизία (MLWS) :		54 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		169 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	7,4	312
Ssa	-	-	N ₂	38,0	183
Mm	2,1	014	NU ₂	7,4	183
Mf	-	-	M ₂	216,7	196
MTM	-	-	L ₂	8,3	006
Msf	4,5	008	T ₂	3,4	232
Q ₁	3,0	200	S ₂	57,2	232
O ₁	10,7	216	K ₂	15,6	232
M ₁	0,7	350	MO ₃	10,6	317
P ₁	3,3	238	M ₃	1,8	010
K ₁	9,8	238	MK ₃	2,9	326
J ₁	0,8	332	MN ₄	0,04	219
OO ₁	4,0	240	M ₄	9,5	224
MNS ₂	-	-	SN ₄	1,5	089
2N ₂	5,1	169	MS ₄	4,9	277
Referências de Nível: RN-1 instalada junto à porta da Capitania dos Portos do lado esquerdo.					
Obs: Há registro no INPH de observações efetuadas nas proximidades em 1915 e 1917 nas proximidades. Consta das Tábuas das Marés					

Código BNDO: 30120

Figura II.6.1.1.2.2.5- 5 - Catálogo de componentes harmônicas para a estação de São Luis – MA. Fonte: FEMAR, 2000.

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

Nome da Estação :		VISEU – PA			
Localização :		Margem Esquerda do Rio Gurupi, no Trapiche Municipal			
Organ. Responsável :		DHN			
Latitude :		01° 13,0' S	Longitude :		46° 07,0' W
Período Analisado :		05/04/83 a 06/05/83		Nº de Componentes : 32	
Análise Harmônica :		Método Almirante Santos Franco			
Classificação :		Maré Semidiurna			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		VII H 16 min	Nível Médio (Zo):		270 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		496 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		390 cm acima do NR
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		43 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		149 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi- amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi- amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	20,5	318
Ssa	-	-	N ₂	28,5	183
Mm	9,3	347	NU ₂	5,4	186
Mf	-	-	M ₂	173,5	202
MTM	-	-	L ₂	4,5	259
Msf	14,1	011	T ₂	3,1	237
Q ₁	-	-	S ₂	53,1	239
O ₁	7,5	226	K ₂	14,4	242
M ₁	2,6	239	MO ₃	-	-
P ₁	3,2	255	M ₃	-	-
K ₁	9,7	257	MK ₃	3,9	288
J ₁	-	-	MN ₄	6,1	307
OO ₁	-	-	M ₄	18,5	336
MNS ₂	-	-	SN ₄	2,5	006
2N ₂	3,8	164	MS ₄	10,8	008
Referências de Nível: RN-1 padrão da DHN, instalada no trapiche.					
Obs: Não há referências a outros períodos Maré com influência fluvial					

Código BNDO: 10517

Figura II.6.1.1.2.2.5- 6 - Catálogo de componentes harmônicas para a estação de Viseu-PA. Fonte: FEMAR, 2000.

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

Nome da Estação :		VILA NAZARÉ – PA			
Localização :		Braço Sul do Rio Amazonas – Na Vila			
Organ. Responsável :		DHN			
Latitude :		00° 09,5' S	Longitude : 49° 09,0' W		
Período Analisado :		20/09/73 a 21/10/73	Nº de Componentes : 36		
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute			
Classificação :		Maré Semidiurna			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		X H 45 min	Nível Médio (Zo):		210 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		392 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		323 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		27 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		97 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	0,8	216
Ssa	-	-	N ₂	18,0	307
Mm	5,0	337	NU ₂	3,5	307
Mf	-	-	M ₂	147,5	316
MTM	-	-	L ₂	1,5	158
Msf	9,8	355	T ₂	2,0	349
Q ₁	3,0	139	S ₂	34,7	349
O ₁	2,5	258	K ₂	9,4	349
M ₁	3,9	106	MO ₃	1,2	202
P ₁	2,7	353	M ₃	4,0	007
K ₁	2,0	353	MK ₃	4,1	201
J ₁	1,6	272	MN ₄	9,2	182
OO ₁	4,3	236	M ₄	27,9	172
MNS ₂	-	-	SN ₄	4,5	178
2N ₂	2,4	298	MS ₄	13,1	217
Referências de Nível: RN situada a 30 metros para dentro da margem, próximo ao trapiche da Vila					
Obs: Outros Períodos: 20/11/72 a 20/12/72; 23/08/73 a 23/09/73 Maré com influência fluvial.					

Código BNDO: 10521

Figura II.6.1.1.2.2.5- 7 - Catálogo de componentes harmônicas para a estação de Vila Nazaré-PA. Fonte: FEMAR, 2000.

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

Nome da Estação :		PONTA DO CÉU (BARRA NORTE DO RIO AMAZONAS) – AP			
Localização :		No trapiche de acesso ao antigo Rádio-Farol – Ilha do Curuá			
Organ. Responsável :		DHN			
Latitude :		00° 45,6' N	Longitude : 50° 06,8' W		
Período Analisado :		06/03/78 a 07/10/78		Nº de Componentes : 40	
Análise Harmônica :		Método Almirante Santos Franco			
Classificação :		Maré Semidiurna.			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		0 H 22 min	Nível Médio (Zo):		213 cm acima do NR.
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		396 cm acima do NR.	Média das Preamares de Quadratura (MHWN) :		326 cm acima do NR.
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		30 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) :		99 cm acima do NR.
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	13,9	164
Ssa	-	-	N ₂	29,0	328
Mm	12,6	007	NU ₂	5,5	285
Mf	-	-	M ₂	148,3	006
MTM	-	-	L ₂	12,4	073
Msf	8,6	165	T ₂	-	-
Q ₁	1,4	338	S ₂	34,8	036
O ₁	8,4	279	K ₂	9,5	039
M ₁	0,7	034	MO ₃	3,2	238
P ₁	5,5	315	M ₃	1,2	023
K ₁	16,6	318	MK ₃	3,8	309
J ₁	0,9	092	MN ₄	5,7	257
OO ₁	5,1	115	M ₄	12,7	290
MNS ₂	1,6	142	SN ₄	1,9	346
2N ₂	3,8	289	MS ₄	6,0	312
Referências de Nível: RN-3 fixada na escada de acesso do trapiche para a caixa d'água.					
Obs: Outros Períodos: 22/07/77 a 21/09/77 ; 27/07/77 a 10/12/78; 02/06/78 a 03/07/78; 08/10/78 a 08/11/78; 11/12/78 a 11/01/79; 12/01/79 a 12/02/79; 17/06/81 a 28/07/81; 17/12/86 a 22/01/87; 23/06/89 a 24/08/89; 06/10/93 a 15/10/93; 03/11/93 a 16/11/93; 25/04/94 a 27/06/94. Estação maregráfica já desativada. Consta das Tábuas das Marés					

Código BNDO: 10650

Figura II.6.1.1.2.2.5- 8 - Catálogo de componentes harmônicas para a estação de Ponta do Céu-AP. Fonte: FEMAR, 2000.

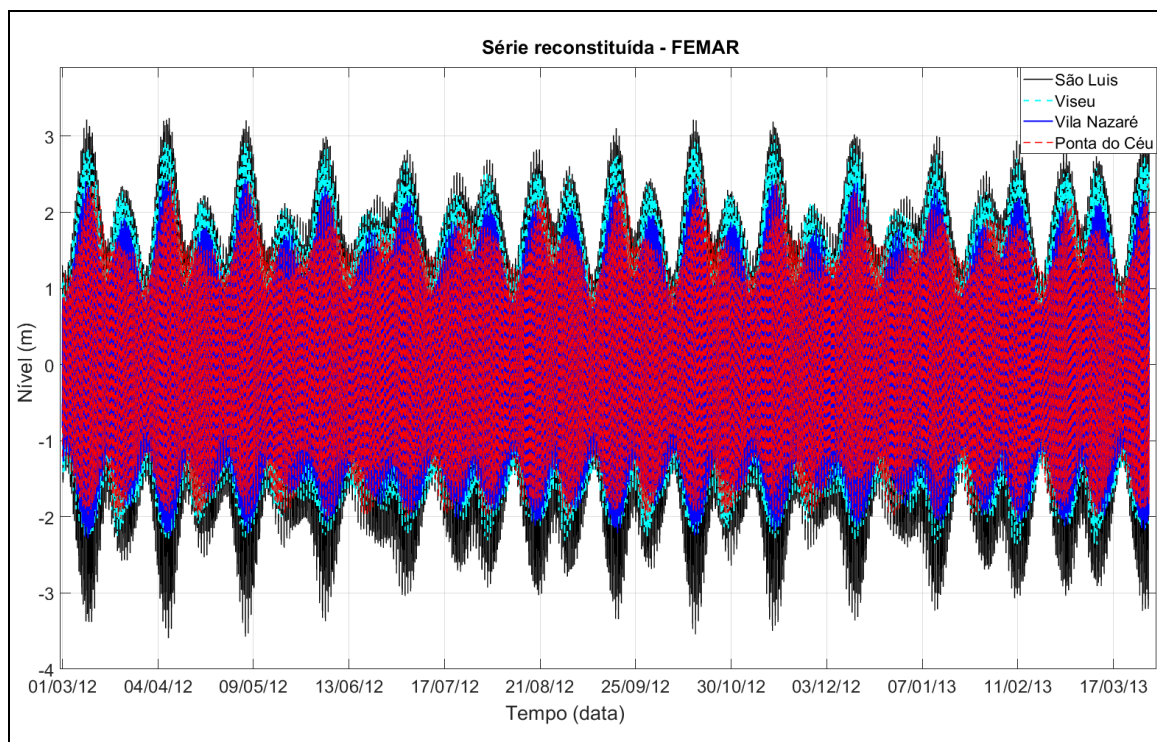


Figura II.6.1.1.2.2.5- 9 - Reconstituição das séries de nível com as componentes provenientes do catálogo maregráfico da FEMAR, para as estações costeiras em São Luis-MA, Viseu-PA, Vila Nazaré-PA e Ponta do Céu-AP.

A série reconstituída com o TMD apresentou valores entre 1,46 m e -1,45 m. No ponto de São Luis-MA, o nível é amplificado devido a morfologia local. A reconstituição para São Luis-MA apresentou valores de nível entre 3,33 m e -3,44 m, sendo esta, dentre as estações selecionadas, a que se observa maiores amplitudes.

II.6.1.1.2.3 Caracterização dos fenômenos de microescala

A Área de Estudo inclui as plataformas continentais dos estados do Maranhão, Pará e Amazonas, cuja zona costeira é denominada de Zona Costeira Amazônica (ZCA). Se medida em linha reta (escala 1:2.500.000), a ZCA possui 2.250 km de extensão desde o Cabo Orange-AP até a Ponta do Tubarão-MA

(Souza Filho, 2005; Bock, 2010). Considerando a importância dos ecossistemas estuarinos presentes na ZCA, viu-se a necessidade de inserir uma descrição em menor escala, ainda que breve, que contemplasse as características individuais dos principais estuários (**Figura II.6.1.1.2.3- 1**).

Na ZCA, há três grandes estuários cujas características oceanográficas podem apresentar influência na hidrodinâmica das plataformas continentais inclusas na área de interesse do presente relatório. Sendo estes, ordenamos de acordo com as localizações na costa, no sentido Leste-Oeste:

- Golfão Maranhense (Baías de São Marcos e São José)
- Estuário do Rio Pará
- Estuário do Rio Amazonas

Portanto, a seguir têm-se as descrições básicas das características oceanográficas da Zona Costeira Amazônica, para os três sistemas estuarinos citados acima.

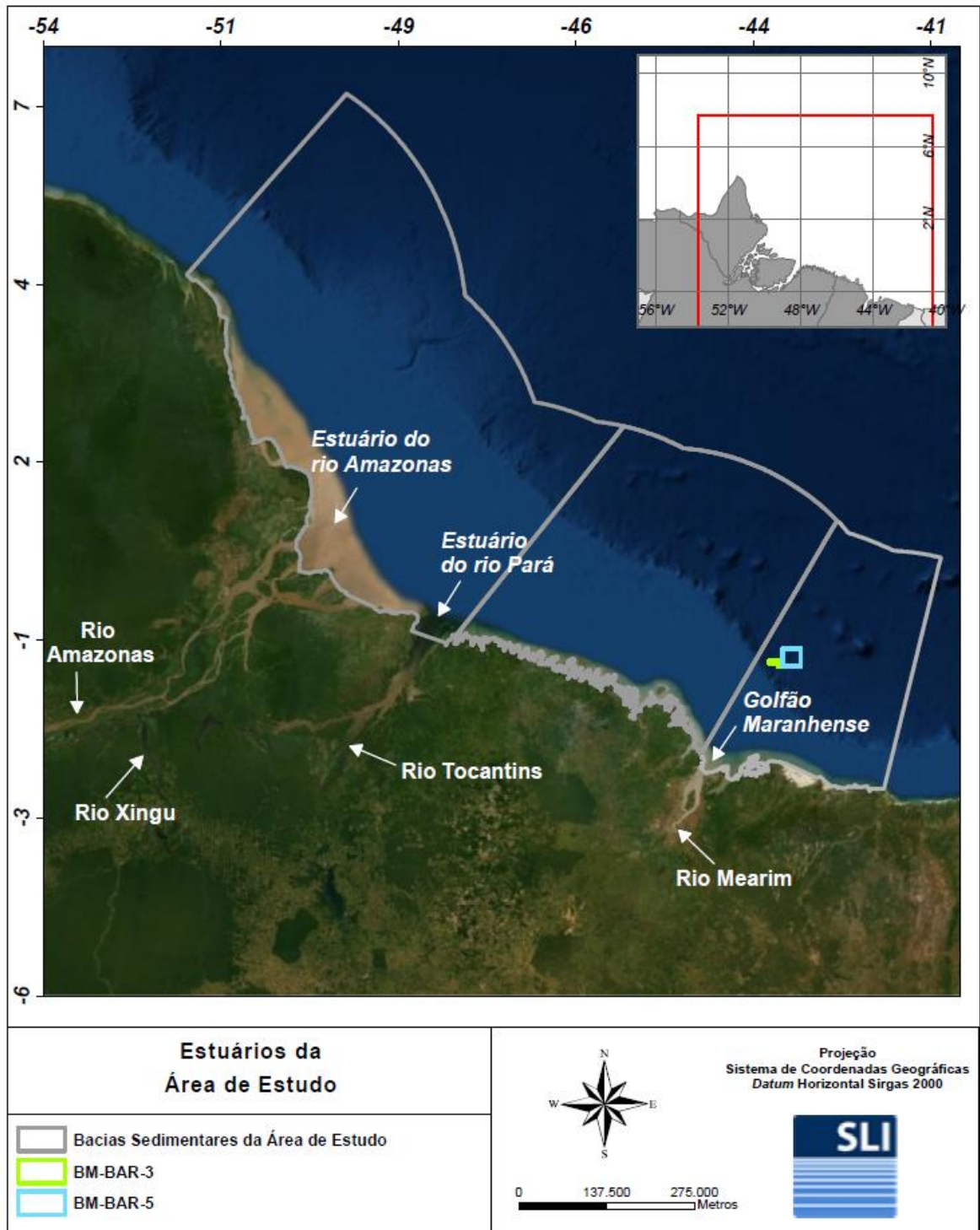


Figura II.6.1.1.2.3- 1 - Mapa de localização dos estuários e principais rios na Área de Estudo.

II.6.1.1.2.3.1 Regime de marés

A maré pode ser classificada quanto às suas características na foz dos estuários e padrão de propagação nestes. Quanto à amplitude da maré, o ambiente pode ser classificado em: macro-maré, quando as amplitudes na foz são maiores que 4m; meso-maré, quando as amplitudes são entre 2m e 4m ou; micro-maré, quando as amplitudes são menores que 2m.

Com relação à propagação da maré estuário acima, esta pode sofrer variações na altura e intensidade da corrente, dependendo da sua interação com a morfologia local. A convergência das margens faz com que a onda seja comprimida lateralmente, causando sua amplificação. Já o atrito causa o decréscimo da altura de maré. Em casos onde a convergência supera o de atrito, a onda da maré e as correntes são amplificadas em direção à cabeceira do estuário e este é denominado hipersíncrono. Quando as forças de atrito superam a convergência, a altura da maré e correntes são amortecidas em direção à montante e o estuário é classificado como hipossíncrono. Os estuários onde as forças de atrito e convergência se equilibram são chamados síncronos e a altura de maré permanece constante até a cabeceira (DYER, 1997; NICHOLS & BIGGS, 1985 *apud* MIRANDA *et al.*, 2002).

Na ZCA, as marés conseguem alcançar distâncias maiores que 100 Km nos estuários, sendo os principais processos responsáveis pela erosão e agitação (SANTOS *et al.*, 2004). Na baía de São Marcos (Golfão Maranhense), a maré pode exercer influência em áreas distantes cerca de 150 km do litoral (CHAGAS, 2013). A variação de níveis decorrentes da maré no rio Pará é observada à mais de 400km de distância à montante, no rio Tocantins, onde o fluxo do rio é barrado pela usina hidroelétrica de Tucuruí-PA. Já no rio Amazonas, essa variação de nível da maré alcança, à montante, a cidade de Óbidos-PA, a aproximadamente 800 km da foz (NITTROUER *et al.*, 1991).

A porção oriental da ZCA é extremamente irregular, abrigando pouco mais que duas dezenas de estuários influenciados por macromarés, com planícies de

maré arenosas e lamosas (SOUZA FILHO, 2005). O sistema estuarino da zona costeira maranhense apresenta regime de maré semi-diurnas puro, de acordo com as constantes harmônicas nas tabelas da FEMAR (2000). Segundo essas mesmas tabelas, as médias das preamares de sizígia (MHWS) e as médias das preamares de quadratura (MHWN) diminuem gradativamente de oeste para leste. Estas médias passam, respectivamente, de 6,12 m e 4,79 m na Baía de Mutuoca-MA e 6,65 m e 5,24 m em Turiaçu-MA para 5,63m e 4,49 m em Alcântara-MA; 6,48 m e 4,98 m na Ilha do Cajual-MA e 6,02 m e 4,87 m em São Luis-MA (região do Golfão Maranhense) e para 3,83 m e 3,03 m em Primeira Cruz-MA; 3,15 m e 2,41 m em Tutóia-MA e 2,78 m e 2,20 m na Barra do Estuário do rio Preguiça. No Golfão Maranhense, Feitosa (1989, *apud* EL-ROBRINI *et al.*, 2006a) mostra que a amplitude de maré oscila entre 4,9 m e 7,2 m, com média de 6,6 m. Durante a sizígia, a amplitude alcança a altura de 7,2 m. Porém, na maior parte do tempo (75%), as amplitudes de marés são inferiores a 5,5 m (PORTOBRÁS, 1988 *apud* EL-ROBRINI *et al.*, 2006a). A maré dessa região pode exercer influência em áreas distantes cerca de 150 km adentro do estuário (CHAGAS, 2013). A morfologia do Golfão Maranhense induz a redução da altura da onda de maré conforme essa se propaga à montante, caracterizando-o como um estuário hipossíncrono, além de gerar assimetrias entre os tempos de enchente (4h) e vazante (9h) (**Figura II.6.1.1.2.3.1- 1**) (MIRANDA *et al.*, 2002).

Morais (1977 *apud* EL-ROBRINI *et al.*, 2006a) mostra que na baía de São Marcos, velocidades de correntes de maré alcançam até 2,5 m/s no Canal do Boqueirão. No canal a leste do Banco dos Cavalos, as correntes de maré atingem a velocidade de 2,3 m e 1,2 a 1,5 m/s na parte interna.

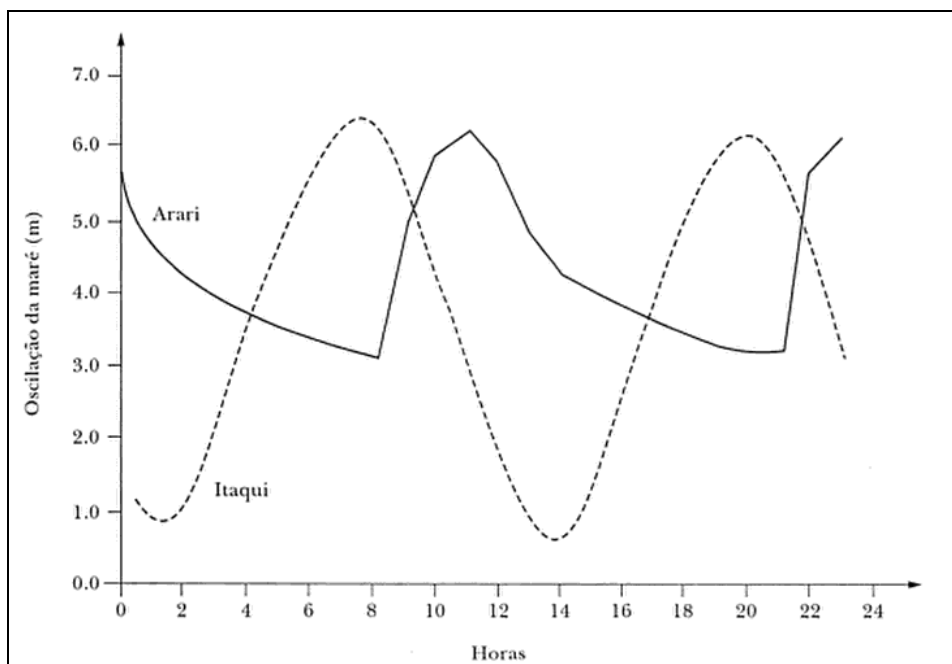


Figura II.6.1.1.2.3.1- 1 - Comparação da previsão de maré no estuário do rio Mearim-MA, em Itaqui e o registro da maré em Arari (21/Ago/1990). A co-oscilação senoidal do nível do mar em Itaqui contrasta com a atenuação da amplitude e a maré assimétrica em Arari, resultando na condição hipossíncrona (de acordo com Kjerfve e Ferreira, 1993).

Fonte: Miranda et al., 2002.

Na região central da ZCA encontra-se o estuário do rio Pará, cujo também apresenta macro-marés com regime semi-diurno. A maré nesse estuário se propaga por vários quilômetros adentro, caracterizando uma larga zona de transição fluvio-marinha. Na faixa oceânica, a macro-maré se propaga no sentido Leste-Oeste, sendo amortecida pela morfologia local. A amplitude entre os níveis das Médias das Preamares e Baixa-mares de Sízigia (MHWS-MLWS) é de 4,57 m, na estação de Salinópolis-PA. E nas marés de Quadratura (MHWN-MLWN), essa amplitude é de 2,33m. Na estação de Viseu-PA, a média da amplitude de maré na Sízigia (MHWS-MLWS) é de 4,53 m, e na Quadratura (MHWN-MLWN), de 2,41 m. Em estação mais à oeste, no Cabo Maguari-PA (costa da Ilha do

Marajó), a amplitude na Sizígia (MHWS-MLWS) é de 3,31 m e, na Quadratura (MHWN-MLWN), é de 1,59 m (FEMAR, 2000).

O setor continental estuarino do rio Pará/ Baía do Marajó sofrem influência da meso-maré, com níveis de até 3,65 m (em torno do MSL) durante as marés de sizígia, no período chuvoso (dezembro a maio). Os menores níveis de marés são registradas em abril (0,5 m), durante a maré de quadratura (EL-ROBRINI *et al.*, 2006b).

Dessa forma, as amplitudes de maré sofrem atenuação estuários acima, classificando-o então, como hipossíncrono. Os períodos de enchente e vazante também apresentam assimetrias, com vazantes mais longas que as enchentes (**Figura II.6.1.1.2.3.1- 2**).

Na faixa oceânica do estuário, a velocidade das correntes de maré pode alcançar 1,5 m/s (LARA *et al.*, 1999 *apud* EL-ROBRINI *et al.*, 2006b) nas “falsas rias”, em particular no estuário do rio Caeté-PA. Na região de Salinópolis-PA, as velocidades máximas alcançam cerca de 1,1 m/s (6 horas antes da preamar nas marés de sizígia), e as mínimas, cerca de 0,8 m/s (4 horas depois da preamar nas marés de quadratura), com direções E-NW e NE (DHN, 1962). Na porção interna do estuário do rio Pará, as velocidades máximas médias ocorrem durante as marés de Sizígia, na enchente e as velocidades mínimas médias associadas às marés de Quadratura, na vazante, ambas a 1 m da superfície. As velocidades máximas absolutas ocorrem durante as marés de sizígia, onde os valores atingem cerca de 1,75 m/s e 2 m/s, durante a vazante e enchente, respectivamente (PINHEIRO, 1987 *apud* EL-ROBRINI *et al.*, 2006b).

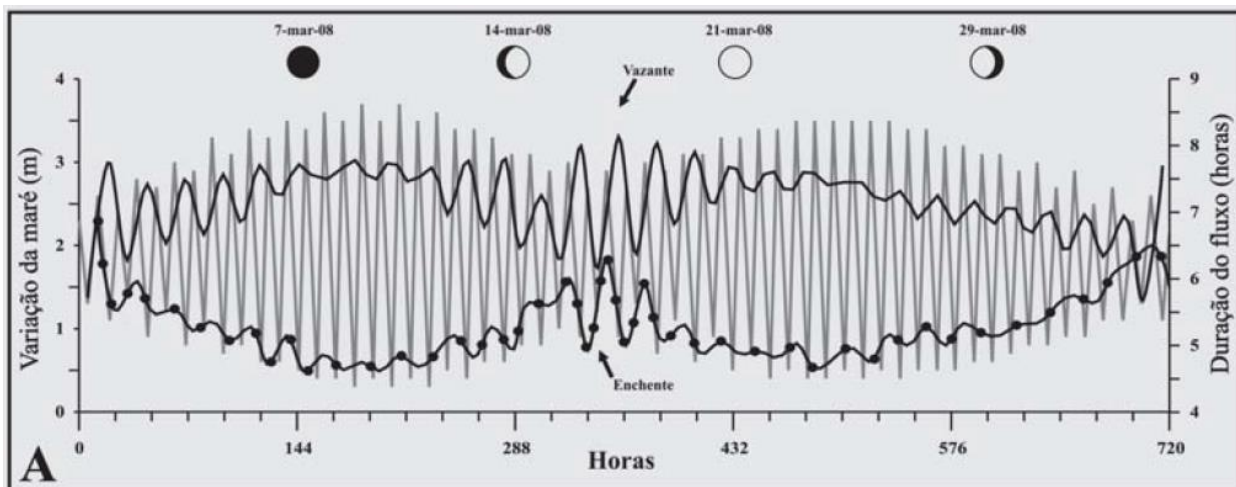


Figura II.6.1.1.2.3.1- 2 - Variação da maré e duração dos fluxos de enchente e de vazante na baía de Guajará, durante 720 horas seguidas (01 a 31 de março de 2008). Fonte: Tábuas de maré da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.

Fonte: Gregório e Mendes (2009), adaptado por SLI.

Na porção ocidental da ZCA, a maré exerce um papel importante na dinâmica costeira. Nesta costa, ela exhibe valores de macro-marés, como no Igarapé do Inferno-AP (7,38 m), na Ilha de Maracá-AP (9,87 m) e na Barra Norte-AP (4,33 m); e de meso-marés, como na Baía de Oiapoque-AP (2,76 m) e Ponta do Céu-AP (3,96 m). Indo para o interior da zona estuarina do Amapá, a meso-maré alcança 2,82 m em Macapá-AP e 3,22 m no Porto de Santana-AP (FEMAR, 2000). Ou seja, a onda de maré sofre amortecimento na sua amplitude conforme se propaga à montante, evidenciando o caráter hipossíncrono desse estuário. Há ocorrência também de assimetria de enchente e vazante, com enchentes apresentando duração de 4h e vazante de 8h (MIRANDA *et al*, 2002).

As correntes de maré na Plataforma Continental do Amazonas são dominadas por dois componentes, um fluxo de maré semi-diurno, barotrópico, cruzando as isóbatas, e um fluxo de submaré paralela à costa. As correntes de maré semidiurnas mostram uma variação pronunciada de sizígia e quadratura, com uma velocidade máxima na plataforma continental interna alcançando 2 m/s durante a maré de sizígia e 0,7 m/s durante a maré de quadratura. O fluxo de submaré sofre

um intenso cisalhamento com as fortes correntes superficiais em direção a noroeste que alcançam velocidade de 1,5 m/s. Ao contrário, o fluxo de submaré de fundo é fraco, com velocidade de 0-0,2 m/s. No estuário do Amazonas, as marés apresentam velocidades excedentes a 2,80 m/s (GEYER *et al.*, 1991; DIEGUES, 1972 *apud* TORRES & EL-ROBRINI, 2006).

II.6.1.1.2.3.2 Vazões Fluviais

Na Área de Estudo, três regiões hidrográficas se destacam como contribuintes para as vazões nos estuários mencionados da região: a região Amazônica, Tocantins-Araguaia e Atlântico NE Ocidental (**Figura II.6.1.1.2.3.2- 1**).

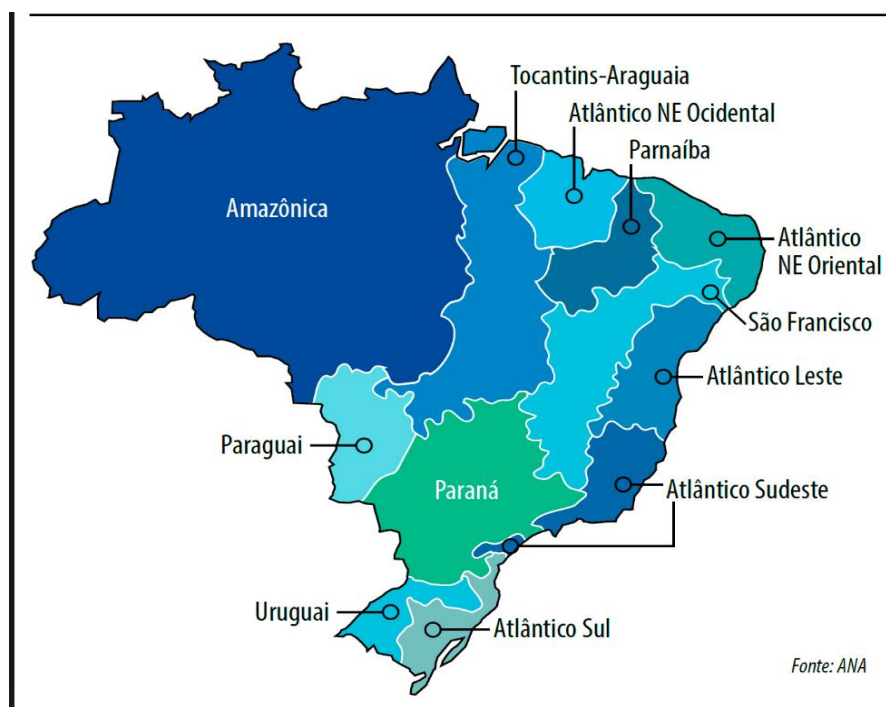


Figura II.6.1.1.2.3.2- 1 - Regiões Hidrográficas do Brasil.

Fonte: Agência Senado (2018).

No estado do Maranhão, a bacia hidrográfica Mearim (região Atlântico NE Ocidental) é a mais expressiva, com uma área de 99.000 km², equivalente a 30% da área do Estado, e possui vazão média total de 557 m³/s (**Figura II.6.1.1.2.3.2- 2**). O Rio Mearim possui cerca de 400 metros de desnível entre a nascente e a

foz, tendo largura de até 100 metros nas proximidades do estuário. A bacia hidrográfica possui outros rios que merecem destaque, como os rios Grajaú e Pindaré, que possuem 770 km e 686 km de extensão respectivamente (Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Mearim).

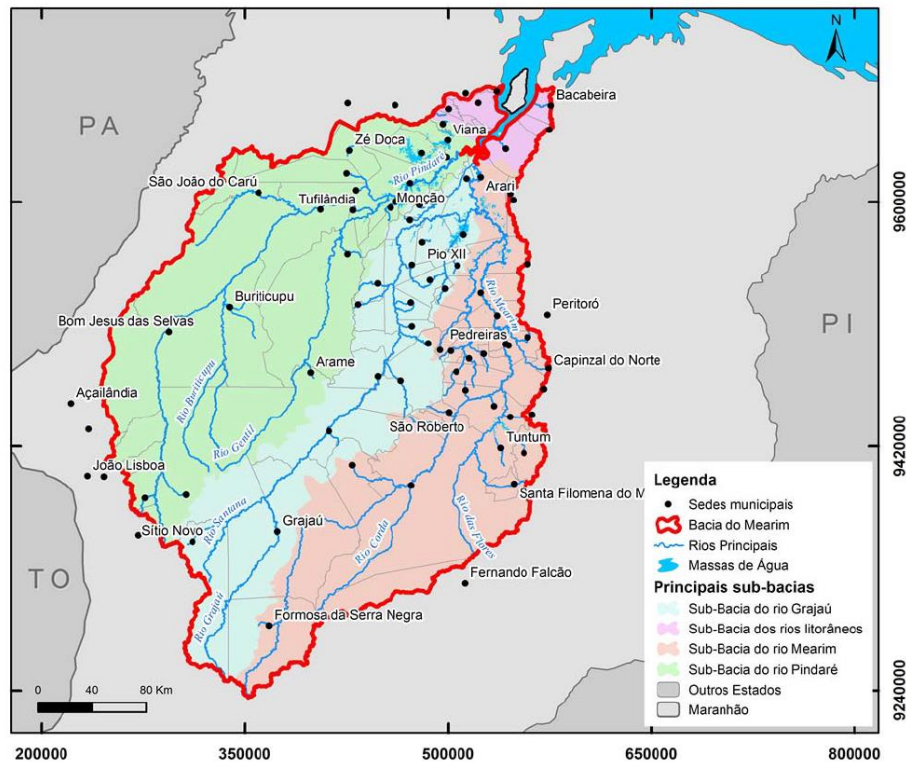


Figura II.6.1.1.2.3.2- 2 - Bacia hidrográfica Mearim e suas sub-bacias, no Estado do Maranhão.

Fonte: Secretaria de Estado das Cidades e Desenvolvimento Urbano (SECID) – MA (2014).

Com relação ao rio Pará, a descarga líquida na foz (Baía do Marajó) é constituída da descarga do rio Tocantins, seu principal afluente, e de sistemas menores como os rios Guamá, Acará, Moju e Capim, além da contribuição da vazão do rio Amazonas através dos Estreitos de Breves. Ou seja, este estuário recebe contribuições de vazões das três regiões hidrográficas da Área de Estudo (Amazônica, Tocantins-Araguaia e Atlântico NE Ocidental).

A vazão média do rio Tocantins é de 11.000 m³/s, de acordo com dados da Agência Nacional de Águas (ANA), apresentando picos máximos durante os meses de março e abril, e mínimos nos meses de setembro, como é possível observar no histórico da **Figura II.6.1.1.2.3.2- 3 a seguir** (GREGÓRIO & MENDES, 2009; ROSÁRIO, 2016).

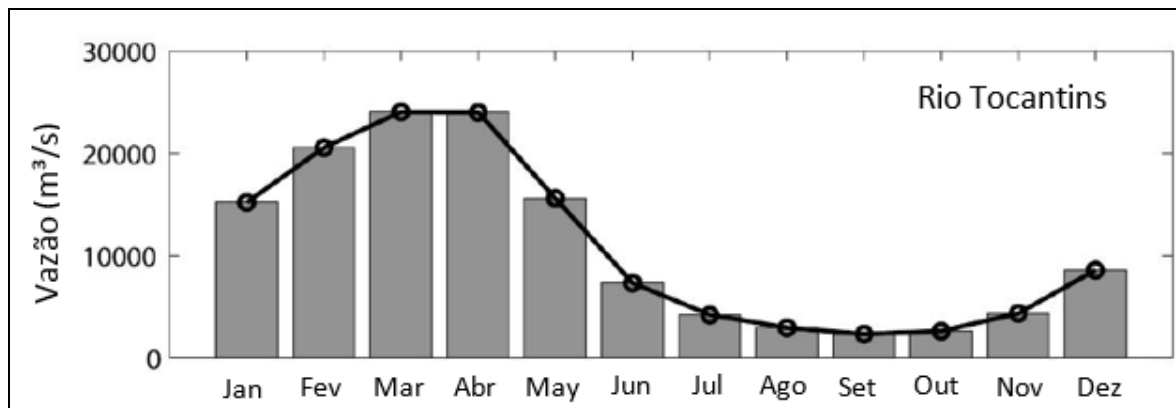


Figura II.6.1.1.2.3.2- 3 - Climatologia mensal da descarga fluvial do rio Tocantins em oitenta anos (1930-2010).

Fonte: Rosário (2016), modificado por SLI.

É válido ressaltar que esse rio possui algumas usinas hidroelétricas ao longo do seu curso, sendo a de Tucuruí a que se localiza mais à jusante do rio, controlando seu fluxo para o estuário do rio Pará. A **Figura II.6.1.1.2.3.2- 4** mostra o deflúvio médio mensal do reservatório da usina de Tucuruí, para os anos de 2013-2014.

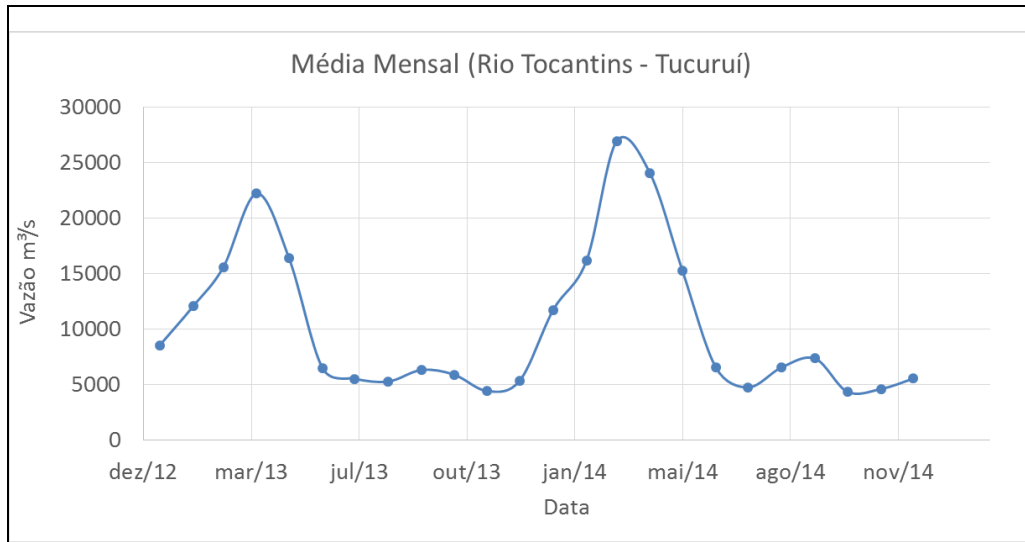


Figura II.6.1.1.2.3.2- 4 - Vazão média mensal do rio Tocantins (estação de Tucuruí) para os anos de 2013 e 2014.

Fonte: Sistema de Acompanhamento de Reservatórios – SAR (2019).

Na região da ZCA, a maior contribuição fluvial para a plataforma continental é a do rio Amazonas (**Figura II.6.1.1.2.3.2- 5**), com uma descarga hídrica de $5,7 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{ano}$ (OLTMAN, 1968). Segundo Masson & Delecluse (2001), essa descarga representa o maior fluxo do mundo, 0,2 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$), sendo responsável pela diminuição da Salinidade Superficial do Mar (SSM) na porção oeste do Oceano Atlântico Tropical. A descarga do rio Amazonas varia entre o máximo de $220.000 \text{ m}^3/\text{s}$ em maio e o mínimo de $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$ em novembro, com uma descarga média de $180.000 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a 16% da descarga total de água doce nos oceanos do mundo (NITTROUER *et al.*, 1995 e RICHEY *et al.*, 1986 *apud* TORRES & EL-ROBRINI, 2006).

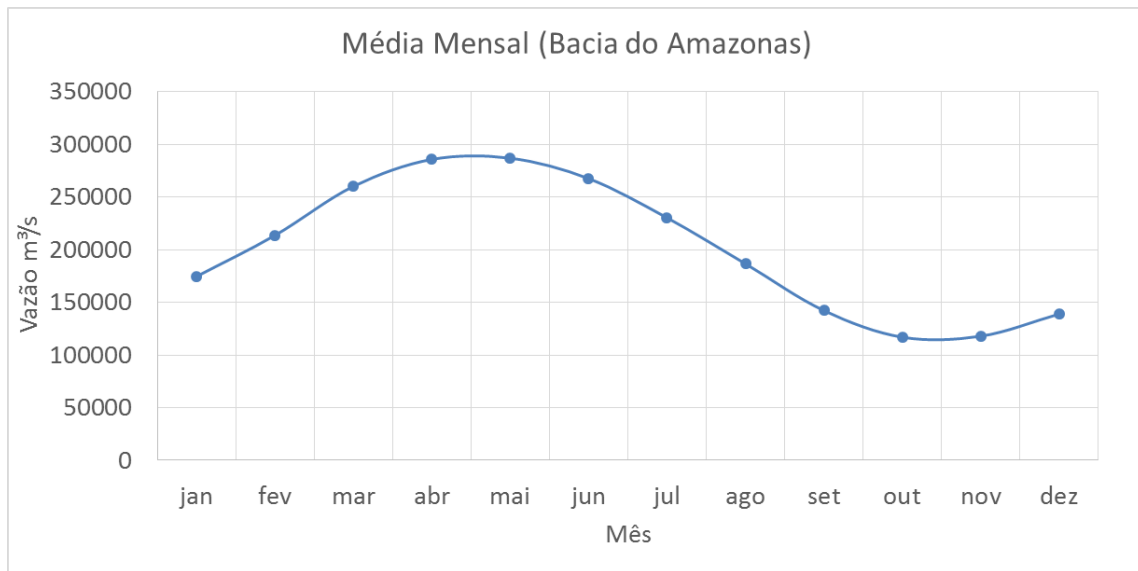


Figura II.6.1.1.2.3.2- 5 - Climatologia mensal da vazão dos principais rios da bacia hidrográfica do Amazonas.

Fonte: Paiva et al. (2013), adaptado por SLI.

II.6.1.1.2.3.3 Salinidade

A salinidade dentro dos principais estuários da ZCA (Golfão Maranhense, rios Pará e Amazonas) variam, principalmente, com relação a descarga fluvial. Na baía de São Marcos, depois que o rio Mearim atinge a Ilha do Caranguejo, torna-se verticalmente homogêneo, ou seja, sem variação vertical de salinidade. De acordo com Moraes (1977), na extremidade norte da Ilha dos Caranguejos (Cajapió-MA), os valores de salinidade são de aproximadamente 20,4. Mas em uma pequena distância no braço direito do Rio Mearim é apenas 6,6. No mesmo nível de maré, o autor observou que os valores de salinidade parecem ser maiores no lado esquerdo do que no lado direito. Isto se dá devido ao canal principal ser defletido pela ilha em direção ao braço esquerdo do rio Mearim. A partir dos bancos Rasemili e Lanzudo em direção ao mar, a salinidade não tem variação lateral significativa, e na parte externa da baía seus valores mais altos estão concentrados dentro dos limites do canal central (MORAIS, 1977).

No estuário do rio Pará, segundo Barthem & Schwassmann (1994), a salinidade não alcançou distâncias à montante da baía de Guajará mesmo quando o fluxo do rio Tocantins foi barrado para a construção da Usina Hidroelétrica de Tucuruí. Segundo os autores, a contribuição do rio Amazonas para o rio Pará, através dos Estreitos de Breves, contribuiu para a não intrusão de águas mais salinas à montante de Belém. Apesar da cooscilação da maré ser observada até cerca de 400km à montante (até o limite da UHE Tucuruí no rio Tocantins), dada a grande descarga de água doce na região, a salinidade no interior do estuário do rio Pará é reduzida, caracterizando-o como uma região de transição flúvio-marinha sob impactos de marés semi-diurnas.

Salinidade de até 14 foi medida na foz do rio Pará por Ryther *et al.* (1967). Porém, segundo Milliman *et al.* (1974), águas com salinidade inferior a 10 se estendem até cerca de 40 km ao largo do rio Pará.

Em estudos mais recentes, Rosário *et al.* (2016) verificou a variação da salinidade no estuário do rio Pará. Os valores máximos observados foram de 7, 12 e 1,2 em estações na margem direita (RB - Ilha de Colares) e esquerda (LB - Joanes) da baía do Marajó, e à montante (UP - Belém), respectivamente. A salinidade média foi de 2,22 (+2,3), 1,6 (+1,1) e 0,1 (+0,15), nas estações LB, RB e UP, respectivamente. A estação na margem esquerda da Baía do Marajó (LB) apresentou maior variabilidade ao longo do período de medições (22 meses). Em estação na foz, a salinidade apresentou valores médios de 7,3 (+/- 2,9) e 22,5 (+/- 3,7) durante os períodos de alta e baixa descarga fluvial, respectivamente (**Figura II.6.1.1.2.3.3- 1**).

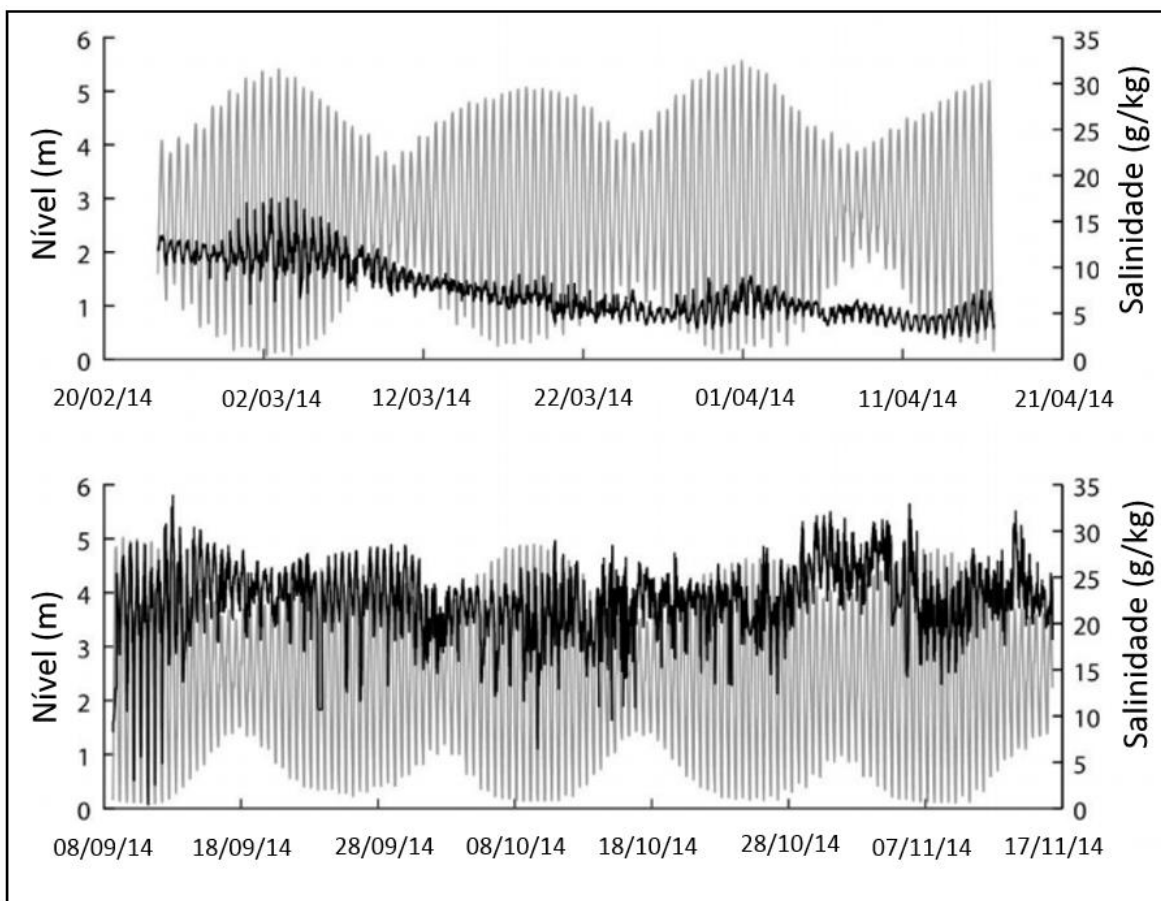


Figura II.6.1.1.2.3.3- 1 - Salinidade em estação na foz do rio Pará durante períodos de alta (gráfico superior) e baixa (gráfico inferior) descarga fluvial. A linha preta é a variação de salinidade e, a linha cinza, de nível.

Fonte: Rosário et al. (2016). Adaptado por SLI.

Com relação ao estuário do rio Amazonas, Geyer *et al.* (1996) relata que, na foz deste rio, as águas são totalmente doce, mesmo durante período seco, onde salinidades com valores maiores que 2 não são observadas à montante dos 60 km *offshore* da foz do Canal Norte (**Figura II.6.1.1.2.3.3- 2**) (LIMEBURNER *et al.*, 1991, *apud* GEYER, *et al.*, 1996). A água da drenagem continental com alta concentração de sedimentos forma uma pluma que estende-se por 100-500 km em direção ao mar e 1.000 km à Noroeste e Leste da foz do rio Amazonas (LIMEBURNER *et al.*, 1995, GIBBS, 1970 e LENTZ, 1995 *apud* TORRES & EL-

ROBRINI, 2006). Segundo Candela *et al.* (1992) e Lentz (1995), a pluma é transportada em direção a NW pela Corrente Norte do Brasil a uma velocidade de 0,4-0,8 m/s, com um máximo em agosto-setembro e um mínimo em abril.

De acordo com Geyer *et al.* (1996), a água do rio Amazonas forma uma camada superficial, de espessura variável entre 10 e 20 m, sob a qual uma camada de fundo, mais salgada, migra em direção ao continente. É observada uma estratificação vertical bem desenvolvida que se estende através de uma faixa da plataforma continental do Amazonas, de 60 até 185 km de largura, durante a estação seca, e de 80 a 230 km, durante período chuvoso (GIBBS, 1970 e Diegues, 1972 *apud* SIQUEIRA *et al.*, 2003).

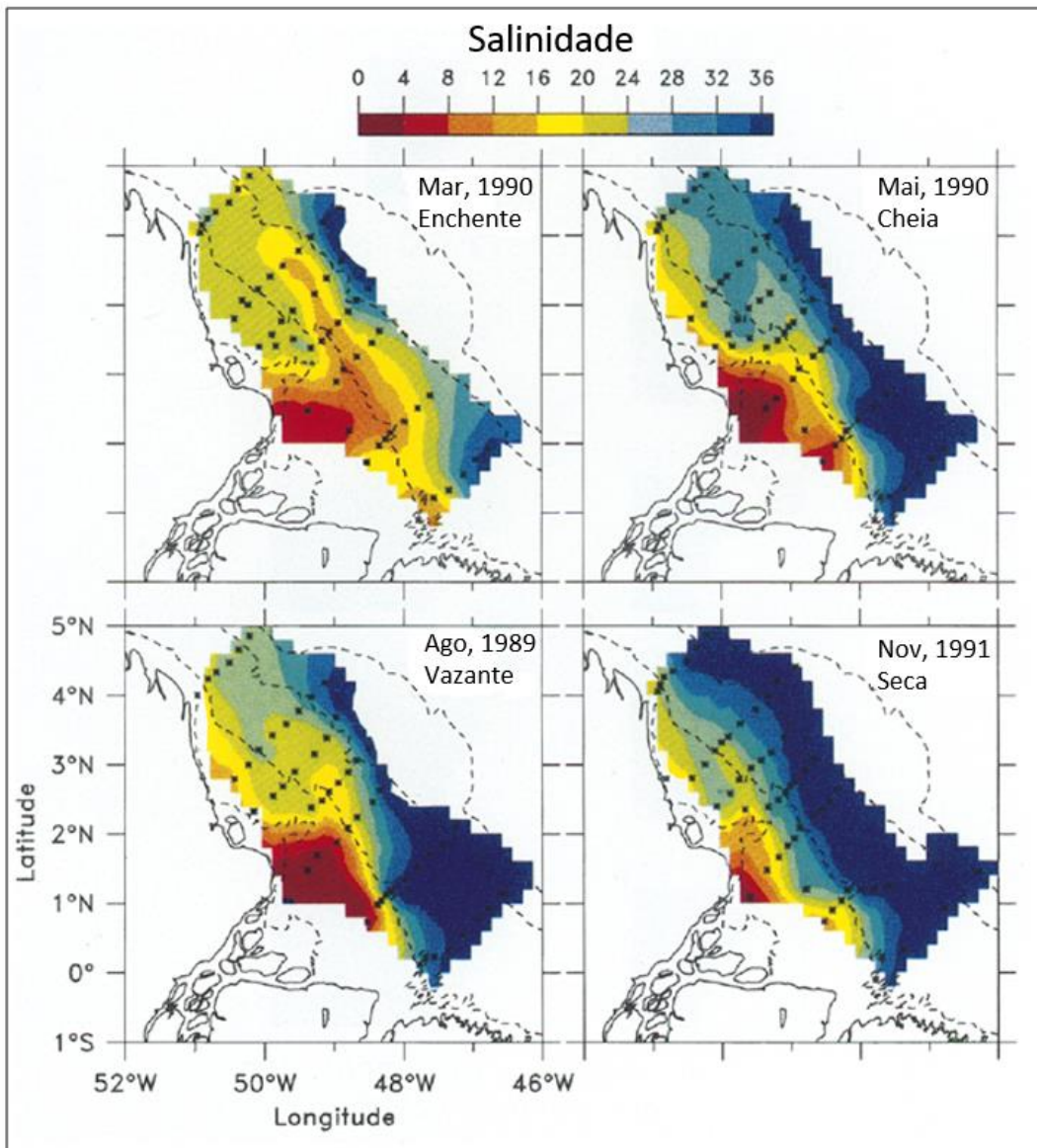


Figura II.6.1.1.2.3.3- 2 - Contornos de salinidade próximo à superfície, correspondente a diferentes condições do ciclo anual de descarga fluvial do Rio Amazonas.

Fonte: Lentz and Limeburner (1995, apud Geyer 1996).

II.6.1.1.2.4 Identificação de sazonalidade

Assim como para a meteorologia, ao longo deste estudo os parâmetros oceanográficos foram analisados através de médias mensais e sazonais.

A partir dos estudos feitos para as correntes oceânicas na Área 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, porém não suficientes para uma distinção temporal dos fenômenos.

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

No período de dezembro a maio, as temperaturas da superfície do mar são mais elevadas e a água menos salina, devido a maior pluviosidade do período. No período de junho a novembro, devido a maior intensidade dos ventos, há um espessamento da camada de mistura. Neste período a termoclina se encontra a aproximadamente 100m de profundidade, enquanto que no período de verão, chega até a 50 m.

A principal variação sazonal apresentada nos parâmetros oceanográficos foi relacionada à migração da ZCIT (caso das ondas e da camada de mistura), assim como visto nas variáveis meteorológicas. Dessa forma, é adequado tratar as mesmas macro-estações apresentadas na sazonalidade dos parâmetros meteorológicos também para os oceanográficos, com os meses de dezembro a maio como período chuvoso e meses de junho a novembro como período seco.

A **Tabela II.6.1.1.2.4 - 1** resume os valores das médias climatológicas das variáveis oceanográficas (apresentadas em Tabela II.6.1.1.2.2 - 2) para cada um destes períodos.

Tabela II.6.1.1.2.4 - 1 - Valores climatológicos obtidos para cada variável analisada na Área de Estudo e estações definidas: período chuvoso – dezembro a maio, e período seco – junho a novembro

Denominação dada à estação	Período Chuvoso	Período Seco
Meses do ano que costuma ocorrer	dezembro a maio	junho a novembro
Variáveis	Média climatológica	Média climatológica
Vel. de corrente a 53 m (m/s)	0,67	0,77
Dir. de corrente a 53 m (graus)	300	302
Altura de ondas (m)	1,98	1,85
Direção de ondas (graus)	41	63
Temperatura (°C)	27,62	27,01
Salinidade	36,10	36,06

II.6.1.1.2.5 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 Área de Estudo. A definição utilizada para evento extremo é a de evento raro, conforme definido no Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA nº 16/14. Desta forma, considerando apenas os eventos extremos positivos, estes são os que estão a uma distância da média de mais de uma ou duas vezes o desvio padrão.

Apresenta-se a seguir, na Tabela **II.6.1.1.2.5 - 1**, uma síntese dos eventos extremos onde, para cada variável, são descritos os limiares positivos e negativos (duas vezes acima e abaixo da média, respectivamente), a frequência de ocorrência de ambos nas séries, assim como os meses onde esses eventos extremos ocorreram mais vezes dentro das séries analisadas.

De forma a complementar a análise de extremos, também foram retirados os percentis 99,99% e 0,01% como limites superiores e inferiores para consideração de eventos extremos (**Tabela II.6.1.1.2.5 - 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.6.1.1.2.5 - 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)	1,24	1,40%	Julho
Altura de ondas (m)	2,63	2,62%	Janeiro

Fonte: Petrobras, 2017.

Tabela II.6.1.1.2.5 - 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	
		Inf	Sup		Inf	Sup
Velocidade de correntes (m/s)	0,01	0,01	1,54	1,59	Março	Junho
Altura de ondas (m)	0,60	0,65	4,0	4,2	Julho	Dezembro

Fonte: Petrobras, 2017.

II.6.1.1.2.6 Considerações Finais

Foram apresentadas análises temporais e espaciais dos principais parâmetros e fenômenos oceanográficos da região analisada – temperatura, salinidade, massas d'água, correntes, ondas e marés – de forma a fornecer uma caracterização geral da região e específica do bloco.

A seguir, na **Tabela II.6.1.1.2.6 - 1**, é apresentado um sumário dos resultados encontrados nas análises considerando os valores próximos ao bloco.

Tabela II.6.1.1.2.6 - 1 - Sumário dos resultados.

Variável	Média		Extremos	
	Verão	Inverno		
Temperatura (°C)	27,62	27,01	26,97 - 27,66	
Salinidade	36,10	36,06	36,01 - 36,15	
Densidade (Kg/m ³)	1.023,35	1.023,51	1023,30 - 1023,53	
Corrente (m/s) - Derivadores	0,70		-	
Corrente (m/s) - MyOcean	0,88	1,03	1,94	
Correntes (m/s) Fundo	Superfície	0,78	0,75	1,59
	Fundo	0,43	0,21	0,61
Onda (m)	2,02	1,80	4,20	
Marés (m)	-	-	2,9	

Todos os parâmetros, exceto a salinidade e a maré, apresentaram variabilidade sazonal.

A análise de massas d'água na região adjacente aos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5, mostrou a presença da AT, AM, ACAS, AIA e APAN. Nos primeiros 400 m de profundidade, sob os blocos, as massas d'água AT e ACAS são encontradas durante todo o ano, transportadas pela CNB. Em profundidades entre 1000 e 2000 m, observa-se a APAN sendo transportada pela Corrente de Contorno Profunda.

Os dados de corrente mostram que a região é influenciada principalmente pela Corrente Norte do Brasil em camadas superficiais (até cerca de 900 m), com velocidades médias em superfície de aproximadamente 0,75 m/s, na região do bloco, e direção preferencial para NW. Em profundidade, abaixo de 1500 m, predomina o fluxo da Corrente de Contorno Profunda, com velocidades médias em torno de 0,3 m/s e direção preferencial para SE.

As ondas mais frequentes na região são as de E e NE, com alturas típicas entre 1,5 e 2 m, entretanto, em situações extremas a região pode ser atingida com ondas de mais de 4,2 m de altura.

As marés na região dos blocos BM-BAR-3 e BM-BAR-5 são semi-diurnas, com alturas médias aproximadas de maré de 2,3 m para a sizígia e de 1,3 m para a quadratura.

II.6.1.2 Bibliografia

- Agência Senado, 2018. Em busca de um novo modelo de gestão para o uso da água. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial-cidadania/em-busca-de-um-novo-modelo-de-gestao-para-o-uso-da-agua/em-busca-de-um-novo-modelo-de-gestao-para-o-uso-da-agua>. Acesso em 25 de julho de 2019.
- ANTONOV, J. I.; SEIDOV, D.; BOYER, T. P.; LOCARNINI, R. A.; MISHONOV, A. V.; GARCIA, H. E.; BARANOVA, O. K.; ZWENG, M. M.; JOHNSON, D. R. 2010. World Ocean Atlas 2009, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 69, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.
- 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.
- BAHUREL P. 2008. MyOcean, building up the European “Marine Core Service, in Window on GMES, first issue, May 2008, publication from the European Commission BOSS4GMES project.
- BARTHEM, R. B. & SCHWASSMANN, H. O. 1994. Amazon River Influence on The Seasonal Displacement of The Salt Wedge In The Tocantins River Estuary, Brazil, 1983-1985. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi Serie Zoologia 10(1): 119-130. 1994.
- BERGER, W. H. & WEFER, G. Central Themes of South Atlantic Circulation. The South Atlantic: Present and Past Circulation. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. p. 1-11.
- BOCK. C. S. 2010. Influência da morfologia do fundo na hidrodinâmica da Baía de Guajará (Pará). Insituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. 118p. Dissertação de Mestrado.
- BOYER, T. P.; ANTONOV, J. I.; BARANOVA, O. K.; GARCIA, H. E.; JOHNSON, D. R.; LOCARNINI, R. A.; MISHONOV, A. V.; O'BRIEN, T. D.; SEIDOV, D.; SMOLYAR, I. V.; ZWENG, M. M.. 2009. World Ocean Database 2009. S.

- Levitus, Ed., NOAA Atlas NESDIS 66, U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 216 pp., DVDs.
- CALIXTO, P.S. 2017. Vórtices da Corrente de Contorno Oeste Profunda do Atlântico ao largo da costa leste brasileira. Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo. 83p. Dissertação de Mestrado.
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. 2009. Tempo e clima no Brasil. São Paulo. Oficina de Textos. 2009
- 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://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/nino.html>. Acesso em: 22 de Junho de 2019.
- CENPES – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello. 2013a. Análise de Dados de CTD da Campanha de Caracterização da Bacia de Barreirinhas. RT TEO 088/2013. Relatório Parcial, CENPES/ PDEP/ TEO. Outubro, 2013.
- CENPES – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello. 2013b. Análise de Dados de CTD 1º e 2º Campanhas de Caracterização Ambiental da Bacia Pará-Maranhão. RT TEO 097/2013. Relatório Parcial, CENPES/ PDEP/ TEO. Outubro, 2013.
- CENPES – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello. 2013c. Consistência dos dados de ADCP de Casco do Navio Seward Johnson – Campanha Para-Maranhão. RT TEO 039/2013. Relatório Técnico. CENPES/ PDEP/ TEO. Maio, 2013.
- CENPES - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello. 2014. Análise de Dados de ADCP de casco da Campanha de Caracterização Ambiental da bacia de Barreirinhas e Pará-Maranhão (Período Seco). CR TEO 046/2014. CENPES/ PDEP/ TEO. Outubro, 2014.

- CHAGAS, F. M. 2013. Dinâmica das Ondas de Areia na Baía de São Marcos (Ponta da Madeira/MA): observações e modelagem numérica. Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado.
- CHAPRA, S. C. 2008. Surface Water-Quality Modeling. Waveland Press, Inc. United States of America.
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. 1989. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática. vol. 4. p. 34-40.
- DAVIES, J. L. 1972. Geographical variation in coastal development. Logman Inc New York, 204 p.
- DIEGUES, F. M. F. 1972. Introdução à Oceanografia do estuário Amazônico. In: XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, v.2, Belém, PA. p. 301-317.
- DYER, K. R. 1997. Estuaries: A Physical Introduction. 2nd Ed. New York: John Wiley and Sons, 195 p.
- EASTERN ILLINOIS UNIVERSITY. 2019. Disponível em: <http://www.ux1.eiu.edu/~cfjps/1400/circulation.html>. Acesso em julho de 2019.
- EKMAN. 2013. Relatório Final de fornecimento de dados de derivadores para o licenciamento ambiental das bacias do Pará e Maranhão. Relatório Técnico. Rev. A. 44p.
- EL-ROBRINI, M.; MARQUES J., V; SILVA, M. A. M. A; EL-ROBRINI, M. H. S.; FEITOSA, A. C.; TAROUCO, J. E. F.; dos SANTOS, J. H. S.; VIANA, J. R. 2006a. Erosão e progradação no litoral brasileiro – Maranhão. In: Erosão e progradação no litoral brasileiro / Dieter Muehe, organizador. – Brasília: MMA, 2006. 476 p. ISBN 85-7738-028-9.
- EL-ROBRINI, M.; SILVA, M. A. M. A; SOUZA FILHO, P. W. M.; EL-ROBRINI, M. H. S.; SILVA JR., O. G.; FRANÇA, C. F. 2006b. Erosão e progradação no litoral brasileiro – Pará. In: Erosão e progradação no litoral brasileiro / Dieter Muehe, organizador. – Brasília: MMA, 2006. 476 p. ISBN 85-7738-028-9.
- FEITOSA, A. C. 1989. Evolução Morfogenética do Litoral Norte da Ilha do Maranhão. Rio Claro. UNESP. 210p. Dissertação de Mestrado.

- 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.
- FERRERO, B.; WAINER, I. 2008. “Estudo Comparativo da Temperatura e Salinidade Entre os Resultados do Community Climate System Model, os Dados Hidrográficos do World Ocean Data Atlas 2001 e da Reanálise Oceânica Simple Ocean Data Assimilation.” Revista Atlântica, 30(2) 89 – 100.
- 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.
- FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR (FEMAR). 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Rio de Janeiro – RJ.
- GEYER, W.R.; BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; CASTRO, B. M.; LEHECKIS, R. V.; LENTZ, S. J.; LIMEBURNER, R.; MIRANDA, L. B.; TROWBRIDG, J. H. 1991. The Physical Oceanographic of the Amazon Outflow. Oceanography, 4: 8-14.
- GEYER, W. R.; BEARDSLEY, R. C.; LENTZ, S. J.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; JOHNS, W. E.; CASTRO, B. M.; SOARES, I. D. 1996. Physical Oceanography of the Amazon shelf. CONTINENTAL SHELF RESEARCH, VOL. 16, NO. 5/6, PP. 575-616.
- GIBBS, R. J. 1970. Circulation in the Amazon River Estuary and Adjacent Atlantic Ocean. Journal of Marine Research, 28, 113-123.
- GREGÓRIO, A. M. S. & MENDES, A. C. 2009. Batimetria e Sedimentologia da Baía de Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. Amazônia: CI. & DESENV., BELÉM, V. 5, N. 9, JUL./DEZ. 2009.
- 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.

HASTENRATH, S., 1985: Climate and Circulation of the Tropics. D. Reidel Publish. Co., 455 pp.

HASTENRATH, S., & L. HELLER, 1977. Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. Quart. J. R. Meteor. Soc. vol. 110. p. 411-425.

INNOCENTINI, V.; PRADO, S. C. S. C.; PEREIRA, C. S.; ARANTES, F. O.; BRANDÃO, I. N. 2001. Marulhos no Litoral Norte do Brasil Gerados por Furacões: caso 24 de outubro de 1999. Revista Brasileira de Meteorologia. INPE. p. 2620-2629.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS (IAG). 2011. Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://master.iag.usp.br/pr/ensino/sinotica/aula15/>. Acesso em: 22 de Julho de 2019.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Divisão para monitoramento do fenômeno do El Niño-Oscilação Sul (ENOS). 2019. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/animacao/pt>. Acesso em: 22 de Agosto de 2019.

JOHNS, W. E.; LEE, T. N.; BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; LIMBURNER, R.; CASTRO, B. 1998. Annual Cycle and Variability of the North Brazil Current. Journal of Physical Oceanography, vol. 28, 103-128 pp.

JOHNS, W. E.; LEE, T. N.; SCHOTT, F. A.; ZANTOPP, R. J. ; EVANS, R. H. 1990. The north Brazil current retroflection: seasonal structure and eddy variability. Journal of Geophysical Research. vol. 95. nº C12. p. 22103-22120.

KALNAY, E., KANAMITSU, M. R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAKI, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K. C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A. LEETMAA, R. REYNOLDS, ROY JENNE, DENNIS JOSEPH. 1996. "The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project". Bulletin of the American Meteorological Society 77 (3): 437-471.

- KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F. de; GARCIA, S. R.; CALHEIROS, A. J. P. 2016. El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. *Climanálise Especial 30 anos* p. 7-12.
- KRELLING, A. P. M. 2010. A Estrutura Vertical dos Vórtices da Corrente Norte do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- LARA, R. J.; BERGER, U.; COHEN, M. C. L., 1999. Mangrove degradation by sand depositional in Bragança, northern Brazil. *Symposium on Tidal Action, Tidal Processes and Tidal Effects on Coastal Evolution. VII Brazilian Association for Quaternary Studies (ABEQUA)*. Porto Seguro. 1999. 3p.
- LARNICOL, G.; GUINEHUT, S.; RIO, M.; DREVILLON, M.; FAUGERE, Y.; NICOLAS, G. 2006. The Global Observed Ocean Products of the French Mercator project. *Proceedings of the 15 Years of progress progress in Radar Altimetry Symposium, ESA Special Publication, SP-614*.
- LE PROVOST, C.; GENCO, M. L.; LYARD, F.; VINCENT P.; CANCEIL, P. 1994. Spectroscopy of the world ocean tides from a finite element hydrodynamic model. *Journal of Geophysical Research*, vol. 99. nºC12. p. 24.777-24.797.
- LENTZ S. J. & R. LIMBURNER. 1995. The Amazon River plume during AMASSEDS: spatial characteristics and salinity variables. *Journal of Geophysical Research*. vol. 100. p. 2355-2375.
- LENTZ, S.J. 1995. The Amazon River plume during AMASSEDS subtidal current variability and the importance of wind forcing. *Journal of Geophysical Research*. vol. 100. nº C21. p. 2377-2390.
- LIMBURNER R., R. C. BEARDSLEY, I. D. SOARES, S. J. LENTZ AND J. CANDELA. 1995. Lagrangian flow observations of the Amazon River discharge into the North Atlantic. *Journal of Geophysical Research*. vol. 100. p. 2401-2415.
- LIMBURNER R., I. D. SOARES, J. CANDELA AND R. C. BEARDSLEY. 1991. CTD observations on the North Brazil shelf during A Multidisciplinary Amazon Shelf SEDiment Study (AMASSEDS). WHO1 TechnicalReport, WHOI-92. 268p.

- 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, 2010. World Ocean Atlas 2009, 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. S.; ROCHA, E. J. P. 2006. Análise de uma linha de instabilidade costeira na região leste do estado do Pará. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 21. nº 3(b), p. 258-270.
- LYARD, F., LEFÈVRE, F.; LETELLIER, T.; FRANCIS, O. 2006. Modelling the global ocean tides: a modern insight from FES2004. Ocean Dynamics. vol. 56. p. 394-415.
- 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.
- MASSON, S. & DELECLUSE, P. 2001. Influence of the Amazon River Runoff of the Tropical Atlantic. Phys. Chem. Earth (B), 26 (2): 137-142pp.
- MENEZES, V. V. 1999. Relação entre processos físicos e a cor do Oceano Atlântico Tropical. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- MILLIMAN, J. D.; SUMMERHAYES, C. P.; BARRETTO, H. 1974. Contribuição ao estudo de material em suspensão na plataforma continental do Amazonas. In: Anais XXVIII congresso brasileiro de geologia, vol. 3, p. 263-282, Porto Alegre.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 2002. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. EDUSP, São Paulo, 414 pp.
- MOLLERI, G. S. F.; KAMPEL, M.; NOVO, E. M. L. de M.; PAIVA, R. S. 2008. Utilização de álgebra booleana para a identificação de massas de água na Plataforma Continental Amazônica. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237119884_UTILIZACAO_DE_ALGEBRA_BOOLEANA_PARA_A_IDENTIFICACAO_DE_MASSAS_DE_AGUA_NA

_PLATAFORMA_CONTINENTAL_AMAZONICA. Acesso em: 22 de Junho de 2019.

MORAIS, J. O. 1977. Processos de Sedimentação na Baía de São Marcos, Estado do Maranhão, Brasil. Arquivos de Ciências do Mar. Fortaleza, v. 17, n.2, p. 153-164, dez. 1977.

NICHOLS, M. M. & BIGGS, R. B. 1985. Estuaries. In: DAVIS JR., R. A. (Ed). Coastal environments. Sedimentary New York: Springer Verlag, p.77-186, 1985.

NITTROUER, C. A.; KUEHL, S. A.; RINE, J. M.; FIGUEIREDO Jr., A. G.; FARIA, L. E. C.; DIAS, G. T. M.; SILVA, M. A. M.; ALLISON, M. A.; PACIONI, T. D.; SEGALL, M. P.; UNDERKOFFLER, E. C.; BORGES, H. V.; SILVEIRA, O. F. M. 1991. Sedimentology and Stratigraphy on the Amazon Continental Shelf. Oceanography. Vol. 4. n.1, Abr 91, v. 4, n. 1: 33-38.

NITTROUER, C.A.; KUEHL, S.A.; STERNBERG, R.W.; FIGUEIREDO Jr., A.G. e FARIA Jr., L.E.C. 1995. An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. Marine Geology, 125 (3/4): 177-192.

NOBRE, P. 2014. A Variabilidade Interanual do Atlântico Tropical e sua influência no clima da América do Sul. In: Climanálise Boletim. CPTEC-INPE. Vol.29. nº12. 2014. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/clmse_pn.html. Acesso em: 19 de Julho de 2019.

OLTMAN R. E. 1968. Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon River. U.S. Geological Survey Circular SS2, Washington, D.C. 22 pp.

PADMAN L. & EROFEEVA, S. 2005. Tide Model Driver (TMD) Manual, v1.2. User Manual. Disponível em: https://svn.oss.deltares.nl/repos/openearthtools/trunk/matlab/applications/Delft-DashBoard/utis/tmd/Documentation/README_TMD_vs1.2.pdf. Acesso em: 22 de Julho de 2019.

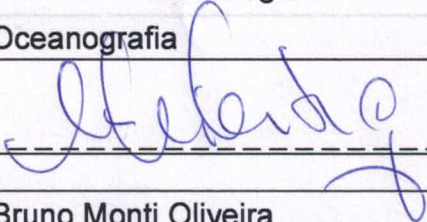
- PAIVA, R. C. D. de; BUARQUE, D. C. ; COLLISCHONN, W. ; BONNET, M.-P. ; FRAPPART, F.; CALMANT, S.; BULHÕES MENDES, C. A. Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. Water Resources Research, vol. 49. p. 1226-1243. 2013.
- PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. Progr.Oceanogr. vol. 26. nº 1. p. 1-73.
- PETROBRAS. 2017. Atividade de Perfuração Marítima no Bloco BM-BAR-3, Bacia Marítima de Barreirinhas. Modelagem de Derrame de Óleo no Mar. Estudo de Impacto Ambiental – EIA.
- PETROBRAS. 2018. Atividade de Perfuração Marítima no Bloco BM-BAR-5, Bacia de Barreirinhas. Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Anexo J: Modelagem de Derrame de Óleo no Mar para o Bloco BM-BAR-5, Bacia de Barreirinhas.
- PINHEIRO, R. V. L. 1987. Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará, Belém-PA. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências: 152p. (Dissertação de Mestrado).
- POND, S. & PICKARD, G. L. 1978. Introductory Dynamical Oceanography. Pergamon Press. Oxford. 329p.
- PORTOBRÁS, 1988. Parecer Técnico quanto aos Aspectos Hidráulico/Sedimentológicos Referentes às Alternativas de Solução para Implantação do Pier Petrolero do Porto Comercial do Itaqui. V.1: 51p.
- PROOCEANO. 2012a. mundoPETROBRAS: 1º Relatório de Acompanhamento. Relatório Técnico. Rev.01. 28 de Junho de 2012 13p.
- PROOCEANO. 2012b. mundoPETROBRAS: 2º Relatório de Acompanhamento. Relatório Técnico. Rev.01. 27 de Julho de 2012. 13p.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da, AMBRIZZI, T. 2010. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia. Vol. 25. nº02. p. 185-204. 2010.
- RICHER J. E.; MEADE, R. H.; SALATI, E.; DEVOL, A. H.; NORDIN JR, C. F; DOS SANTOS, U. 1986. Water discharge and suspended sediment concentrations

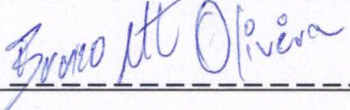
- in the Amazon River: 1982-1984. *Water Resources Research*. vol. 22. n. 5. p. 756-764.
- RI PRO06. 2007. Relatório Interno. Meio Físico. Meteorologia. Terminal Aquaviário de Barra do Riacho. Preparado por: Lincon Alves.
- ROSÁRIO, R. P. 2016. Análise de Processos Oceanográficos no Estuário do Rio Pará. Instituto de Geociências – Universidade Federal do Pará. Tese de Doutorado. 139p.
- RYTHEY, J. H.; MENZEL, D. W.; CORWIN, N. 1967. Influence of the Amazon River Outflow on the Ecology of the Western Tropical Atlantic: Hydrography And Nutrient Chemistry. *Journal of Marine Research*, London, v. 25, N. 1, p. 68-83.
- SANTOS, J. H. S. dos; TAROUCO, J. E. F.; SOUZA, B. B. Q; MOCHEL, F. R. Características geológicas e geomorfológicas da Baía de São Marco, Golfão Maranhense-MA. In: IV Simpósio Nacional de Geomorfologia. 2002. São Luís-MA. Geomorfologia: interfaces, aplicações e perspectivas. 2002. v. 2. p. 1-7. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/4/1/52.pdf>. Acesso em: 05 de Junho de 2019.
- 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).
- SECRETARIA DE ESTADO DAS CIDADES E DESENVOLVIMENTO URBANO (SECID) – MA. 2014. Resumo do Diagnóstico do Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Mearim – MA, vol. 1. 148p.
- SILVEIRA, I. C. A. da; MIRANDA L. B. de; BROWN, W. S. 1994. On the origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research*. v. 99, p. 22501-22512.
- SILVEIRA, I. C. A. da; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOY, S. S. de; IKEDA, Y. 2000. A Corrente de Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*. vol. 48. nº 2. p. 171-183.

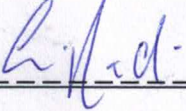
- SIQUEIRA, G. W.; LIMA, W. N.; MENDES, A. S.; APRILE, F. M.; DARWICH, A. J. 2003. Aspectos Hidroquímicos das Águas Sobrejacentes à Plataforma Continental do Amazonas entre os Cabos Orange (AP) e Maguari (PA). Boletim do Laboratório de Hidrobiologia. vol. 16. p. 5-20.
- SISTEMA DE DE ACOMPANHAMENTO DE RESERVATÓRIOS – SAR. 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/>. Acesso em 28 de outubro de 2018.
- SOUZA-FILHO, P. W. M. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. Revista Brasileira de Geofísica. vol. 23. nº 4. p. 427-435.
- STARK, J. D.; DONLON, C. J.; MARTIN, M. J.; McCULLOCH, M. E. 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.
- STULL. R. Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science, Dept. of Earth, Ocean & Atmospheric Sciences, University of British Columbia, Vancouver-BC, Canadá. 944p. 2017.
- SYBRANDY, A. L.; NILLER, P.P. 1991. WOCE/TOGA Lagrangian drifter-construction manual. Califórnia, CA. University of Califórnia, 92 p.
- The WAVEWATCH III® Development Group (WW3DG), 2016. User Manual and system documentation of WAVEWATCH III® version 5.16. Tech. Note 329, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, College Park, MD, USA, 326 pp.
- TORRES, A. M. & EL-ROBRINI, M. 2006. Erosão e progradação no litoral brasileiro – Amapá. In: Erosão e progradação no litoral brasileiro / Dieter Muehe, organizador. – Brasília: MMA, 2006. 476 p. ISBN 85-7738-028-9.
- TRENBERTH, K. E. 1997. The definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorological Society. v. 78, n. 12, p. 2771-2777.

II.6.1.3 EQUIPE TÉCNICA

Equipe da SLI Coastal Solutions:

Profissional	Alex Vieira Falkenberg
Empresa	SLI COASTAL SOLUTIONS
Registro no Conselho de Classe	CREA PR-68434/D
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	5132601
Responsável pela(s) Seção(ões)	II.6.1.1 – Meteorologia e Oceanografia
Assinatura	

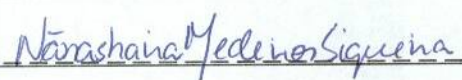
Profissional	Bruno Monti Oliveira
Empresa	SLI COASTAL SOLUTIONS
Registro no Conselho de Classe	Não aplicável
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	Não aplicável (CPF 311.635.408-11)
Responsável pela(s) Seção(ões)	II.6.1.1 – Meteorologia e Oceanografia
Assinatura	


Profissional	Eric Nardi
Empresa	SLI COASTAL SOLUTIONS
Registro no Conselho de Classe	AOCEANO: 1985
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	Não aplicável (CPF 369.587.488-08)
Responsável pela(s) Seção(ões)	II.6.1.1 – Meteorologia e Oceanografia
Assinatura	

II.6.1.3 EQUIPE TÉCNICA

Profissional	Laíssa Régia Sarmento Baltazar
Empresa	SLI COASTAL SOLUTIONS
Registro no Conselho de Classe	AOCEANO: 2405
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	Não aplicável (CPF 937.616.002-91)
Responsável pela(s) Seção(ões)	II.6.1.1 – Meteorologia e Oceanografia
Assinatura	
Assinatura	
Assinatura	
Assinatura	

Equipe Petrobras (revisão)

Profissional	Nãashaira Medeiros Siquera
Empresa	PETROBRAS
Registro no Conselho de Classe	Não Aplicável
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	Não aplicável (CPF 116.187.467-40)
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	II.6.1.1 – Meteorologia e Oceanografia
Assinatura	

Profissional	Fernanda Martins Hargreaves
Empresa	PETROBRAS
Registro no Conselho de Classe	Não Aplicável
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	Não aplicável (CPF 073.895.817-43)
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	II.6.1.1 – Meteorologia e Oceanografia
Assinatura	

Equipe Petrobras (colaboração)

Profissional	Flavia Porto da Costa
Empresa	PETROBRAS
Registro no Conselho de Classe	Não Aplicável
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	Não aplicável
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	II.6.1.1 – Meteorologia e Oceanografia
Assinatura	p/ 