



II.5.1.2 Oceanografia

II.5.1.2.1 Introdução

Neste documento é apresentada uma descrição das condições oceanográficas vigentes na região do Bloco BC-10, na Bacia de Campos, RJ. Esta descrição visa atender as exigências do Termo de Referência emitido pelo Escritório de Licenciamento de Petróleo e Nuclear do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (ELPN/IBAMA).

II.5.1.2.2 Caracterização dos Dados

Para a caracterização oceanográfica da região foram utilizados os dados de variadas fontes:

- a) Dados de temperatura, salinidade e ondas, contidos no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Marinha do Brasil;
- b) Dados de corrente do Programa *World Ocean Circulation Experiment* (WOCE).
- c) Dados de estações e constantes de maré obtidos da Fundação de Estudos do Mar (FEMAR);
- d) Dados do Projeto Nacional de Bóias (PNBOIA), integrante do *Global Ocean Observing System* (GOOS);
- e) Dados de altimetria multissatélite, obtidos pela VM Oceânica LTDA; e dados a partir de trabalhos bibliográficos existentes para a região;
- f) Nos itens a seguir são apresentadas as análises dos parâmetros oceanográficos de maior interesse para essa caracterização, a saber:
 - Temperatura.
 - Salinidade.
 - Massas d'água.
 - Regime de Ondas.
 - Regime de Marés.
 - Regime de Correntes.

Temperatura e Salinidade

Para a análise das propriedades físico-químicas da água do mar, na região do Bloco BC-10 foram utilizados os dados de temperatura e salinidade disponíveis no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), correspondentes às campanhas realizadas no período entre os anos de 1957 e 1991.



TEMPERATURA E SALINIDADE - BND0

The map displays the BND0 region with temperature and salinity contours. The inset map shows the location of the study area within Brazil. The main map includes a scale bar (0-300 km) and a north arrow. Contours are labeled with values such as 200, 500, 1000, 2000, and 3000. Data points are marked with red dots and labeled with codes like Q-339, Q-340, and BC-10. Geographic labels include Vitória, Cabo de São Tomé, and Cabo Frio.

A seguir são apresentados os perfis verticais de temperatura e salinidade para os períodos de verão e outono (**Figura II.5.1.2-2**) e para inverno e primavera (**Figura II.5.1.2-3**), bem como o número de amostras disponíveis para cada período.

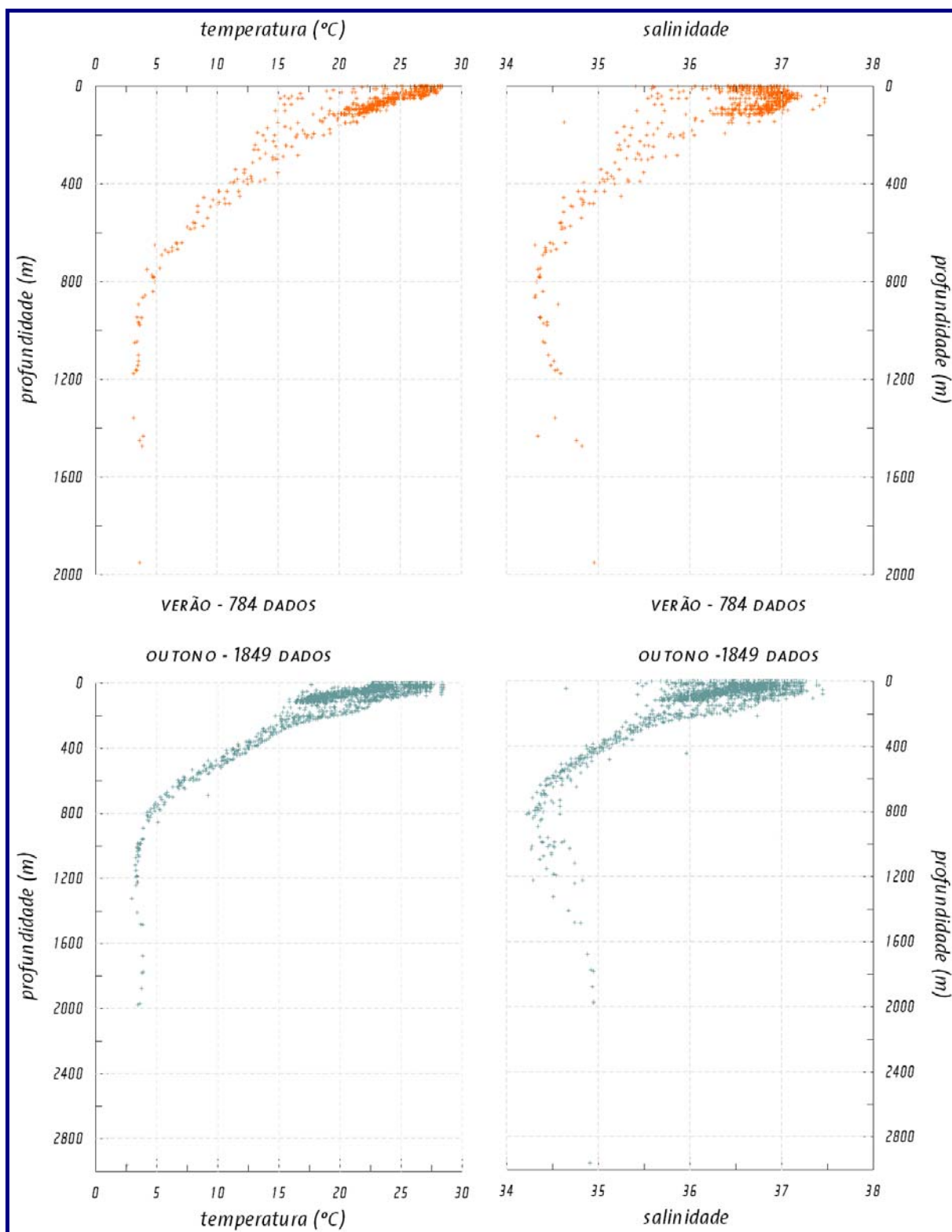


FIGURA II.5.1.2-2: PERFIS DE TEMPERATURA E SALINIDADE PARA OS PERÍODOS DE VERÃO E OUTONO
FONTE: BNDO.



EcologyBrasil
Ecology and Environment do Brasil

Ecologus
Engenharia Consultiva

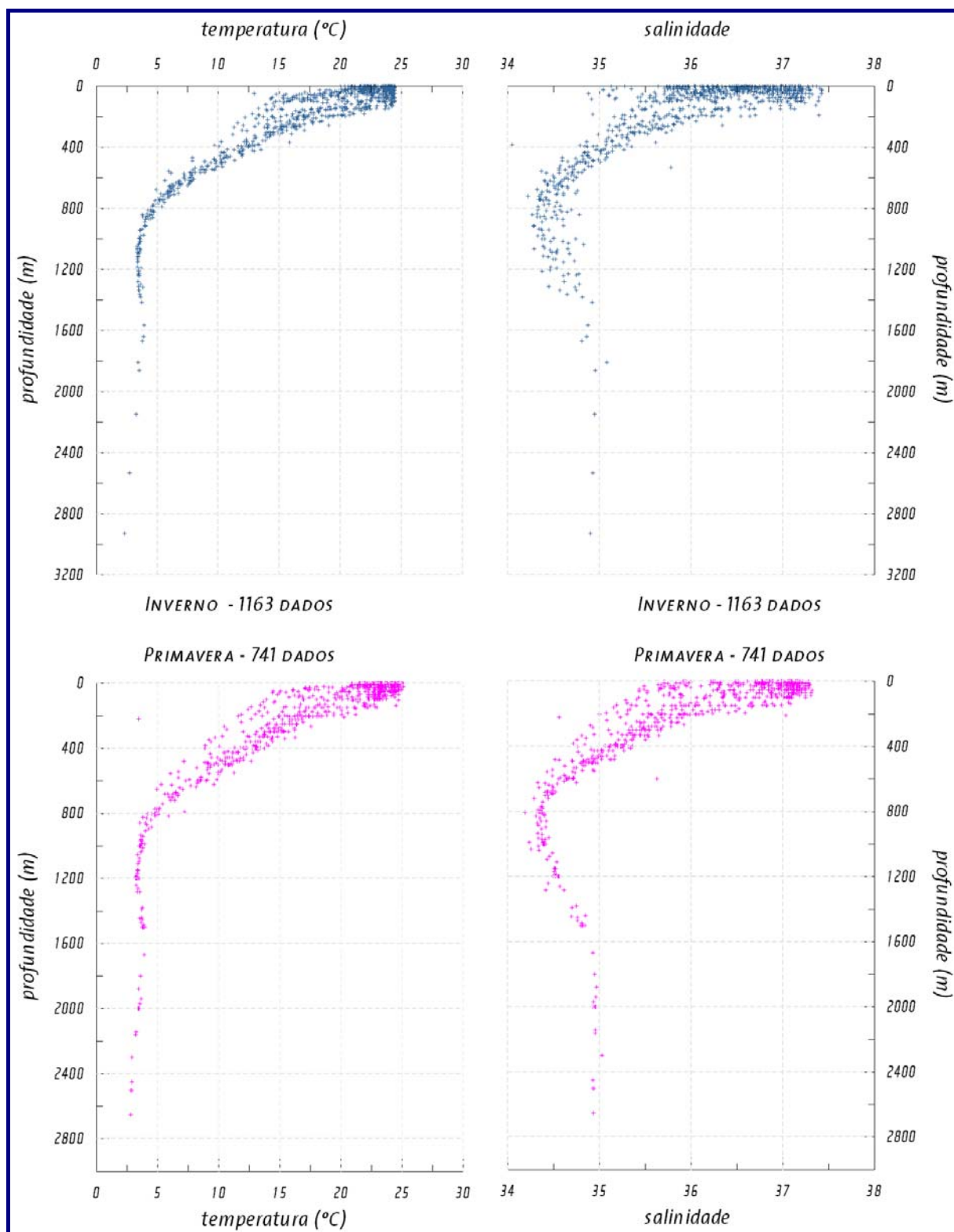


FIGURA II.5.1.2-3: PERFIS DE TEMPERATURA E SALINIDADE PARA OS PERÍODOS DE INVERNO E PRIMAVERA.
FONTE: BNDO.

Analisando o perfil vertical de distribuição de temperatura da água do mar no período de verão (**Figura II.5.1.2-2**), observa-se que a temperatura em superfície



varia aproximadamente entre 15 e 29°C. A 200 m, a temperatura varia de 13 a 19 °C, e abaixo de 800 m, o valor médio mantém-se próximo a 4 °C.

A salinidade em superfície varia entre 36 e 37, com uma maior concentração de observações próximas a este último valor. A partir de 200 m de profundidade, os valores decrescem gradualmente, atingindo o mínimo (em torno de 34,5) a cerca de 800 m. A partir deste nível sofrem novamente uma ligeira elevação, apresentando valores próximos a 35, como pode ser observado na **Figura II.5.1.2-2**.

No período de outono os valores de temperatura superficiais são mais elevados, variando entre 22°C a 28°C, (**Figura II.5.1.2-2**). A diminuição dos valores em profundidade, no entanto, ocorre da mesma forma, com o final da termoclina bem marcado em 800 m.

O perfil de salinidade para o outono (**Figura II.5.1.2-2**) apresenta alguns valores inferiores em superfície, entretanto, de maneira geral o comportamento da curva é semelhante ao período de verão.

Para o período de inverno a temperatura superficial varia entre 20°C e 24°C e a salinidade entre 35 a 37,4, sendo este o maior valor entre os períodos analisados. O perfil de salinidade para essa estação mostra ainda uma maior dispersão entre os valores em profundidade, como pode ser observado na **Figura II.5.1.2-3**.

O perfil de salinidade para a primavera apresenta valores mais dispersos em toda a coluna d'água, quando comparado com os períodos de verão e outono.

Massas d'Água

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

Normalmente, nesta região da costa brasileira são encontradas as seguintes massas d'água, considerando sua distribuição ao longo do perfil da coluna d'água: **AC** – Água Costeira, **AT** - Água Tropical, **AM** - Água de Mistura (água proveniente da mistura entre a AT e AC), **ACAS** - Água Central do Atlântico Sul, **AIA** - Água Intermediária Antártica, **APAN** - Água Profunda do Atlântico Norte.

SILVA *et al* (1982) desenvolveu um gabarito tentativo para as massas d'água da costa sudeste brasileira, com a seguinte classificação:

- Água Costeira (AC): água de salinidade abaixo de 33 devido à influência de descarga fluvial.
- Água Tropical (AT) – definida por valores de salinidade maiores que 36 e de temperatura maiores que 18°C. Esta massa d'água é transportada para o sul pela Corrente do Brasil, ocupando a camada mais superficial.



- Água de Mistura (AM): apresenta salinidade variando entre 33 e 36 e valores de temperatura acima de 18°C. Massa d'água proveniente da mistura entre AT e AC.
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS): apresenta um mínimo de temperatura de 6°C e um máximo de 18°C; e a salinidade oscilando entre 34,5 e 36. Massa d'água situada entre a Água Tropical e a Água Intermediária Antártica. É formada na Convergência Subtropical.
- Água Intermediária Antártica (AIA): apresenta valores de temperatura entre 2,75°C e 5°C e de salinidade entre 34,1 e 34,5. É proveniente da Convergência Antártica e apresenta um mínimo de salinidade entre 700 e 1100 m de profundidade.
- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN): apresenta valores de temperatura entre 2,0°C e 4°C e de salinidade entre 34,7 e 35,0. Ela é formada no Hemisfério Norte na junção das Correntes da Groenlândia e Labrador.

Na **Figura II.5.1.2-4** apresenta-se o diagrama TS espalhado, elaborado com os dados do BNDO. As cores são referentes às faixas de distribuição das profundidades dos dados.

As isolinhas do diagrama T-S presentes na **Figura II.5.1.2-4** indicam os valores de sigma-teta (σ_θ). Este parâmetro é normalmente utilizado para expressar variações de densidade, especialmente em análise de massa d'água, pois desconsidera a influência da pressão.

Esse parâmetro é obtido por: $\sigma_\theta = \rho_\theta - 1000$ (POND & PICKARD, 1978), onde ρ_θ é a densidade da água do mar em kg m^{-3} .

Observando a escala de cor da **Figura II.5.1.2-4**, nota-se que na maior parte das amostras a densidade da água superficial (entre 0 e 200 metros) encontra-se entre 1024 e 1026 kg m^{-3} . Os pontos de profundidade entre 200 e 1000 m estão dispostos de forma aproximadamente paralela às isopicnais (linhas de mesma densidade), evidenciando que fazem parte de uma mesma massa d'água, a ACAS. A disposição dos pontos, amostrados a partir de 1000 m, expõe um aumento mais acentuado da densidade em direção ao valor de 1028 kg m^{-3} , correspondendo às massas d'água AIA e APAN.

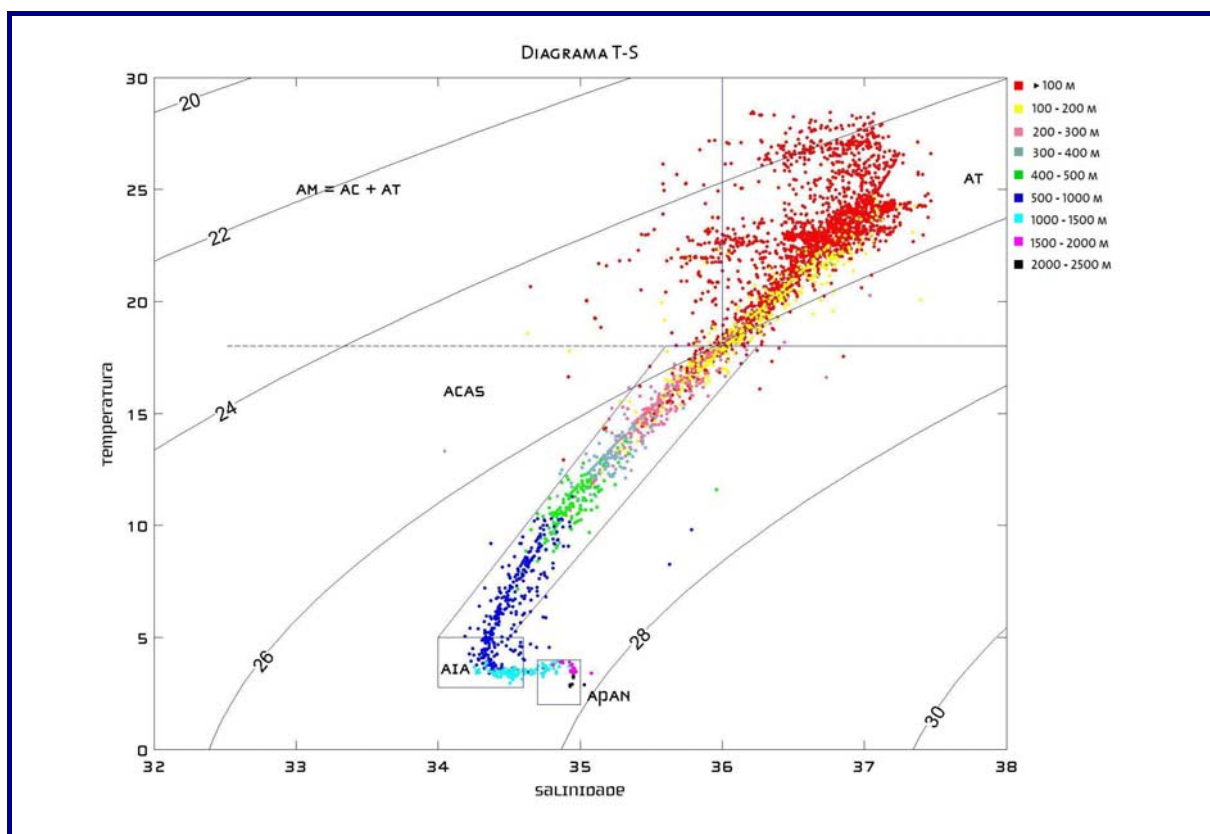


FIGURA II.5.1.2-4: DIAGRAMA TS ESPALHADO PARA A REGIÃO DO BLOCO BC-10 ELABORADO COM OS DADOS DO BNDO. FONTE: BNDO.

Pode-se observar, pelos pares TS apresentados no diagrama, a presença da água de mistura entre a superfície e os 100 m de profundidade, e a água costeira, entre a superfície e os 200 m de profundidade.

A ACAS encontra-se entre os 100 m e a faixa de 500 a 1000 m, com seu núcleo localizado entre 400 e 500 m. Observa-se ainda a presença da AIA e da APAN, entre os 1000 a 1500 m e entre os 1000 a 2000 m, respectivamente.

Para a caracterização de variações espaciais e sazonais, no comportamento das massas de água na região, são necessários dados com uma frequência amostral (espaço-temporal) com maior resolução do que a disponível no BNDO. Os dados constantes no BNDO são oriundos de diversas campanhas oceanográficas, realizadas entre o período de 1957 a 1991. Tais campanhas possuem objetivos distintos, em regiões e épocas variadas, o que prejudica as análises mais refinadas, como as sazonais em áreas mais restritas.

No entanto, se considerarmos como escala o Oceano Atlântico Sul, pode-se realizar uma descrição espacial qualitativa das massas d'água tanto espacial, quanto sazonal, conforme apresentado nas **Figuras II.5.1.2-5 e II.5.1.2-6:**

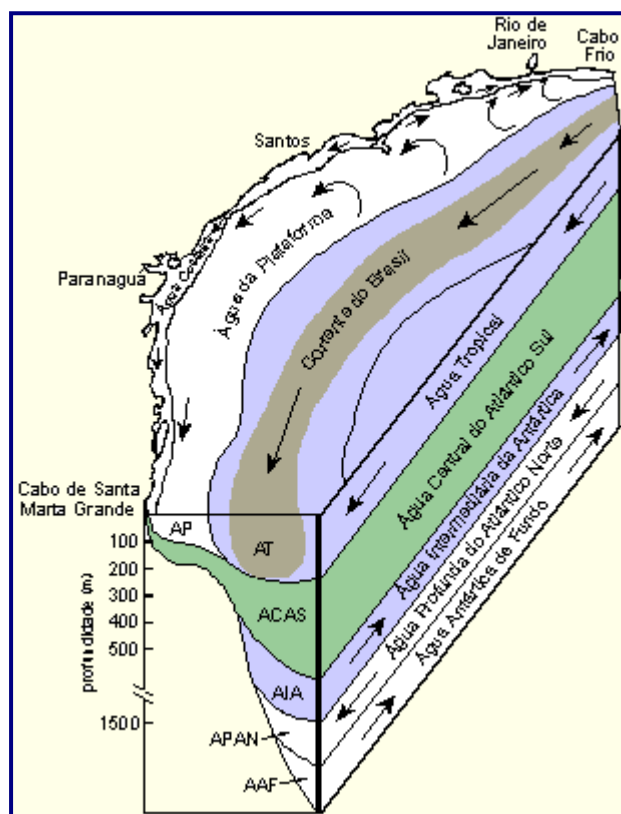


FIGURA II.5.1.2-5: VARIAÇÃO ESPACIAL DA MASSA D'ÁGUA NA REGIÃO SUDESTE-SUL BRASILEIRA NA ÉPOCA DE VERÃO.

FORTE: MATSUURA, 1986.

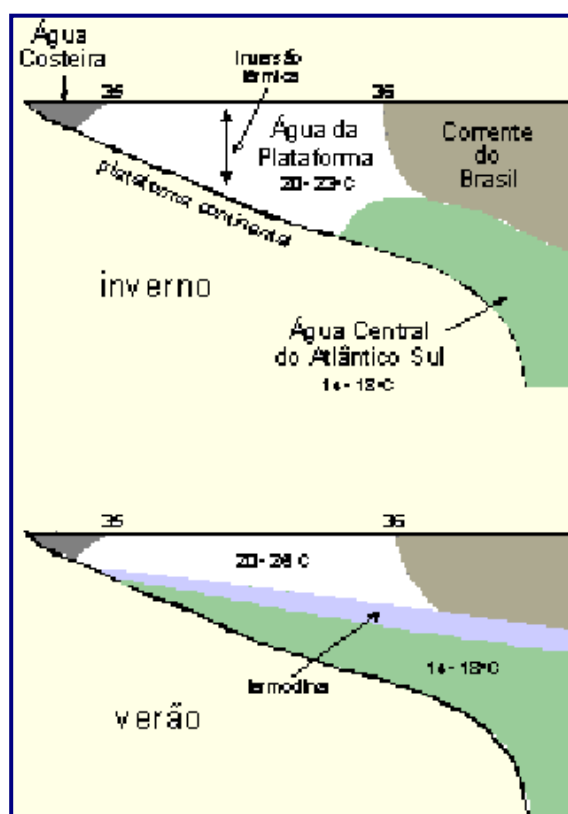


FIGURA II.5.1.2-6: DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DAS MASSAS DE ÁGUA NA REGIÃO SUDESTE-SUL BRASILEIRA, NA ÉPOCA DE VERÃO (ACIMA) E INVERNO (ABAIXO). FORTE: MATSUURA, 1986.

Regime de Ondas

Para a caracterização do clima de ondas em determinada região, são necessárias coletas de dados contínuas, utilizando-se equipamentos adequados. Para esta caracterização na região adjacente ao Bloco BC-10 foram utilizados os dados disponíveis no BNDO para a área, no período de 1958 a 2002 e os estudos do clima de ondas elaborados por VIOLANTE DE CARVALHO (1998) e SEIXAS (1997), para a Bacia de Campos.

Os dados utilizados nos trabalhos acima referidos foram obtidos através do fundeio da bóia meteo-oceanográfica do tipo 'heave-pitch-roll' da PETROBRAS, posicionada na Bacia de Campos em dois períodos. O primeiro fundeio foi localizado no Campo de Marlim (22° 31' S e 039° 58' W) a 1.250 m de profundidade, e o segundo foi localizado no Campo de Barracuda (22° 38' S e 040° 12' W) a 1.050 m de profundidade.

Nessa análise os estados de mar estão diretamente relacionados com as condições meteorológicas associadas, não só nas situações diretas de mares de



bom e mau tempo, mas também nos eventos de mar bi, tri e até mesmo quadrimodais, bastante freqüentes na região da Bacia de Campos.

De acordo com as forçantes meteorológicas atuantes, foram identificadas quatro situações distintas, separadas em dois grandes grupos, segundo VIOLANTE DE CARVALHO (1998):

- Domínio da Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS:
 - Mar em desenvolvimento de N/NNE, com *swell* S/SE;
 - Mar em desenvolvimento NE/ENE/E, com *swell* de S/SE.
- Domínio de sistemas frontais (Baixa Pressão) na região:
 - Mar gerado pela evolução de sistema frontal com ondulações geradas a grandes distâncias da Bacia;
 - Condição de mar durante o inverno.

As direções das ondas e do vento são relacionadas ao norte verdadeiro e são centradas em: N (360°), NNE (22,5°), NE (45°), ENE (67,5°), E (90°), SE (135°), S (180°), SSW (202,5°) e SW (225°).

Na descrição a seguir serão utilizados alguns termos como vaga, marulho ou *swell*, mar local e mar quase local. Entende-se por vaga aquelas ondas que ainda estão sofrendo influência do vento que as gerou, em outras palavras, ainda estão em sua área de geração. Os marulhos ou *swell* são as ondas que não mais estão sob a influência do vento que as gerou, ou seja, estão fora da área de geração. Um mar local é caracterizado por ondas que estão sendo geradas pelo vento local. Entende-se por mar quase local aquele mar gerado entre a área de geração principal e a área de interesse.

A caracterização dos estados de mar é feita em função de três parâmetros: altura significativa (H_s), direção e freqüência de pico (T_p). A altura significativa é uma medida estatística obtida separando-se o registro de onda em três partes iguais e fazendo-se uma média da parte do registro onde estejam as maiores alturas. A direção de onda é o rumo seguido pela onda, e a freqüência de pico é a freqüência na qual a maior quantidade de energia da ondulação está concentrada. A seguir serão descritas as situações anteriormente mencionadas.

A) Situações Regidas pelo Domínio do ASAS:

- A.1) Mar em desenvolvimento de N/NNE, com *swell* de S/SE ⇒ Esse é o estado de mar mais comum na região, sendo típico de verão. Entretanto, esse estado ocorre em todas as demais estações do ano com menor freqüência.

Os valores característicos desse estado de mar são apresentados no **Quadro II.5.1.2-1**.



QUADRO II.5.1.2-1: VALORES CARACTERÍSTICOS PARA SITUAÇÃO DE MAR A1

DESCRIÇÃO	DIREÇÃO (°)	HS (m)	TP (s)
Mar Local (> 10%)	N/NNE	0,25 a 1,25	3 a 5
Mar Quase-Local (> 10%)	NNE/NE	1 a 1,5	5 a 7
	NNE/NE	0,5 a 1,5	9 a 11
Swell	S/SE	0,75 a 1,5	11 a 13
	S/SE	1,5	15 (3%)

FONTE: VIOLANTE DE CARVALHO, 1998.

- A.2) Mar em desenvolvimento de NE/ENE/E, com swell de S/SE ⇒ Situações de mar em desenvolvimento de nordeste/leste-nordeste/leste com swell de sul/sudeste são bastante frequentes, ocorrendo em todas as estações do ano, porém com predominância na primavera e no verão.

No **Quadro II.5.1.2-2** são apresentados os valores característicos para essa situação.

QUADRO II.5.1.2-2: VALORES CARACTERÍSTICOS PARA SITUAÇÃO DE MAR A2

DESCRIÇÃO	DIREÇÃO (°)	HS (m)	TP (s)
Mar Local (> 10%)	N/ENE/E	0,25 a 1,25	3 a 5
Mar Quase-Local (> 10%)	ENE/E/ESE	1 a 1,5	5,5 a 6,5
	ENE/E/ESE	1	8
	ENE/E/ESE	1	10
Swell	S/SE	0,5 a 2	11,5 a 12,5
	S/SE	0,5 a 1,5	14,5 a 15,5 (3%)

FONTE: VIOLANTE DE CARVALHO, 1998.

B) Situações Regidas pelo Domínio de Sistemas Frontais:

- B.1) Mar gerado pela evolução de sistema frontal, com presença de ondulações geradas a grandes distâncias da Bacia de Campos ⇒ Esse é o segundo estado de mar mais frequente na região, com ocorrência inferior apenas ao da situação a.1), sendo considerada uma situação típica de outono e inverno, no entanto, sem deixar de ocorrer também nas demais estações do ano.



Os valores característicos para essa situação são apresentados no **Quadro II.5.1.2-3**.

QUADRO II.5.1.2-3: VALORES CARACTERÍSTICOS PARA SITUAÇÃO DE MAR B1

DESCRIÇÃO	DIREÇÃO (°)	HS (m)	TP (s)
Mar Local (> 10%)	SW a NE	0,25 a 1,25	3 a 5
Mar Quase-Local (> 10%)	SW a NE	1 a 2	5 a 9
Swell	SW a NE*	1 a 2	10
	SW a NE*	1 a 2,5	12
	S/SE	1,5	15

* Dependendo da evolução direcional do mar, esta situação pode ser considerada com mar quase-local.

FONTE: VIOLANTE DE CARVALHO, 1998.

B.2) Condição de mar durante o inverno ⇒ Nessa situação, ocorre uma evolução do centro de baixa pressão do ciclone extratropical zonalmente de oeste para leste, podendo ou não haver a presença de ondulações geradas à grandes distâncias da costa.

No **Quadro II.5.1.2-4** são apresentados os valores característicos para essa situação.

QUADRO II.5.1.2-4: VALORES CARACTERÍSTICOS PARA SITUAÇÃO DE MAR B2

DESCRIÇÃO	DIREÇÃO (°)	HS (m)	TP (s)
Mar Local (> 10%)	SW a NE	0,25 a 1	3 a 5,5
Mar Quase-Local (> 10%)	SW a NE	1	5,5 a 6,5
	SW a NE ou S*	1,5	8
	SW a NE ou S*	1 a 2	9,5 a 10,5
	SW a NE ou S*	0,75 a 1,75	11,5 a 12,5
Swell (1%)	S/SE	1	15

* Dependendo da evolução direcional do mar, esta situação pode ser considerada com mar swell.

FONTE: VIOLANTE DE CARVALHO, 1998.

Nas **Figuras II.5.1.2-7, II.5.1.2-8 e II.5.1.2.9** são apresentados os histogramas de altura e período de ondas, elaborados com os dados do



BNDO. Em cada figura também é apresentado o número de dados amostrados em cada mês.

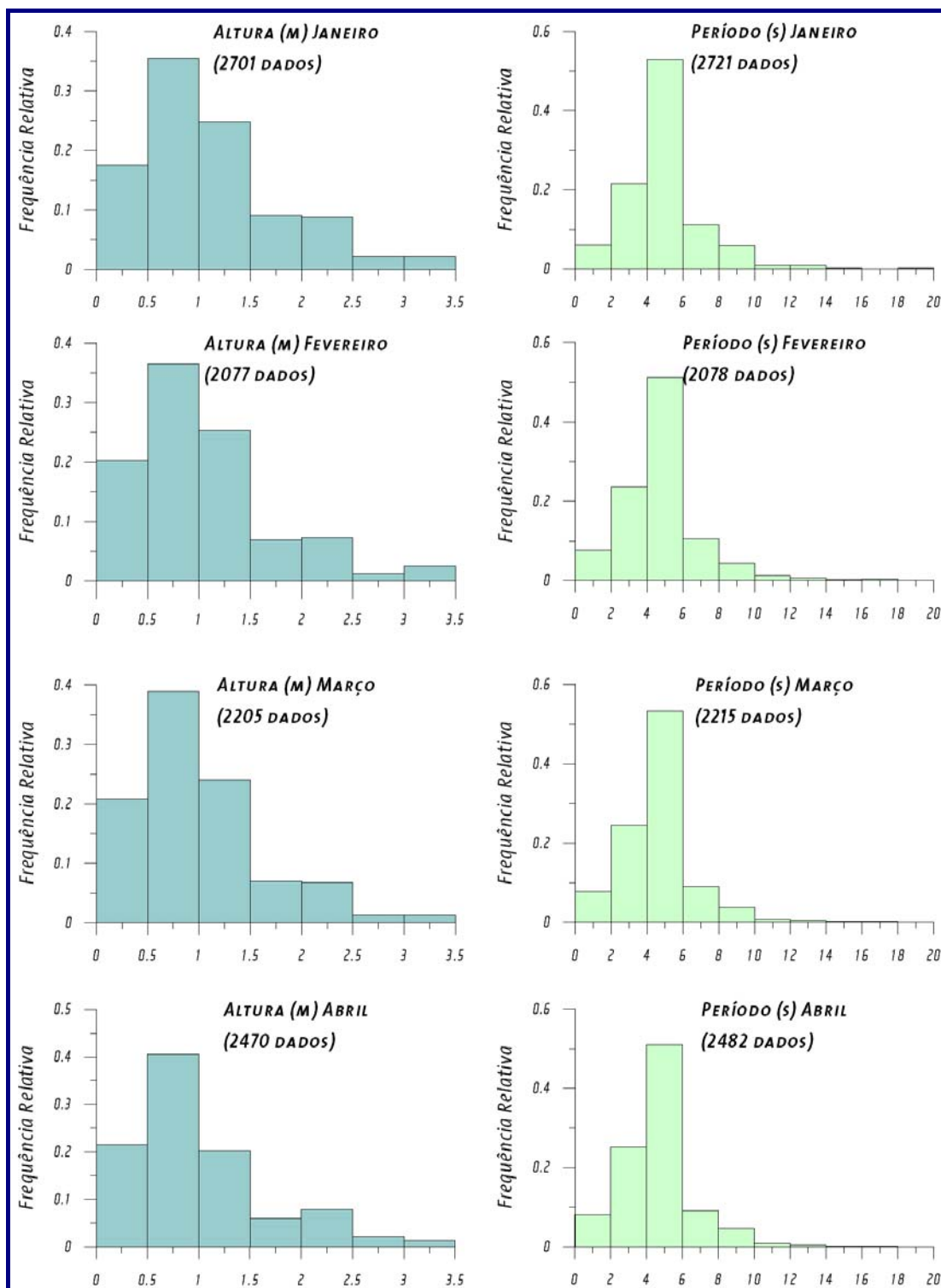


FIGURA II.5.1.2-7: HISTOGRAMAS DE ALTURA E PERÍODO DE ONDAS, PARA OS MESES DE JANEIRO A ABRIL, ELABORADOS COM OS DADOS DO BNDO.

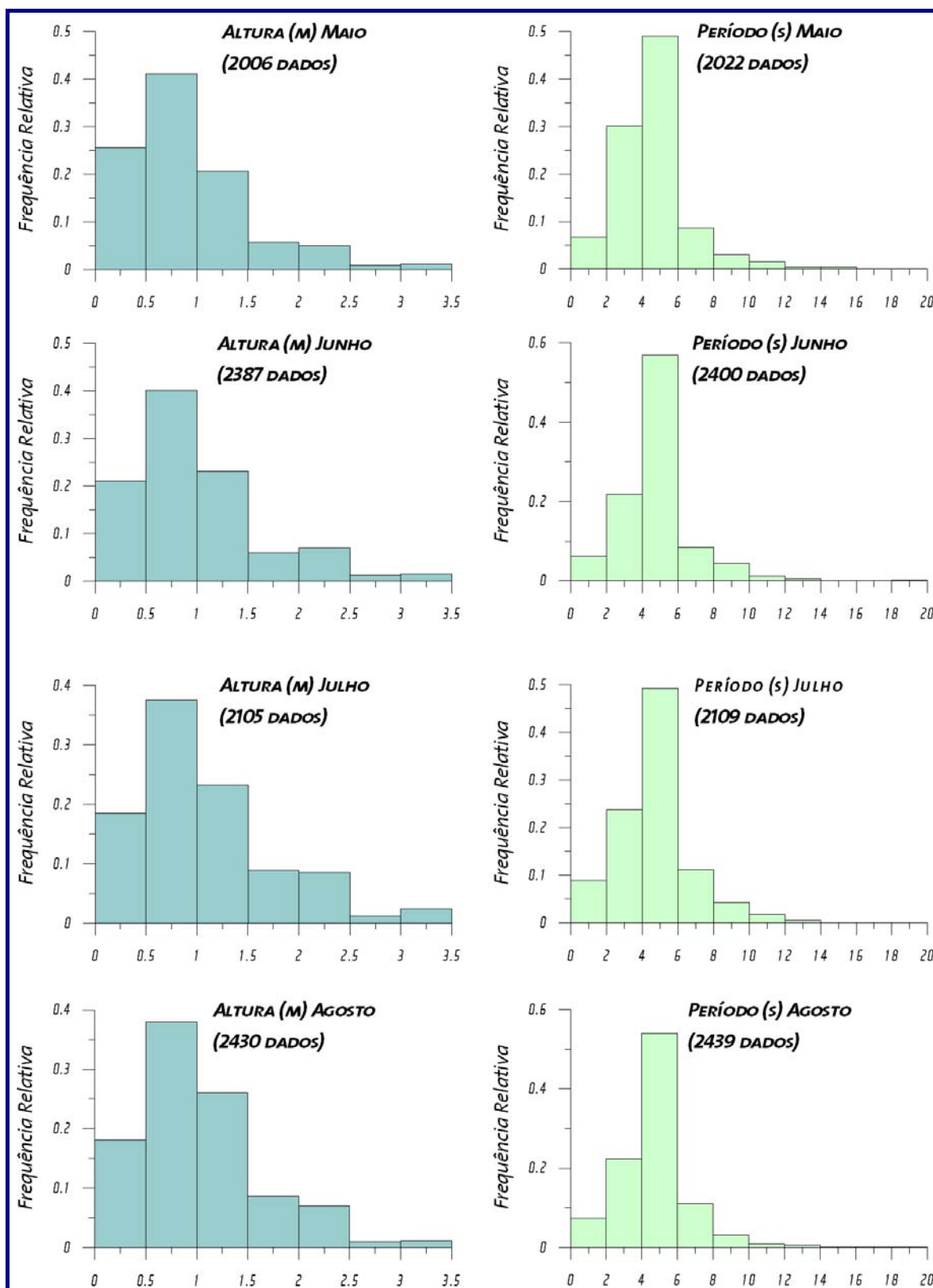


FIGURA II.5.1.2-8: HISTOGRAMAS DE ALTURA E PERÍODO DE ONDAS, PARA OS MESES DE MAIO A AGOSTO, ELABORADOS COM OS DADOS DO BNDO.



Observa-se que a classe de altura mais freqüente é a de 0,5 a 1 m, enquanto que a de período, é a de 4 a 6 s. Nota-se, no entanto, a presença de ondulações maiores, chegando a 3,5 m de altura e 16 s de período. Essas ondas provavelmente estão associadas às situações de *swell*., sendo que a ausência dos valores de direção das ondas, impede tal confirmação.

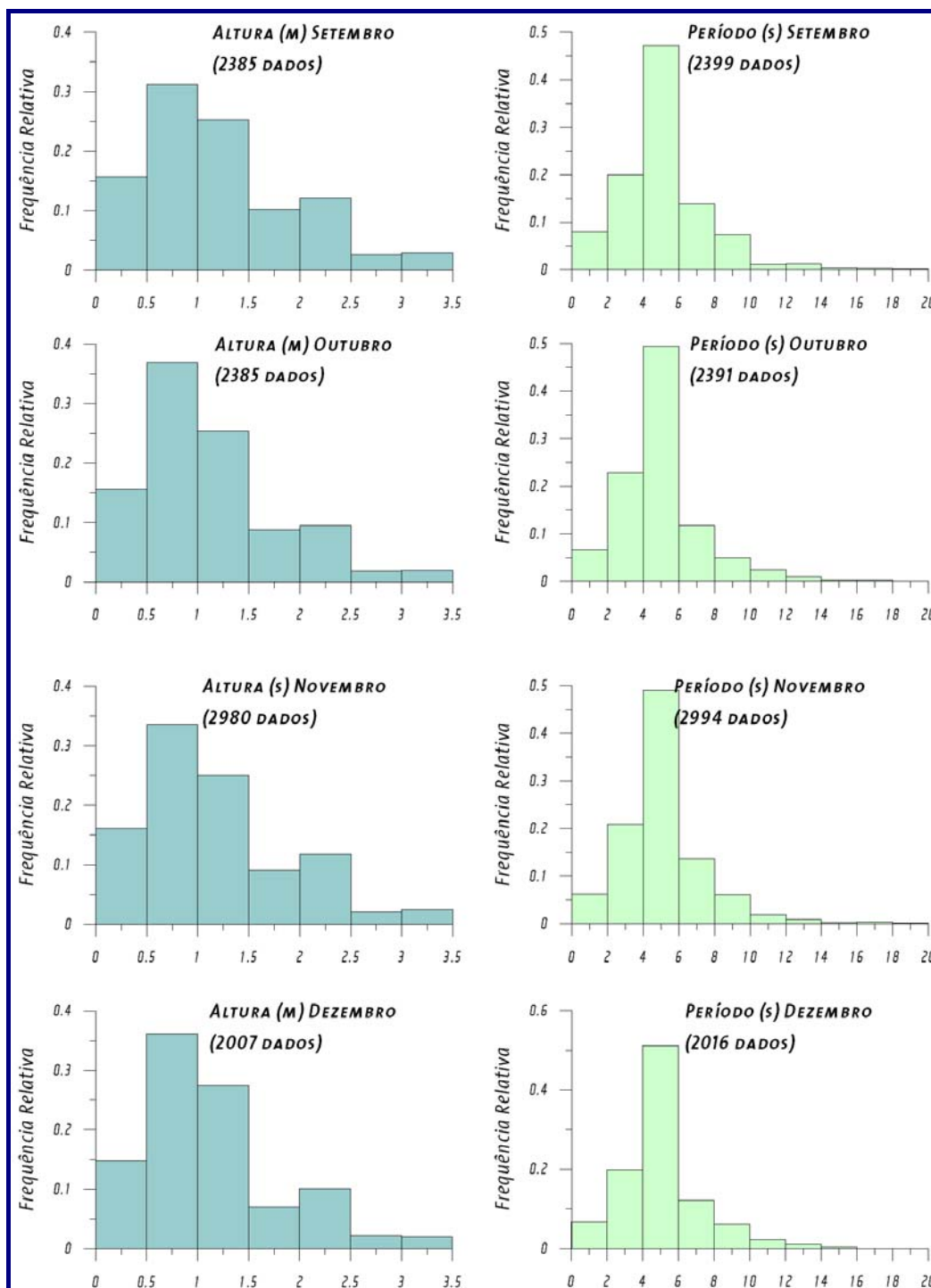


FIGURA II.5.1.2-9: HISTOGRAMAS DE ALTURA E PERÍODO DE ONDAS, PARA OS MESES DE SETEMBRO A DEZEMBRO, ELABORADOS COM OS DADOS DO BNDO.



Observa-se que, embora não existam dados de direção no BNDO, os valores mais freqüentes de altura e período são semelhantes aos observados por VIOLANTE DE CARVALHO (1998).

Nota-se ainda a maior ocorrência de valores extremos nos dados do BNDO. Como estes dados são coletados a bordo de navios, ao longo de suas rotas, os valores de altura e período são observados, visualmente, e não a partir de análises estatísticas, como no trabalho de VIOLANTE DE CARVALHO (1998). Ressalta-se que a incidência de erros é muito freqüente nesse tipo de medição, em decorrência da subjetividade da amostragem.

Regime de Marés

A maré pode ser classificada quanto ao seu período, como maré diurna, semidiurna, mista, principalmente diurna ou mista principalmente semidiurna (POND & PICKARD, 1978).

Para classificar a maré, calcula-se um fator que leva em consideração a amplitude das principais componentes diurnas e semidiurnas. Esse fator é definido por:

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

De acordo com essa classificação, tem-se:

- **Maré semidiurna** ($F = 0$ a $0,25$): maré cujo período é de aproximadamente 12h. Neste caso, têm-se duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas. A altura de uma preamar é praticamente igual a outra, o mesmo acontecendo com a baixamar.
- **Maré mista, principalmente semidiurna** ($F = 0,25$ a $1,5$): maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, semidiurna, podendo ser diurna em algumas épocas do ano.
- **Maré mista, principalmente diurna** ($F = 1,5$ a $3,0$): maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, diurna, podendo ser semidiurna ou diurna em algumas épocas do ano.
- **Maré diurna** ($F > 3,0$): maré cujo período é de 24h, aproximadamente. Nesse caso, tem-se apenas uma maré alta e uma maré baixa em 24 horas.

Para a caracterização da maré na região do Bloco BC-10 foram utilizadas as constantes harmônicas, medidas em duas estações maregráficas da



PETROBRAS na Bacia de Campos, localizadas em $22^{\circ} 06' S$ e $040^{\circ} 01' W$ (Norte 1) e em $22^{\circ} 02' S$ e $039^{\circ} 52' W$ (Norte 2). As localizações dessas estações, em relação ao Bloco BC-10, podem ser observadas na **Figura II.5.1.2-10** e as constantes harmônicas, no **Quadro II.5.1.2-5**.

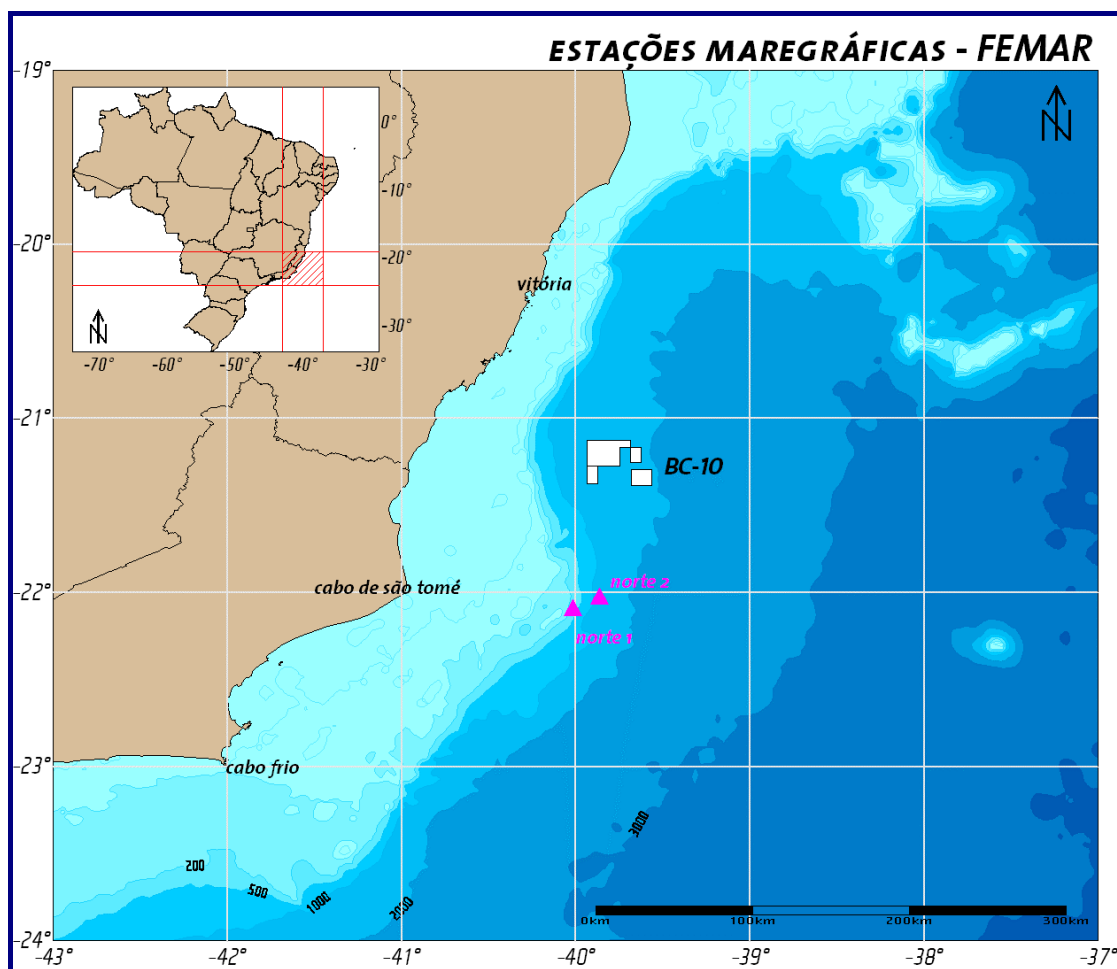


FIGURA II.5.1.2-10: POSICIONAMENTO DAS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS UTILIZADAS.

QUADRO II.5.1.2-5: VALORES DE AMPLITUDE E FASE DAS PRINCIPAIS COMPONENTES HARMÔNICAS, CALCULADAS PARA AS ESTAÇÕES MAREGRÁFICAS UTILIZADAS

COMPONENTE	NORTE 1		NORTE 2	
	AMPLITUDE	FASE	AMPLITUDE	FASE
Q1	2,2	57	2,7	77
O1	7,5	90	10,9	116
K1	3,8	166	6,5	177
N2	7,0	97	6,2	104
M2	37,8	90	42,0	98
S2	17,0	95	19,0	111
K2	4,5	90	4,6	84

FONTE: FEMAR



Para a região de interesse temos:

$$F1 = (3,8+7,5) / (37,8+17) = 0,206 \Rightarrow \text{maré semidiurna}$$

$$F2 = (6,5+10,9) / (42+19) = 0,285 \Rightarrow \text{maré mista predominantemente semidiurna}$$

Podemos calcular também, segundo a formulação de POND e PICKARD (1978), a média da amplitude das marés de sizígia, que nesse caso será:

$$2(M2+S2) = 109,6 \text{ cm para a estação Norte 1 e;}$$

$$2(M2+S2) = 122 \text{ cm para a estação Norte 2.}$$

Portanto, podemos classificar a maré da área do Bloco BC-10 como sendo semidiurna com desigualdade, apesar da estação Norte 1 apresentar-se como sem desigualdade. As amplitudes médias de maré de sizígia variam entre 109 a 122 cm.

Na **Figura II.5.1.2-11** apresenta-se um gráfico com a elevação da superfície do mar, calculada com as constantes harmônicas obtidas das duas estações, para o ano de 2003, com os valores máximos e os mínimos para cada série, identificados pelas linhas tracejadas.

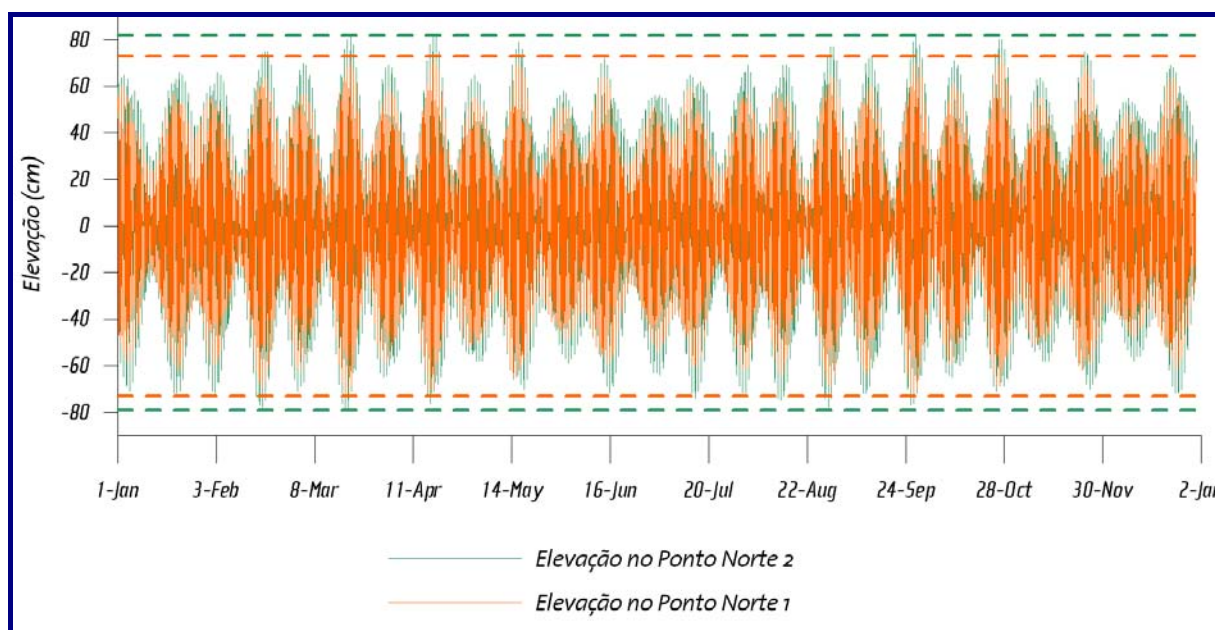


FIGURA II.5.1.2-11: ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR (CM) PARA O PERÍODO DE 2003.

FONTE: FEMAR

Observa-se que as máximas ocorrem no mês de março e setembro, para ambas as séries, sendo que os valores calculados para a estação Norte 2 são ligeiramente superiores. Na **Figura II.5.1.2-12** é apresentada a série de elevação para o mês de março de 2003.

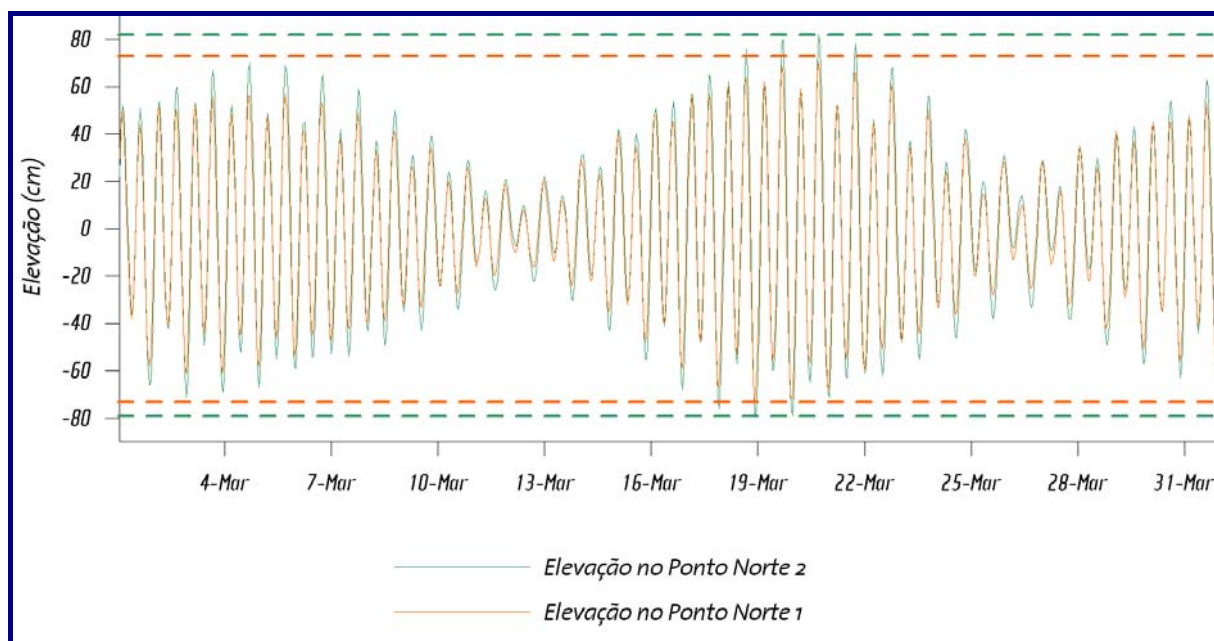


FIGURA II.5.1.2-12: ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR (CM) PARA O PERÍODO DE MARÇO DE 2003.
FONTE: FEMAR.

Como se observa na **Figura II.5.1.2-12** não há defasagem entre as séries ao longo do período analisado. A elevação máxima calculada com os dados da estação Norte 2 foi de 82 cm, enquanto que para a estação Norte 1 foi de 73 cm.

Regime de Correntes

O regime de correntes da região do Bloco BC-10 apresenta padrão de circulação complexo com velocidades e direções variáveis, ao longo da coluna d'água.

De fato, a falta de uma maior disponibilidade de dados de corrente distribuídos sazonalmente e medidos ao longo da costa brasileira com quantidade e duração suficientes, faz com que aspectos da dinâmica oceânica ainda não sejam bem dominados. Sabe-se que a circulação oceânica da região de estudo está sob a influência do giro subtropical do Atlântico Sul, que faz parte da circulação de larga escala, que ocorre nas bacias dos oceanos mundiais (STRAMMA, 1991). A Corrente do Brasil (CB) é a principal feição presente nas primeiras centenas de metros da região considerada neste estudo. Em linhas gerais, ela pode ser classificada como uma corrente de contorno oeste que flui do norte para o sul sobre a região da quebra da plataforma continental, desde a superfície até 500 m de profundidade, aproximadamente (PETERSON & STRAMMA, 1990; SILVEIRA et al, 2001). Porém, ainda não se conhece em detalhes a sua variabilidade espaço-temporal, embora hoje, já existam indicativos que tal variabilidade possa ser considerável.

Associadas à CB, existem feições transientes como *eddies* (feições meandranes) e vórtices, detectados por imagens de satélites e medições diretas (SCHMID et al., 1995).



Abaixo da CB há uma corrente fluindo em sentido oposto, a Contra Corrente Intermediária (CCI) (LIMA, 1997). A profundidade na qual a CCI flui parece variar entre 800 e 400 m, aproximadamente, dependendo da região.

A seguir serão apresentadas algumas estimativas de valores de transporte e de velocidade da Corrente do Brasil de acordo com os seguintes autores:

- EVANS *et al.* (1983) observaram a Corrente do Brasil fluindo através dos bancos mais próximos à costa, a partir de uma pesquisa batitermográfica (XBT) e um estudo hidrográfico realizado entre as latitudes de 19° S e 25° S, que permitiram localizar a corrente tanto ao norte quanto ao sul da cadeia Vitória-Trindade (20,30°S).

Nesse estudo, transportes geostróficos foram estimados para uma seção hidrográfica assumindo-se níveis de 500 e 1000 m. Valores de aproximadamente 3,8 Sv e 6,8 Sv ($1\text{Sv} = 10^6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) foram registrados para o transporte através do canal nos bancos, em 20° 28' S, relativos a 500 m e 1.000m, respectivamente, sendo a velocidade superficial observada igual a 0,52 m/s.

Utilizando-se relações T-S, também foram calculados transportes para seções de XBT, resultando em uma estimativa de 4,4 Sv para a latitude de 21° 40' S. A velocidade da corrente registrada nesta latitude foi de 0,61 m/s.

- LIMA (1997) calculou o transporte para sul da Corrente do Brasil como sendo de $2,2 \pm 5,5$ Sv na latitude de 22° S, estando de acordo com as estimativas do transporte geostrófico feitas anteriormente para a região.
- SIGNORINI *et al.* (1978) - Para obter informações sobre a variação espacial da estrutura térmica e localizar a Corrente do Brasil, ao norte e ao sul dos bancos submarinos da Cadeia Vitória-Trindade (20°30' S), realizou-se, em abril de 1982, um levantamento oceanográfico na região.

A estrutura da corrente e o transporte de volume, relativos aos 500 m de profundidade, foram obtidos usando-se dados hidrográficos e também medidas com XBT. O balanço do transporte de volume, através de todas as seções entre 19° S e 22° S, indicou que a Corrente do Brasil flui através da passagem entre os bancos localizados mais próximos da costa. O transporte de volume resultante obtido foi de 2,9 Sv.

Um resumo dos resultados obtidos a partir do levantamento bibliográfico pode ser observado no **Quadro II.5.1.2-6**.



QUADRO II.5.1.2-6: VALORES DE VELOCIDADE E TRANSPORTE DA CORRENTE DO BRASIL
OBTIDOS DA BIBLIOGRAFIA

LATITUDE	DATA	PROFUNDIDADE DE REFERÊNCIA (M)	TRANSPORTE (Sv)	VELOCIDADE (M/S)	REFERÊNCIA
20° 28' S	04/1982	500 a 1000	3,8 a 6,8	0,52	Evans <i>et al</i> (1983)
20° 30' S	04/1982	500	2,9	-	Signorini <i>et al</i> (1989)
21° 40' S	04/1982	500	4,4	0,61	Evans <i>et al</i> (1983)
22°	02/1994 a 05/1995	-	5,5 ± 2,2	-	Lima (1997)

Para auxiliar a caracterização das correntes em superfície foram utilizados dados obtidos por bóias de deriva do Projeto Nacional de Bóias (PNBOIA), contribuição brasileira ao *Global Ocean Observing System* (GOOS), gerenciado pelo Instituto Nacional de Pesquisas espaciais (INPE) e pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Os dados transmitidos pelas bóias são disponíveis na rede no endereço www.dsr.inpe.br/pnboia/pnboia.html.

Para as análises realizadas neste relatório, foram selecionadas as bóias que passaram pelo bloco ou por região próxima. Os dados analisados foram obtidos de cinco bóias (sendo uma ainda ativa) lançadas nos anos de 1999, 2002 e 2003. As trajetórias das bóias analisadas podem ser observadas na **Figura II.5.1.2-13** e os vetores de corrente na **Figura II.5.1.2-14**.

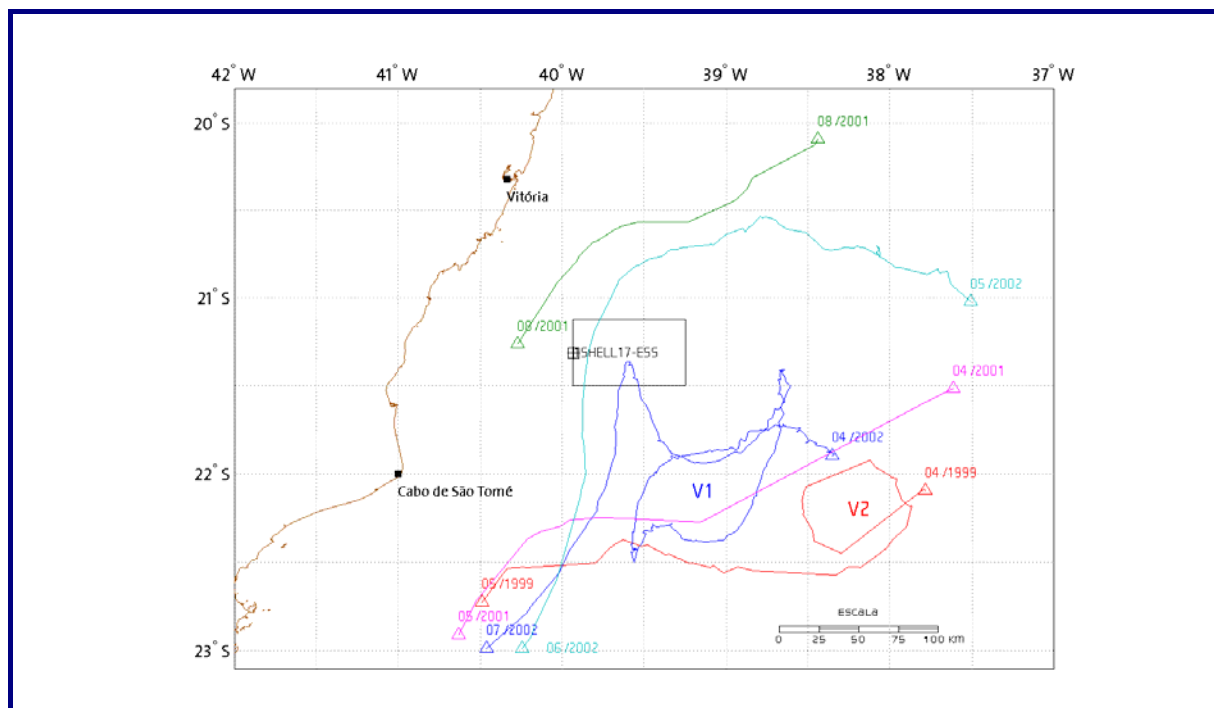


FIGURA II.5.1.2-13: TRAJETÓRIA DAS BÓIAS ANALISADAS.

FONTE: PNBOIA.

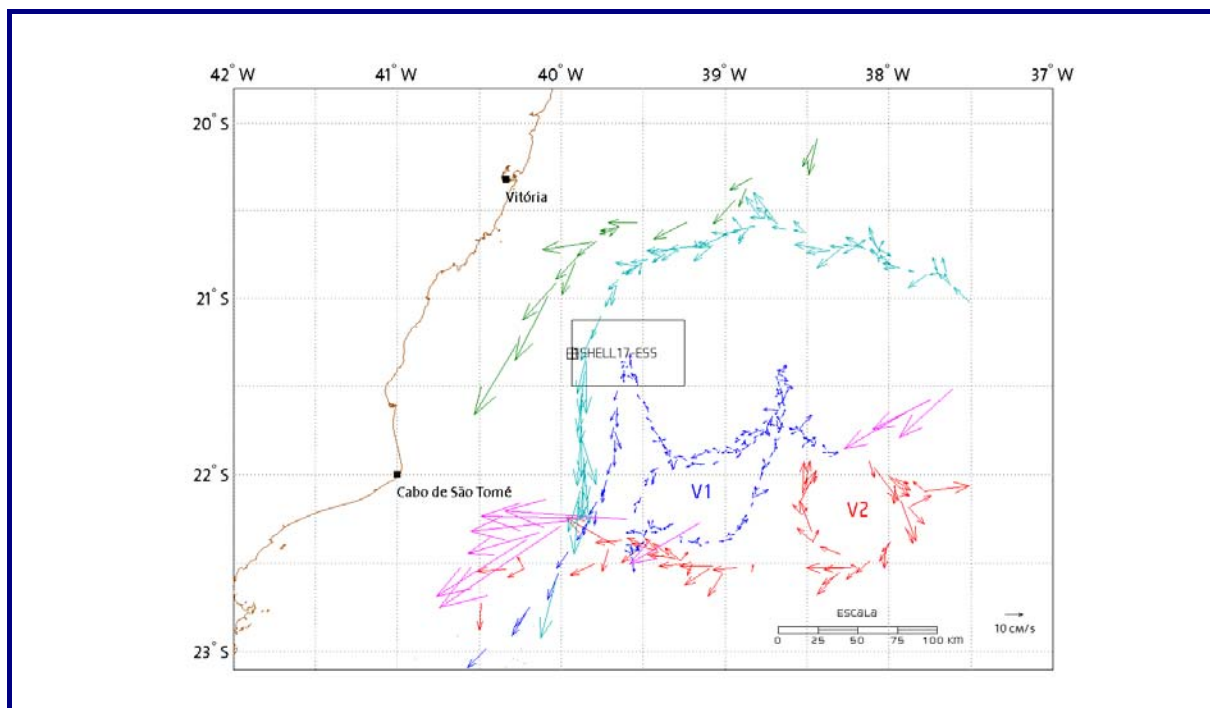


FIGURA II.5.1.2-14: VETORES DE CORRENTES ASSOCIADOS ÀS TRAJETÓRIAS DE CADA BÓIA.
FONTE: PNBOIA.

Nota-se a presença de dois vórtices (V1 e V2) a sudeste do bloco. O vórtice V1 foi detectado entre as latitudes de 22° S e 22° 30' S e as longitudes de 038° 30' W e 038° W nos meses de abril e maio de 1999. Possui cerca de 50 km de diâmetro e as velocidades encontradas em seu redor são de aproximadamente de 0,2 m/s. O vórtice V2 encontra-se entre as latitudes de 21° 48' S e 22° 24' S e longitudes de 039° 36' W e 038° 36' W nos meses de abril a junho de 2002. Seu diâmetro é de aproximadamente 100 km, com velocidades registradas em torno de 0,15 m/s.

Todas as bóias foram lançadas a leste da longitude de 038° W e descreveram, de modo geral, uma trajetória resultante com direção oeste e velocidades em torno de 0,1 a 0,2 m/s até atingirem a região entre as longitudes entre 039° e 039° 30' W. A partir desse ponto, passam a derivar rumo a sudoeste. Nessa região as velocidades tendem a aumentar atingindo velocidades superiores a 0,5 m/s. Pode-se observar na **Figura II.5.1.2-15**, que mostra a variação da velocidade em relação à longitude, um aumento da velocidade à medida que a bóia dirige-se para longitudes menores que 030° 30' W. Nota-se também um aumento da velocidade em latitudes maiores que 22° S. Esse comportamento pode ser creditado à entrada dos derivadores na região, onde a Corrente do Brasil possui fluxo mais intenso, com velocidades em torno de 0,5 m/s e rumo sudoeste.

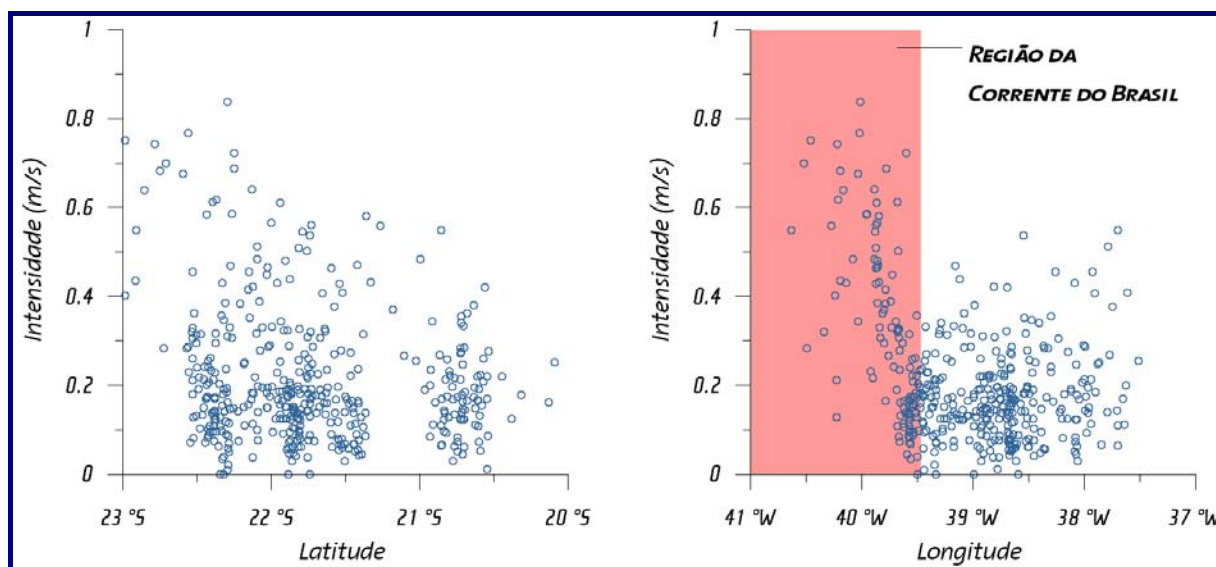


FIGURA II.5.1.2-15: GRÁFICOS DE DISPERSÃO DOS VALORES DE INTENSIDADE DE CORRENTES EM LATITUDE E LONGITUDE.
FONTE: PNBOIA.

Pode-se concluir então, baseado nos dados analisados, que as correntes superficiais na região do Bloco BC-10 apresentam duas regiões distintas, uma a leste de 039° 30' W com direção predominante para oeste e velocidades em torno de 0,2 m/s; e outra a oeste de 039° 30' W, sob a influência da Corrente do Brasil, com velocidades em torno de 0,5 m/s (intensificando-se ao sul de 22° S) e direção SW. Outro fator importante a se destacar é a presença de vórtices nas proximidades do bloco, registrados em dois anos distintos, mas em localidades próximas e com características semelhantes.

O primeiro trabalho oceanográfico de importância sobre a circulação observada na região publicado na literatura aberta, mostrou a ocorrência de um vórtice ciclônico na região sem uma relação direta com a CB. Ele foi documentado durante o mês de fevereiro de 1991, sendo este hoje conhecido como o Vórtice de Vitória (**Figura II.5.1.2-16**). Suas características (inclusive a circulação geral na área) foram estudadas de maneira completa por ocasião de um cruzeiro oceanográfico (SCHMID et al., 1995). Neste estudo, que utilizou dados de CTD, XBT, de derivadores (bóias) “ancorados” em torno de 100 m de profundidade, e imagens de temperatura da superfície obtidas por satélites da série NOAA, a circulação das águas devidas ao fluxo da Corrente do Brasil (CB) foi determinada como se situando a leste do vórtice. A assinatura termal de superfície deste vórtice foi também estudada, indicando temperaturas mais baixas no seu interior. Os dados hidrográficos indicaram a circulação ciclônica de 50 m até uns 200 m, com velocidades de até 50 cm/s. As temperaturas em seu interior estavam em torno de 19°C, sendo 8° C mais frias do que as águas da Corrente do Brasil.

No entanto, este estudo pode ser considerado pontual no tempo, não esclarecendo se o vórtice é ou não episódico.

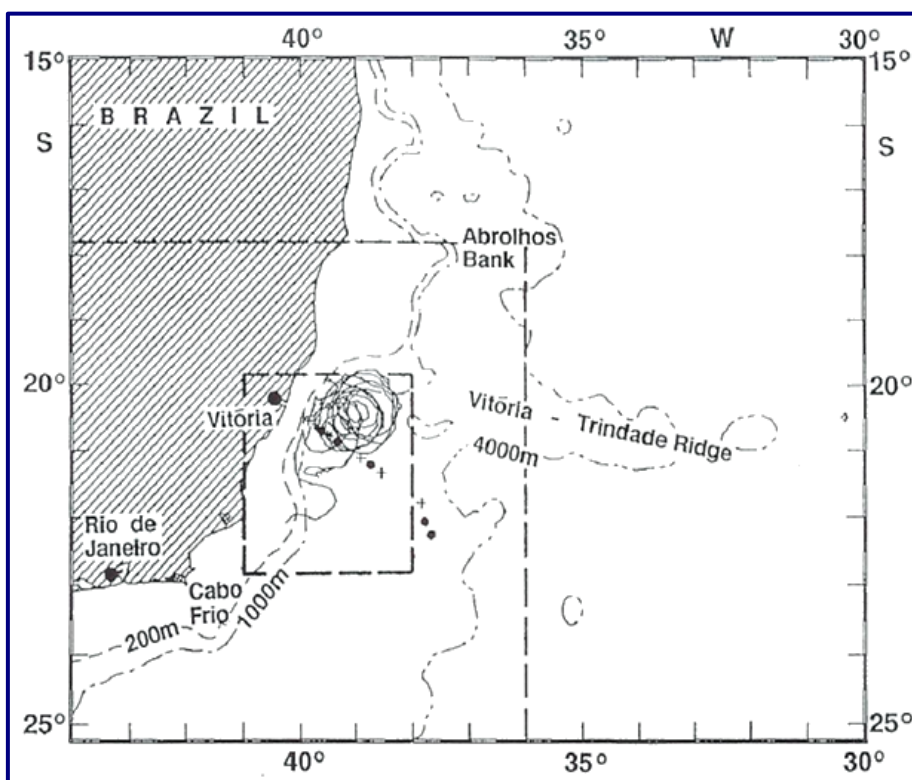


FIGURA II.5.1.2-16: LOCALIZAÇÃO DO VÓRTICE DE VITÓRIA EM FEVEREIRO DE 1991.
RETIRADO DE SCHIMD ET AL. (1995).

Observações adicionais utilizando dados das trajetórias de derivadores, especialmente os que têm sido lançados pelo Brasil através do Programa PNBOIA (ASSIREU et al., 2005), sugerem uma alta variabilidade da circulação na área do Bloco BC-10.

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

Os dados obtidos por sensores a bordo de satélites, que operam na faixa do infravermelho como os AVHRR da série de satélites NOAA, mapeiam os campos de temperatura da superfície do mar (TSM) em áreas livres de cobertura de nuvens, com resolução espacial de 1 km. Apesar da TSM ser muito utilizada como traçador para caracterizar, qualitativamente, a presença de vórtices e meandros da circulação, ela não é adequada para se obter estimativas de sistemas de correntes.

Os satélites altimétricos, por se basearem em dados de RADAR (microondas), fornecem dados que independem de cobertura de nuvens. A partir do ano de 2000, dados de pelo menos 3 satélites altimétricos, operando simultaneamente, passaram a ser disponibilizados e atualizados diariamente na rede Internet, viabilizando a geração de produtos oceanográficos. Desde 1998, vários trabalhos indicam a necessidade de se obter dados de pelo menos 2 satélites para monitoramento e estudo de feições de mesoescala.



EcologyBrasil
Ecology and Environment do Brasil

Ecologus
Engenharia Consultiva

Campos de circulação geostrófica produzidos através do uso de dados altimétricos, pela VM Oceânica Ltda., reproduzem ocorrências de vórtices ciclônicos do tipo descrito por SCHMID et al. (1995), mas igualmente vórtices anticiclônicos, e outras feições, consistentes com as que são sugeridas pelas observações das trajetórias de derivadores.

Os campos de circulação, aqui descritos, se correlacionam melhor com as correntes médias diárias medidas entre a superfície e o nível da termoclina (200 m). Eles foram estimados a partir dos dados colineares de 3 satélites altimétricos: JASON, *Geosat Follow-On* (GFO) e ENVISAT. Eles possuem resolução espacial de aproximadamente 14 km e temporal de um dia entre 2002 e 2004, o que permite uma caracterização estatística das correntes variáveis que ocorrem no Bloco BC-10. Uma melhor descrição sobre a metodologia envolvida na estimativa destes campos pode ser obtida em VIANNA e MENEZES (2005).

O estudo dos dois anos de dados diários permitiu constatar que a circulação oceânica na área ocupada pela BC-10 é dominada por vórtices e turbulência de mesoescala, nem sempre ligados ao fluxo de água para SW devido a CB. No caso específico da ocorrência de vórtice ciclônico, a massa de água dominante pode ter sua origem na zona costeira.

Para ilustrar as escalas de turbulência de mesoescala que dominam a região, é apresentada na **Figura II.5.1.2-17** a série temporal para 2003 da componente N-S da corrente, e na **Figura II.5.1.2-18**, para a componente E-W. Pode-se observar a presença de fortes oscilações submensais, com amplitudes em torno de 30 cm/s, indicando a dominância de vórtices e turbulência de mesoescala.

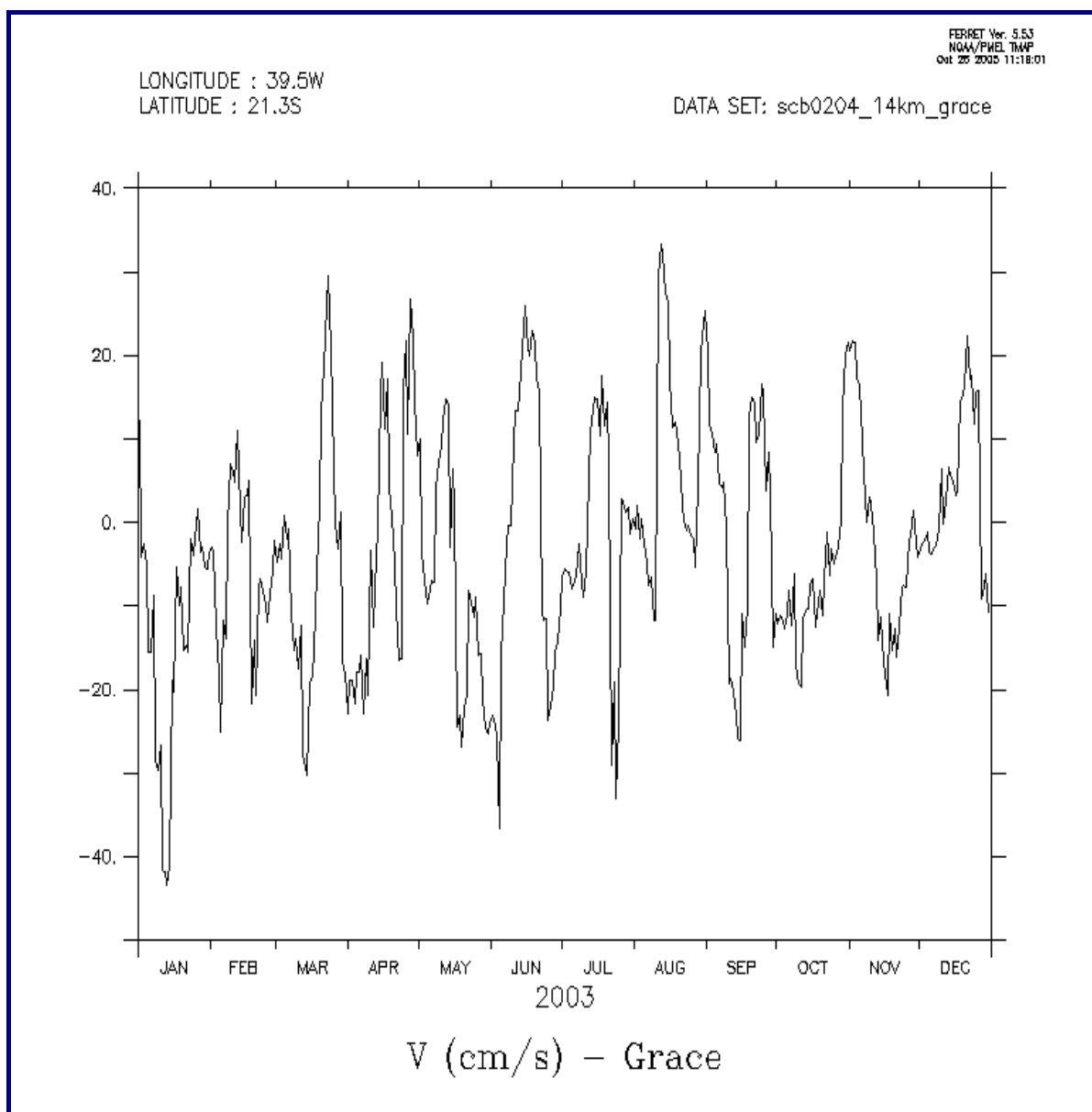


FIGURA II.5.1.2-17: SÉRIE TEMPORAL DE CORRENTE MERIDIONAL (V) SUPERFICIAL NA REGIÃO DO BLOCO BC-10, OBTIDOS POR DADOS ALTIMÉTRICOS MULTISSATÉLITES.

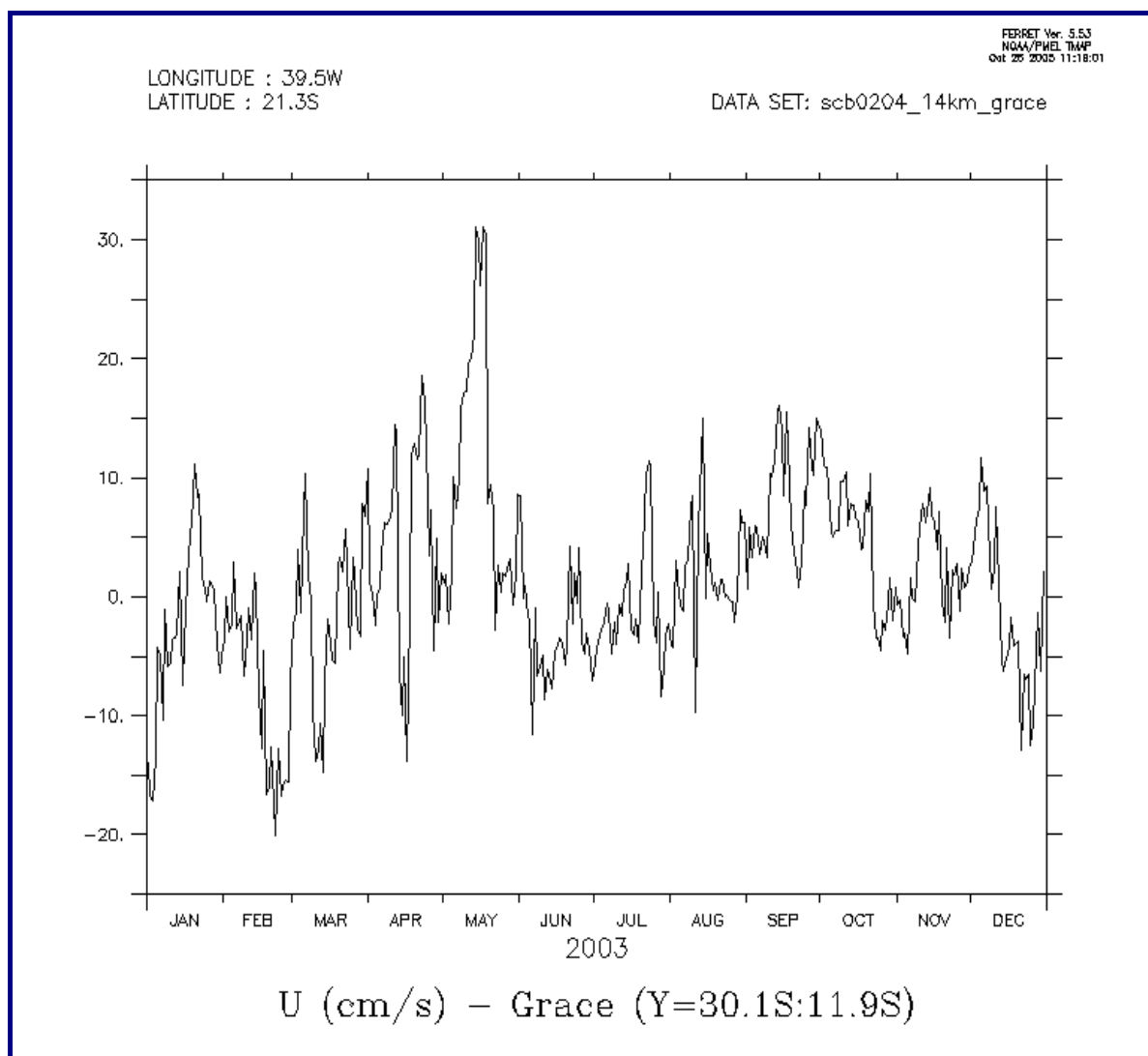


FIGURA II.5.1.2-18: SÉRIE TEMPORAL DE CORRENTE ZONAL (U) SUPERFICIAL NA REGIÃO DO BLOCO BC-10, OBTIDOS POR DADOS ALTIMÉTRICOS MULTISSATÉLITES.

Outra análise possível com os dados derivados de satélite é a caracterização da variabilidade das feições de mesoescala, ou seja, os períodos de variação das correntes, como a Corrente do Brasil. Através dessa análise (**Figura II.5.1.2-19**) obtiveram-se os seguintes resultados por faixas de períodos:

- O período chamado de Intrasazonal, definido como períodos menores que 150 dias, explica 70 % da variância das correntes. Dentro dessa banda, os períodos principais são de 17,6 dias, 22 dias e 36 dias.
- Os períodos contidos na banda Semianual, com períodos entre 150 e 200 dias explica 2% da variância. Já a banda Anual, com períodos variando de 200 a 400 dias contém 6,5% da variância. Os períodos maiores que 400 dias (banda Interanual), explicam 20,7% da variância.



Isto significa que as correntes podem mudar de direção em alguns dias, dependendo da aproximação ou aparecimento de vórtices ou meandros, sendo que de um ano para o outro pode existir uma variação significativa no seu comportamento.

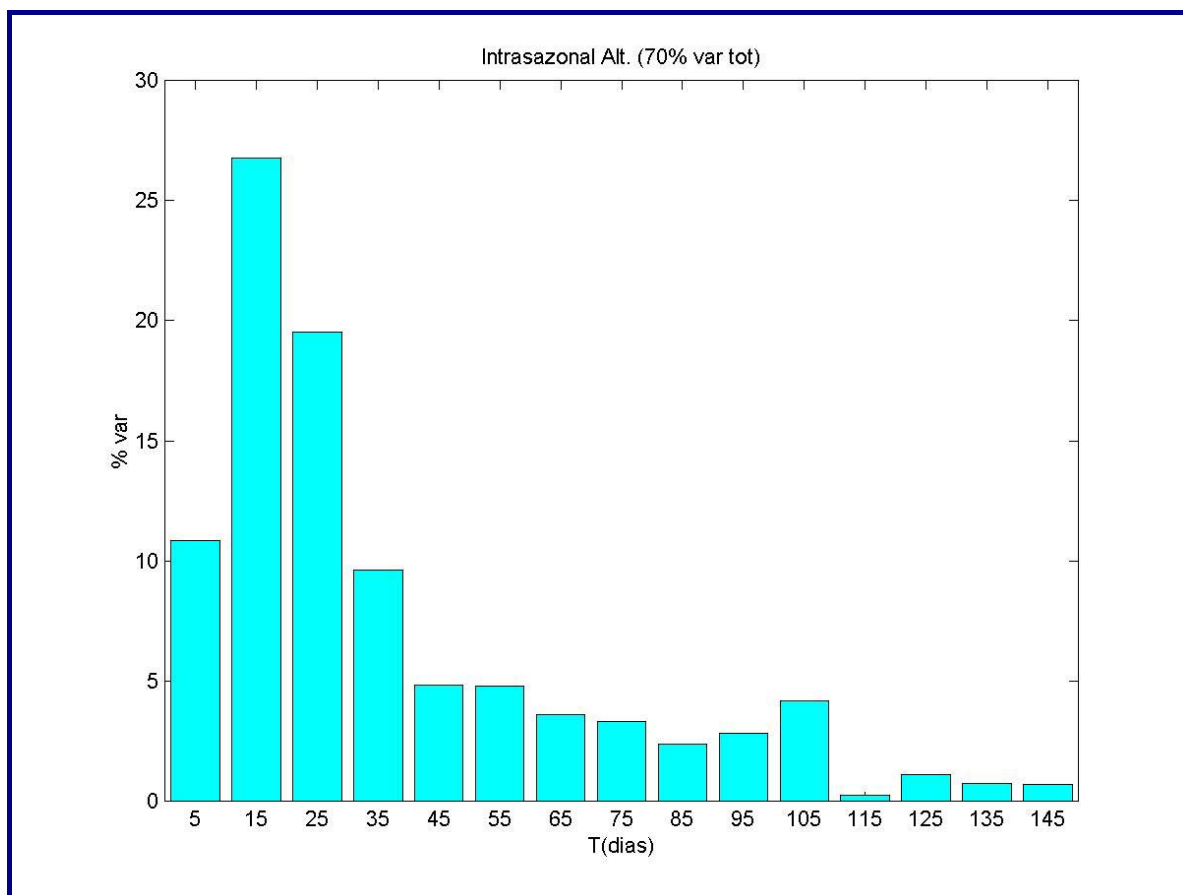


FIGURA II.5.1.2-19: HISTOGRAMA NA BANDA INTRASAZONAL INDICANDO FAIXAS DE VARIABILIDADE DE FEIÇÕES DE MESOESCALA NA REGIÃO, INCLUINDO VÓRTICES, OBTIDO PELA ANÁLISE DE DOIS ANOS DE DADOS DIÁRIOS

Para a análise das correntes em profundidade foram utilizados dados registrados em áreas adjacentes, obtidos do Programa *Current Meter Data* do *World Ocean Circulation Experiment (WOCE)* da *Oregon State University*. A base de dados do WOCE contempla dois arranjos de linhas de fundeios na bacia sudeste do Brasil, em lâminas d'água compatíveis com a do Bloco BC-10. O arranjo ACM12 que contém o fundeio 333, localizado na latitude 27.902° S e longitude 046.704° W, e o arranjo ACM24 que contém o fundeio 1, localizado na latitude de 18.87° S longitude 037.796° W, são demonstrados na **Figura II.5.1.2-20**.



EcologyBrasil
Ecology and Environment do Brasil

Ecologus
Engenharia Consultiva

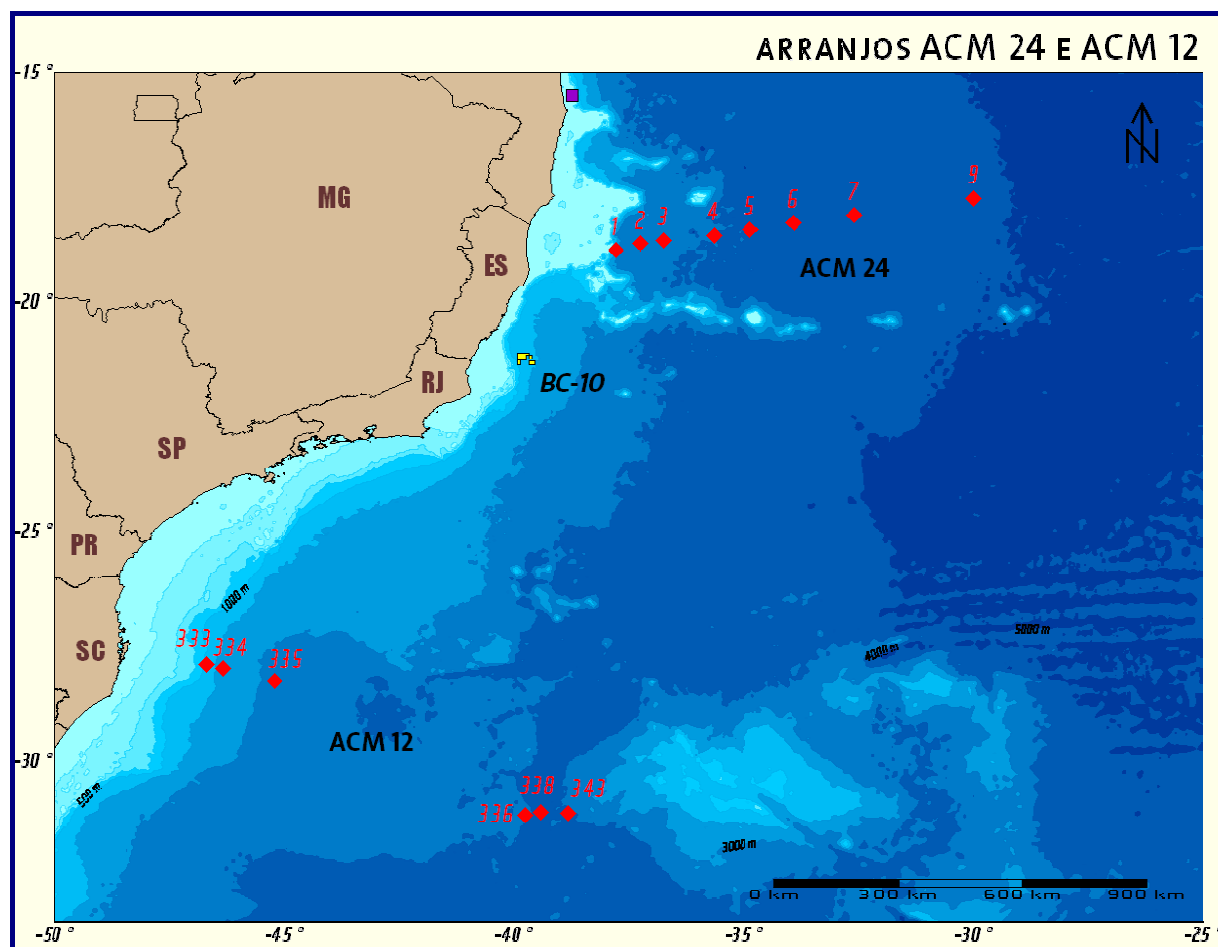


FIGURA II.5.1.2-20: LOCALIZAÇÃO DOS ARRANJOS ACM12 E ACM24 DO WOCE

Pelo critério de distância, os fundeios do arranjo ACM24 seriam mais adequados para utilização nesse estudo, pois suas distâncias em relação ao Bloco BC-10 são menores do que a do ACM12.

No entanto, esses fundeios são influenciados pela topografia de fundo peculiar da Cadeia Vitória-Trindade e da formação Royal Charlotte, o que pode causar diferenças importantes em relação às correntes na região do Bloco BC-10. A rosa de correntes, elaborada com esses dados, é apresentada na **Figura II.5.1.2-21**.

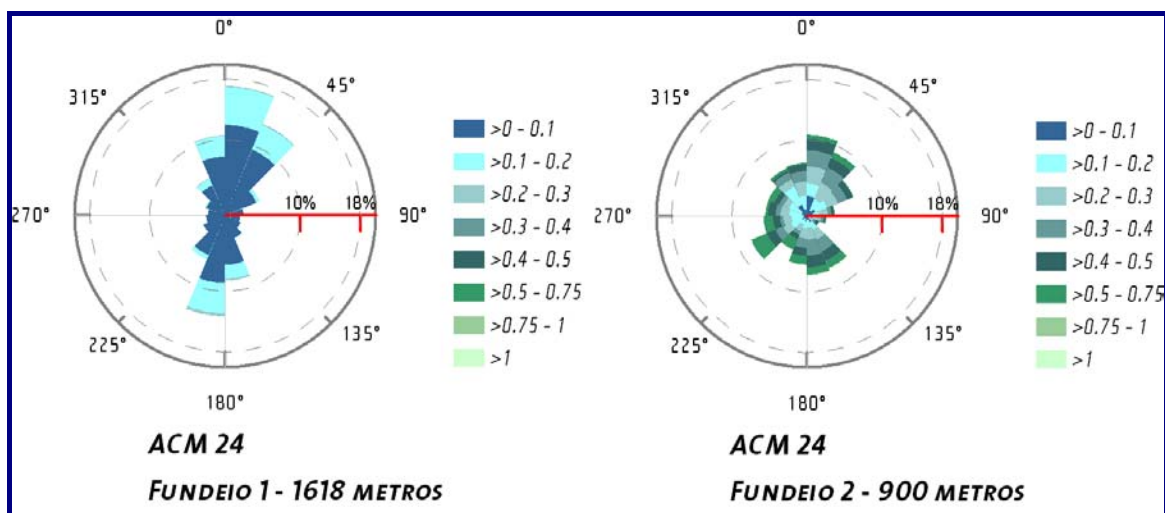


FIGURA II.5.1.2-21: ROSA DE CORRENTES ELABORADA COM OS DADOS DO ARRANJO ACM24 DO WOCE

O fundeio 2, a 900 metros, apresenta uma variação de quase 360° no sentido das correntes predominantes, impedindo a caracterização de um sentido preferencial. O fundeio 1, a 1618 metros, sugere um eixo principal para o fluxo como sendo NNE/SSW. Porém, a intensidade das correntes próximas ao fundo é, em sua grande maioria, inferior a 0,1 m/s. Logo, a influência destas correntes na advecção é muito pequena, prevalecendo no transporte o grande desvio-padrão das correntes dos níveis superiores.

A utilização do fundeio 333 do arranjo ACM12 embora mais distante, parece ser mais adequada nesse caso, em virtude da maior semelhança das características geográficas em relação à região do BC-10. Variações na estrutura vertical das correntes do fundeio 333 em relação à área de influência devem ocorrer, principalmente, na profundidade da inversão dos fluxos da Contra Corrente Intermediária (CCI), que no fundeio 333 devem ser mais profundas. Porém, em virtude da carência de dados de correntes oceânicas na costa brasileira, entende-se que a utilização de dados coletados por mais de um ano e de qualidade indiscutível, mesmo que distantes da região, justificam sua utilização para caracterização de correntes mais profundas, que não estão sujeitas às forçantes com variabilidade de alta frequência, como ocorre na superfície do oceano.

Na **Figura II.5.1.2-22** apresenta-se a rosa de correntes elaborada com esses dados.

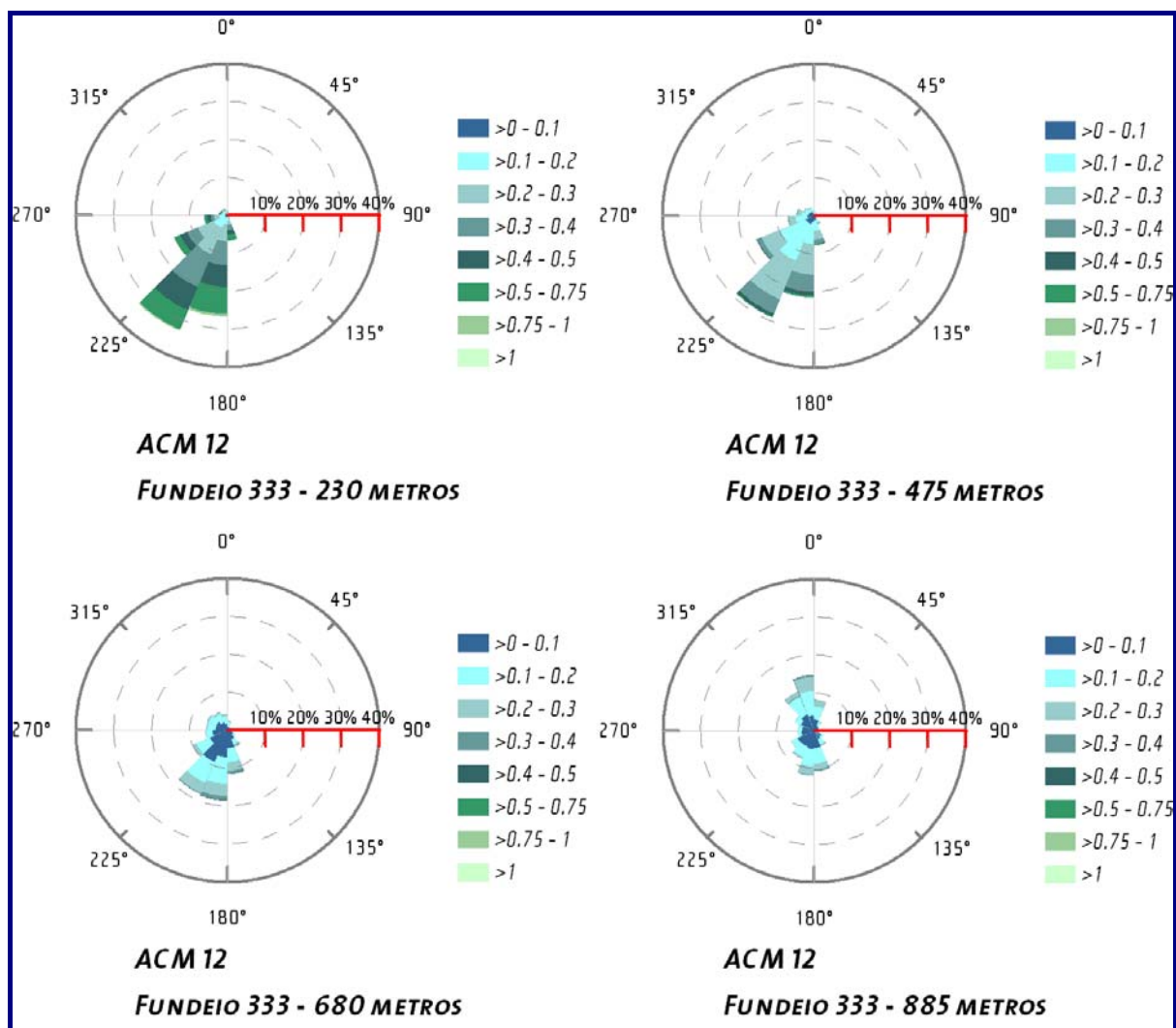


FIGURA II.5.1.2-22: ROSA DE CORRENTES ELABORADA COM OS DADOS DO FUNDEIO 333 DO ARRANJO ACM12 DO WOCE.

Observa-se que até a profundidade de 680 m, rumo predominante das correntes é S/SW, com a intensidade diminuindo gradativamente com o incremento da profundidade, representando o fluxo da Corrente do Brasil e o fluxo associado à Água Central do Atlântico Sul.

Na rosa referente à profundidade de 885 m, observa-se que as correntes mais frequentes apresentam rumo NW/N, referentes ao fluxo associado ao núcleo da Água Intermediária Antártica.

➤ **Circulação Hidrodinâmica na Plataforma Continental:**

Mesmo o Bloco BC-10 estando localizado em uma região fora da plataforma continental, será caracterizada a circulação hidrodinâmica sobre esta por ser uma possível área de influência.

Na plataforma continental da região, a circulação hidrodinâmica é caracterizada por um fluxo menos intenso do que o que ocorre na quebra da plataforma e no



talude, onde atua a Corrente do Brasil. A direção das correntes é predominantemente para sul/sudoeste, porém apresentando inversões anticiclônicas, principalmente associadas à passagem de sistemas frontais (CASTRO & MIRANDA, 1998).

SOUZA, (2000) analisando dados do fundeio, situado na Bacia de Santos sobre a isóbata de 100m, indica que as frequências subinerciais dominam a variabilidade temporal da velocidade (entre os períodos de 3 a 14 dias). As correntes máximas não ultrapassaram 0,54 m/s e a velocidade mais freqüente foi de cerca de 0,10 m/s. A variabilidade das correntes é bastante alta, traduzida por valores de desvio-padrão das componentes meridional e zonal comparáveis às médias.

Esta autora também indica que a circulação da plataforma sofre maior influência de forçantes atmosféricas do que a região mais profunda, e que, principalmente no inverno, o fluxo com direção NE é comparável ao de direção SW, por causa das inversões constantes de sentido, causada pela passagem de sistemas frontais.

➤ Condições Extremas:

Conforme descrito no **Item II.5.1.1** (Meteorologia), a região sudeste do Brasil é, freqüentemente influenciada pela passagem de sistemas frontais. A influência desses sistemas no oceano é expressa em alterações substanciais no regime hidrodinâmico, seja em função de efeitos locais ou de fenômenos sinóticos, tais como a chegada de grandes ondulações geradas em altas latitudes.

Com relação às modificações nas correntes marinhas em função de eventos extremos, SOUZA (2000) indica que as passagens de sistemas frontais podem causar inversões anticiclônicas de corrente na plataforma continental, associadas à passagem de frentes frias, que atingem profundidades de 30 e 90 m e causam queda da temperatura, além de um enfraquecimento das correntes, sensível até profundidades de 100 m. As simulações hidrodinâmicas, apresentadas por FRAGOSO (2004), sugerem que na quebra da plataforma e no talude a passagem de sistemas frontais na costa SE brasileira impinge uma redução de intensidade à Corrente do Brasil, porém, não causando inversão no sentido do fluxo, na maioria das vezes. A diminuição da intensidade e alteração do sentido da Corrente do Brasil em conjunto com a presença de ventos do quadrante S/SW podem vir a transportar o óleo de uma ocorrência acidental em direção à costa, caracterizando o cenário crítico.

O mês de setembro apresentou o maior número de passagens de sistemas frontais na região do Bloco BC-10. Nessas situações é também freqüente a ocorrência de ondulações de quadrante S/SW, relacionadas ao desenvolvimento e evolução de ciclones extratropicais em altas e médias latitudes. Esses eventos estão associados às diferentes situações de mar, como descritas no relatório, com base nos trabalhos de VIOLANTE DE CARVALHO (1998) e SEIXAS (1997).



Os dados de ondas do BNDO mostram ainda que no mês de setembro, a ocorrência de ondas com alturas entre 2 a 2,5 m é superior a 10%, como mostra a **Figura II.5.1.2-7**, sendo este o maior índice registrado para essa classe de alturas nos dados analisados.

Observa-se no entanto, que as ocorrências de alturas superiores a 2 m, estão correlacionadas a situações de *swell* ou dos chamados mares quase-locais de S/SW. Em ambos os casos, a geração de ondas está diretamente ligada à evolução do ciclone e do sistema frontal associado.

Com base nos dados analisados, pode-se considerar setembro como sendo o mês mais propício à ocorrência de situações climáticas de maior energia na região.

II.5.1.2.3 Conclusões

A análise dos dados oceanográficos da região adjacente ao Bloco BC-10, na Bacia de Campos, mostrou a presença de todas as massas d'água apresentadas por SILVA et al (1982). Foram ainda encontradas variações sazonais bem marcadas nos perfis de temperatura e salinidade, para os períodos de inverno e verão.

A análise do clima de ondas da região mostrou a presença de duas situações bem distintas na geração da ondulação. A geração de mar local de quadrante NE pela presença do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e a geração de *swell* de SW/S/SE pela evolução de ciclones extratropicais no extremo sul do Atlântico. Estes últimos podem ainda se deslocar até próximo à região de interesse gerando outro tipo de mar local, caracterizado também por ondas de direção S.

Os dados de correntes mostram que a região é influenciada principalmente pela Corrente do Brasil, sujeita à variabilidade espaço-temporal dos vórtices associados. Até aproximadamente 400 m de profundidade, o fluxo tem direção preferencial para SW; a partir dessa profundidade há uma inversão no sentido das correntes, devido ao transporte da Contra Corrente Intermediária (CCI), que flui em direção ao Equador.

O efeito conjunto do aumento de passagens de frentes frias, da elevação do nível do mar, das ondas e dos ventos na região, indica que no mês de setembro ocorrem as situações climáticas de maior energia na área de interesse.