

ÍNDICE

II.5 - DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	3
II.5.1 - MEIO FÍSICO	3
II.5.1.1 - Meteorologia	3
II.5.1.1.1 - Considerações Gerais	3
II.5.1.1.2 – Temperatura do ar	4
II.5.1.1.3 - Precipitação e Evaporação	7
II.5.1.1.4 – Umidade Relativa do Ar	9
II.5.1.1.5 – Pressão Atmosférica	9
II.5.1.1.6 – Regime de Ventos	11
II.5.1.1.7 - Sistemas Frontais	20
II.5.1.2 - Oceanografia	23
II.5.1.2.1 - Considerações Gerais	23
II.5.1.2.2 – Caracterização Termohalina	25
II.5.1.2.3 - Massas D'água	28
II.5.1.2.4 -Regime de Ondas	31
II.5.1.2.5 - Regime de Marés	54
II.5.1.2.6 - Regime de Correntes	57
II.5.1.2.7 -Condições Extremas	61
II.5.1.3 - Qualidade da Água	64
II.5.1.3.1 - Introdução	64
II.5.1.3.2 - Caracterização da Qualidade da Água	65
II.5.1.4 - Qualidade do Sedimento	87
II.5.1.4.1 - Granulometria	87
II.5.1.4.2 - Carbono, Nitrogênio, Fósforo e Matéria Orgânica	91
II.5.1.4.3 - Metais	94
II.5.1.4.4 - Hidrocarbonetos	96
II.5.1.5 - Geologia e Geomorfologia	100
II.5.1.5.1 – Introdução	100
II.5.1.5.2 – Arcabouço Estrutural da Bacia de Campos	101

II.5.1.5.3 – Estratigrafia da Bacia de Campos _____	102
II.5.1.5.4 – Fisiografia da Bacia de Campos _____	108
II.5.1.5.5 – Área da Concessão de Badejo _____	109
II. 5.1.5.5.1 – Arcabouço Estrutural _____	111
II. 5.1.5.5.2 – Estratigrafia _____	112
II. 5.1.5.5.3 – Fisiografia _____	118
II. 5.1.5.5.4 – Faciologia dos Sedimentos _____	120
II. 5.1.5.5.5 – Caracterização Geotécnica _____	120

II.5 - DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

O estudo a seguir tem como objetivo apresentar o Diagnóstico Ambiental da Atividade de Produção para Pesquisa do Reservatório Membro Siri, Concessão de Badejo, visando à obtenção de dados (valores de permeabilidade efetiva do reservatório, comportamento do aquífero, caracterização do fluido e características deste como elevação, escoamento e processamento) a serem utilizados no estudo de viabilidade técnica e econômica de um sistema definitivo de produção e nos estudos de desenvolvimento da tecnologia de produção de óleo extra pesado.

II.5.1 - MEIO FÍSICO

II.5.1.1 - Meteorologia

II.5.1.1.1 - Considerações Gerais

Para a caracterização meteorológica da região do empreendimento, foram utilizados dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Marinha do Brasil, do Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do *Climate Diagnostics* NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) e NCAR (*National Center for Atmospheric Research*) disponibilizados pelo CDC (*Climate Diagnostics Center*) da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

Os dados do INMET correspondem às Normais Climatológicas, que fornecem médias mensais de parâmetros meteorológicos pelo período de 30 anos, caracterizando a distribuição dos dados dentro de uma faixa de incidência habitual. Neste diagnóstico são apresentadas as normais climatológicas obtidas da estação do Rio de Janeiro para os períodos de 1931 a 1960 e 1961 a 1990.

Os dados do BNDO foram coletados no período de 1958 a 2002, ao longo da rota dos navios (mensagens tipo *ship*), o que lhes imprime características de aleatoriedade espacial e temporal. Estes são apresentados como um agrupamento espacial obedecendo à divisão geográfica de quadrados e sub-quadrados de Marsden. No entanto, a análise destes dados permite caracterizar sazonalmente as variações dos parâmetros apresentados.

Além da descrição dos parâmetros meteorológicos (ventos, temperatura e precipitação), foram analisados os dados de freqüência de passagem de sistemas frontais da Climanálise do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais (INPE).

II.5.1.1.2 – Temperatura do ar

Na Figura II.5.1-1 são apresentados os valores médios, máximos e mínimos de temperatura obtidos das Normais Climatológicas do INMET (1961 a 1990) para a estação meteorológica do Rio de Janeiro e valores médios obtidos do BNDO (dados do período de 1963 a 1997). As maiores temperaturas médias do ar ocorrem no verão (fevereiro), em torno dos 26,5°C e, as menores, no inverno (julho), em torno dos 20,5°C.

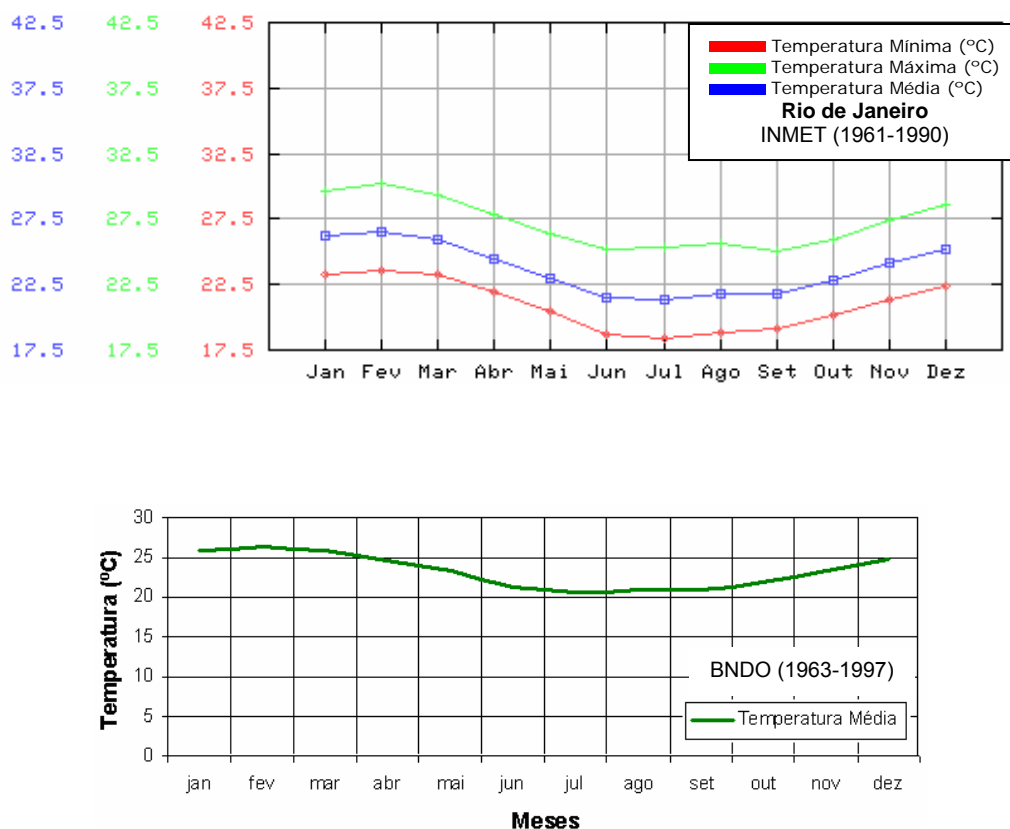


Figura II.5.1-1 - Temperatura do ar na área de influência. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br>, acessado em 2006) e BNDO.

Na Figura II.5.1-2 são apresentadas as temperaturas médias mensais para a região do empreendimento. Os dados utilizados para elaborar esta

figura (gráfico de barras) foram obtidos de hora em hora no período de janeiro de 2004 a agosto de 2006 na UEP PCE-1, localizada na Bacia de Campos. Estes dados apresentaram um padrão geral de distribuição similar ao das Normais Climatológicas do INMET, apresentadas acima, com temperaturas médias mais elevadas no verão (fevereiro/março – em torno de 26,4 °C) e temperaturas mais amenas no inverno (julho – em torno de 22,4 °C). Verifica-se também a ocorrência de temperaturas elevadas se estendendo até abril, em torno de 26 °C, e um decréscimo a partir de maio até o início da primavera, mais precisamente no mês de setembro, com valores em torno de 21,9 °C.

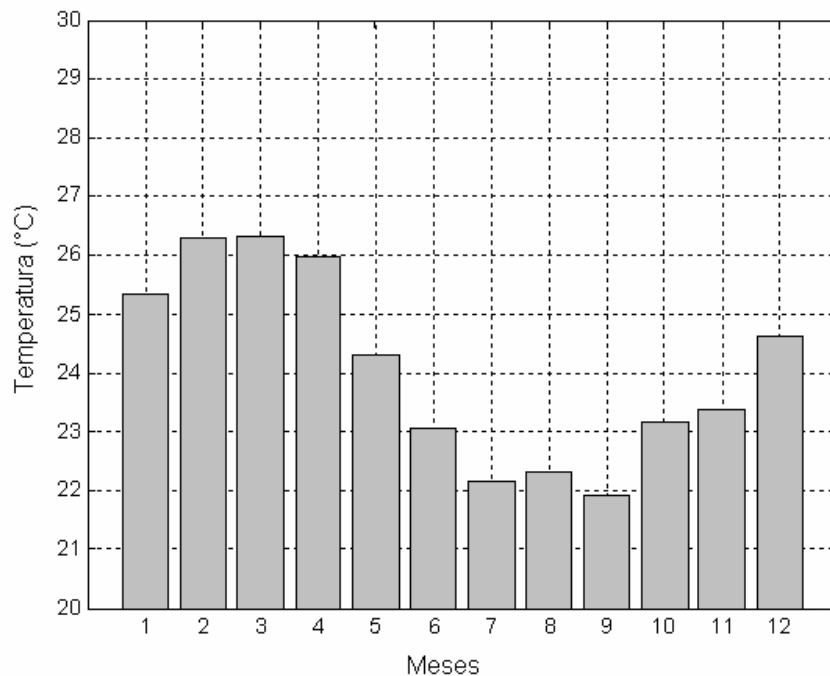


Figura II.5.1-2 – Temperaturas médias mensais no período de 2004 a 2006 obtidas na UEP PCE-1, região sul da Bacia de Campos. Fonte: OCEANOP (PETROBRAS - US-SUB/GDS)

A região em estudo possui temperaturas mais elevadas que as demais regiões próximas na mesma latitude, durante o ano todo, embora essa diferença seja ainda mais marcante durante o período do verão (Figura II.5.1.3).

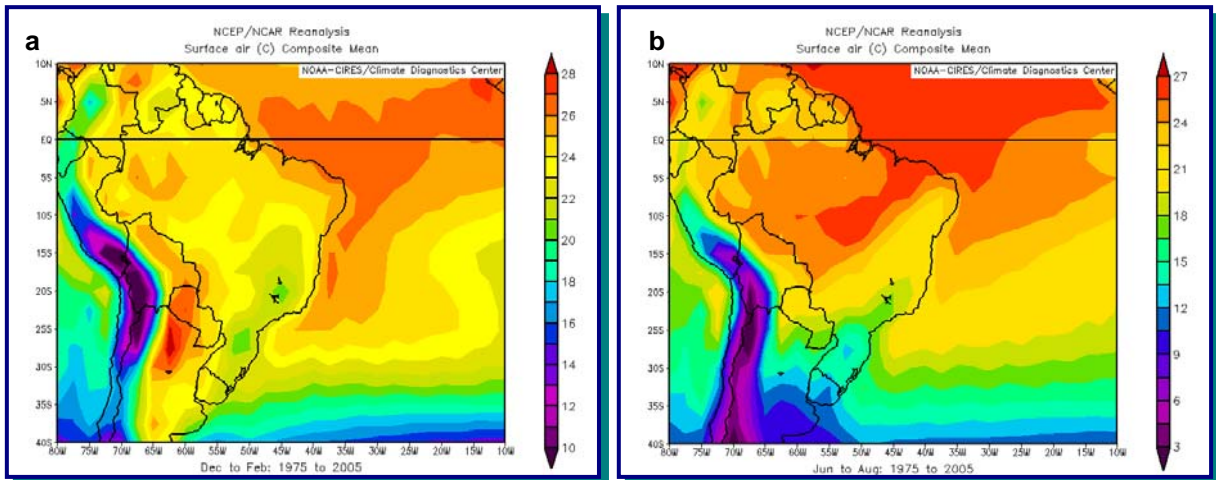


Figura II.5.1-3: Médias diárias de temperatura do ar para os períodos de verão (a) e inverno (b) de 1975 a 2005 com base em dados do Climate Diagnostics Center.

As elevadas temperaturas na região de estudo se devem em grande parte ao transporte de água quente das regiões equatoriais pela Corrente do Brasil (Figura II.5.1-4). Embora esse transporte de água quente fique menos intenso no inverno, ele ainda é suficiente para influenciar a temperatura do ar dessa região. Esse efeito, somado a advecção de ar quente pelo ramo Norte da Alta Subtropical do Atlântico Sul, gera a manutenção das altas temperaturas na região do sul da Bacia de Campos ao longo de todo o ano.

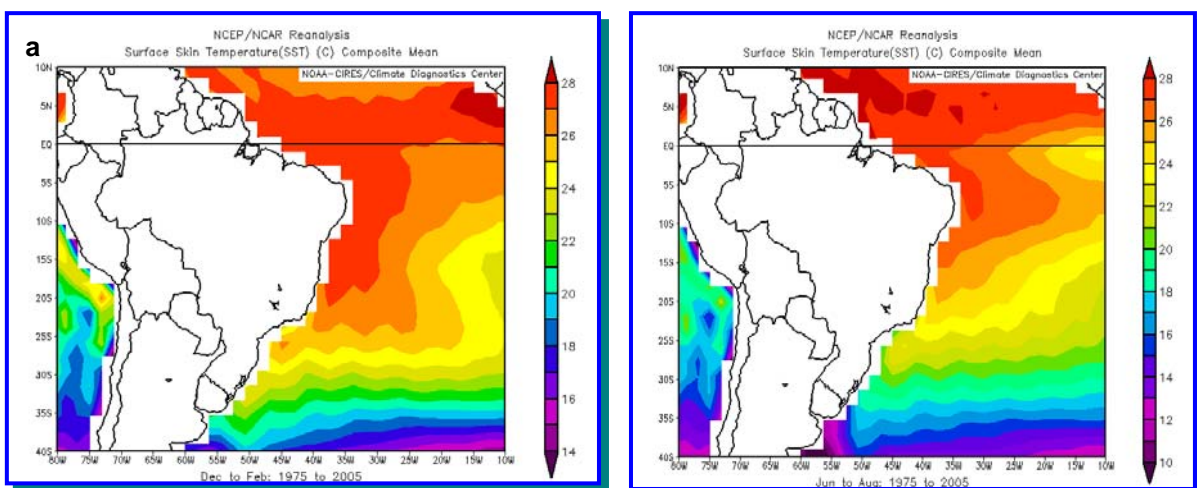


Figura II.5.1-4: Médias diárias de temperatura de superfície (Surface Skin Temperature) para os períodos de verão (a) e inverno (b) de 1975 a 2005 com base em dados do Climate Diagnostics Center.

II.5.1.1.3 - Precipitação e Evaporação

De acordo com dados de precipitação obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, para a estação meteorológica do Rio de Janeiro (Figura II.5.1-5), observa-se que o mês mais chuvoso é janeiro (140 mm aproximadamente) para o período entre 1931 e 1960 e o mês de dezembro (170 mm) para o período de 1961 a 1990. Também de acordo com os dados do INMET, os meses de junho, julho e agosto (40 mm) são os menos chuvosos para o período entre 1931 e 1960, e o mês de agosto (50 mm) para o período entre 1961 e 1990. Em termos de precipitação máxima em 24h (Figura II.5.1-6), os meses de dezembro e abril apresentaram os maiores valores (em torno de 150 mm), enquanto que o mês de agosto apresentou o menor valor (em torno de 40 mm).

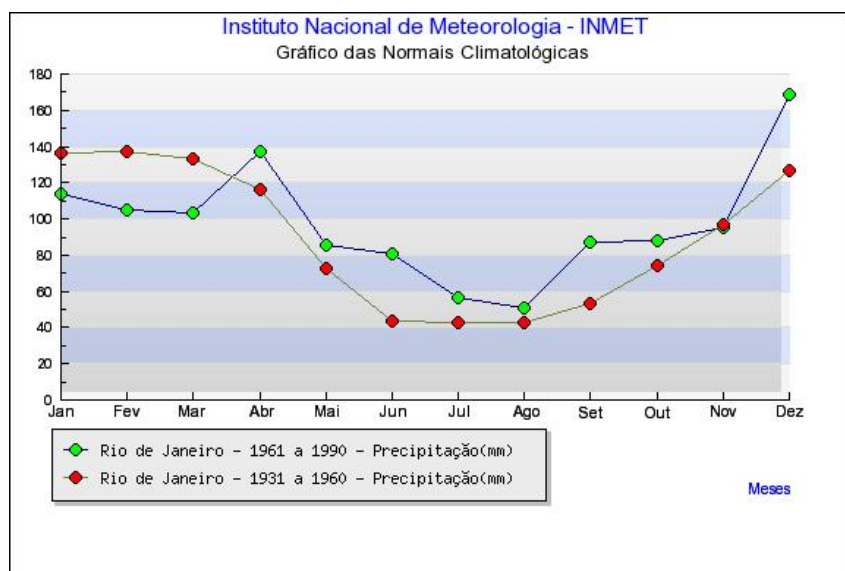


Figura II.5.1-5 - Precipitação (mm) na área de influência obtidas na estação meteorológica do Rio de Janeiro. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br>, acessado em 2006).

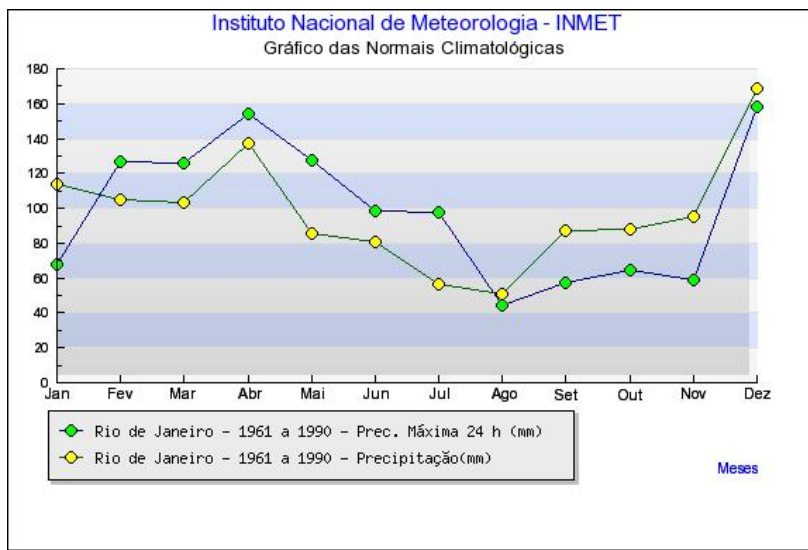


Figura II.5.1-6 - Precipitação (mm) e Precipitação Máxima (24h – mm) na estação meteorológica do Rio de Janeiro. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br>, acessado em 2006).

Passando aos valores de evaporação, também de acordo com os dados da estação meteorológica do Rio de Janeiro, apresentados na Figura II.5.1-7 a seguir, pôde-se observar que o mês de junho (inverno) são registrados os menores valores para o período de 1931 a 1990. Também para este período, o mês de janeiro (verão), registra os maiores valores de evaporação, tendo também o mês de dezembro (verão) apresentado elevada média para o parâmetro.

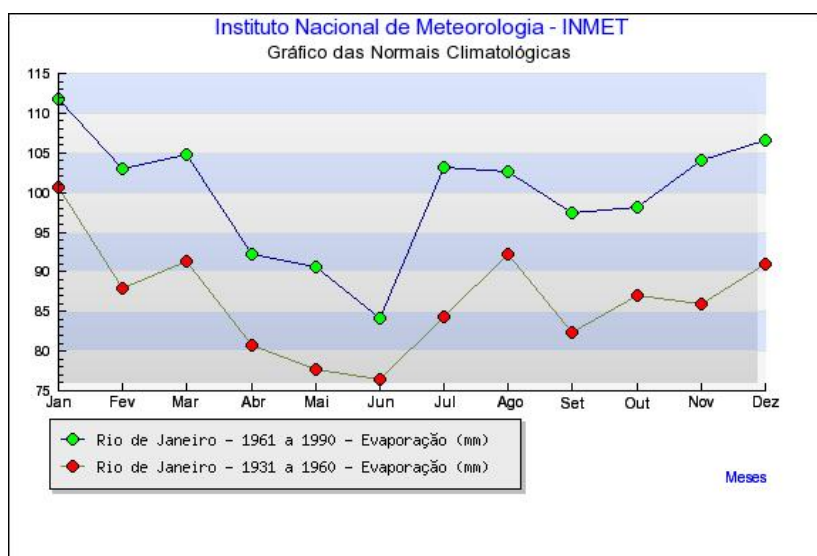


Figura II.5.1-7 – Evaporação na área de influência. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br>, acessado em 2006).

II.5.1.1.4 – Umidade Relativa do Ar

De acordo com dados obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET para a estação meteorológica do Rio de Janeiro (Figura II.5.1-8), observa-se que os meses mais secos foram julho e agosto (75 a 77 %), enquanto os períodos de março a maio e outubro a dezembro apresentaram os maiores valores de umidade relativa do ar (78,5 a 80,0%).

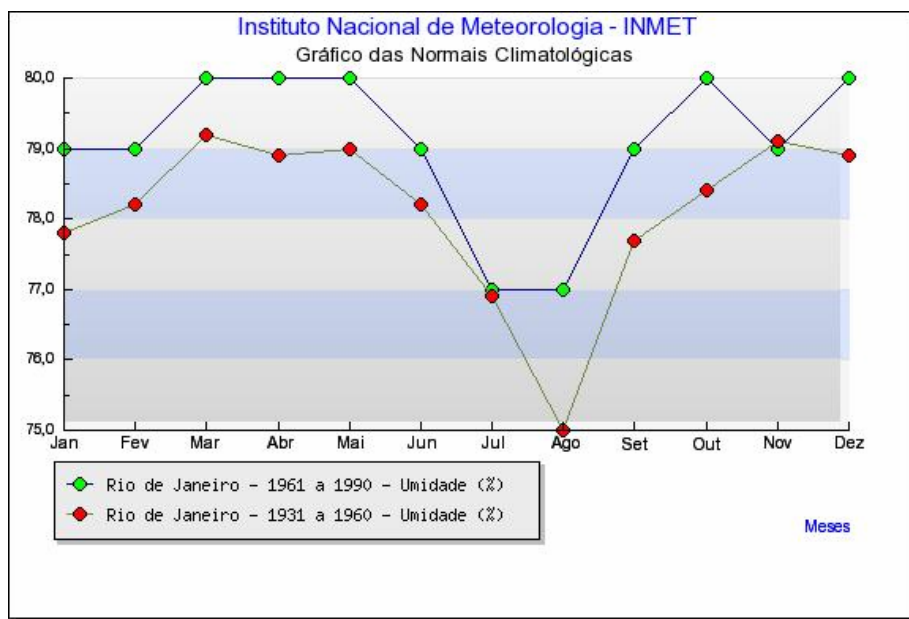


Figura II.5.1-8 – Umidade relativa do ar (%) na área de influência. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br>, acessado em 2006).

Esta informação associada aos parâmetros apresentados anteriormente caracterizam a área com comportamento tipicamente tropical, com verões quentes e chuvosos, e invernos com temperaturas mais brandas e mais seco (pouca precipitação e baixa umidade do ar).

II.5.1.1.5 – Pressão Atmosférica

Quanto ao parâmetro meteorológico pressão atmosférica, de acordo com os dados do INMET medidos na estação meteorológica do Rio de Janeiro, observa-se que o período que apresentou os maiores valores de pressão atmosférica foi de junho a agosto (1016 -1019 hPa) e os meses que apresentaram os menores valores foram dezembro e janeiro (1009 a 1011 hPa).

Ao analisar os dados de pressão atmosférica medidos na UEP PCE-1, localizada na Bacia de Campos, nota-se que estes indicam um padrão de comportamento similar ao mencionado para os dados do INMET (Figura II.5.1-9), com maiores valores médios registrados no período de junho a agosto (>1020 hPa) e menores valores no período de dezembro a fevereiro (<1015 hPa). Entretanto, os valores medidos nesta UEP (Figura II.5.1-10) apresentaram-se, de uma forma geral, mais elevados, variando de 1013 a 1022 hPa aproximadamente.

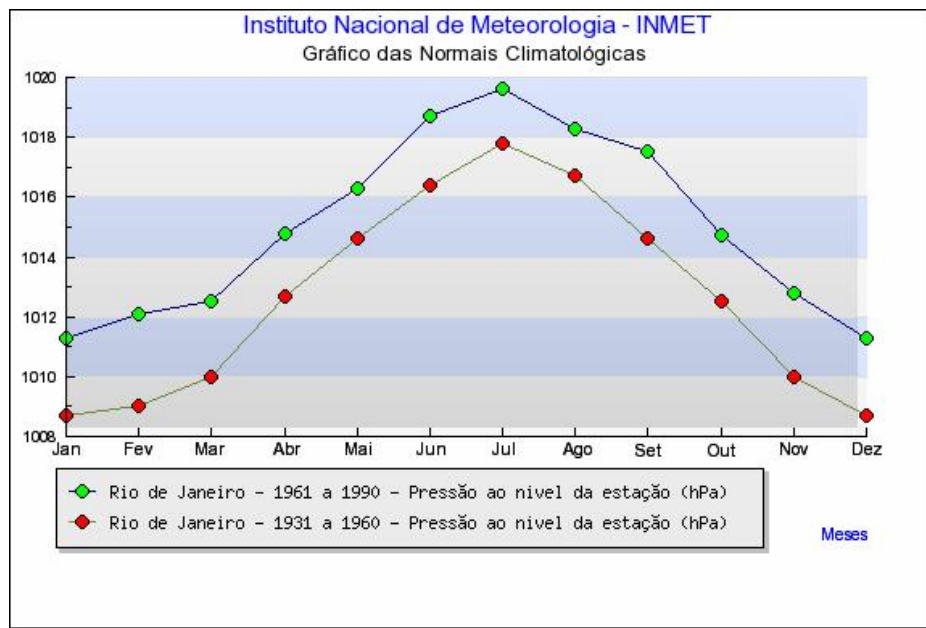


Figura II.5.1-9 – Pressão atmosférica ao nível da estação (hPa) na área de influência. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br>, acessado em 2006).

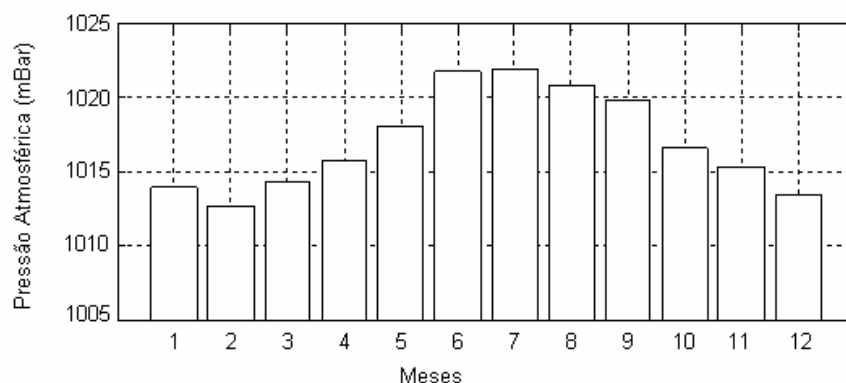


Figura II.5.1-10 – Distribuição da média mensal de pressão atmosférica (hPa) para o período de 2004 a 2006. Dados obtidos ao nível da UEP PCE-1 (de hora em hora), localizada na região sul da Bacia de Campos. Fonte: OCEANOP (PETROBRAS - US-SUB/GDS).

Esse ciclo anual bem marcado, com valores de máxima em julho (no auge do inverno) e valores da mínima em janeiro (auge do verão), dessa região é devido basicamente a dois fatores. No verão o intenso aquecimento do continente somado a perda de velocidade do vento devido ao atrito com o relevo aumentam a convergência em superfície, intensificando a anomalia de baixa pressão continental e, conseqüentemente, a circulação local e a pressão atmosférica sobre a região da Bacia de Campos (Figura II.5.1.11a). No inverno, embora a passagem de sistemas frontais seja mais intensa, a média da pressão atmosférica é maior. Isso ocorre devido ao enfraquecimento da anomalia de baixa pressão continental e uma maior influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul sobre a região, ocasionando uma anomalia de alta pressão sobre a região (Figura II.5.1.11b).

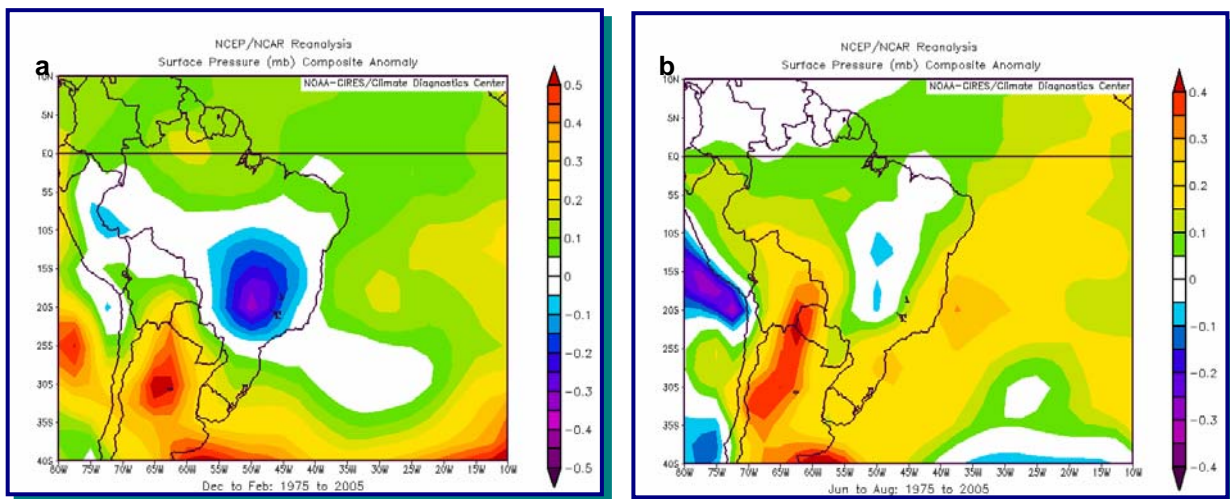


Figura II.5.1-11: Campo de anomalia de pressão para os períodos de verão (a) e inverno (b) de 1975 a 2005 com base em dados do Climate Diagnostics Center.

II.5.1.1.6 – Regime de Ventos

O regime de ventos na região do empreendimento é bastante influenciado pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Esse sistema sinótico sofre um deslocamento durante o ano, resultando em uma variação no campo de vento atuante na região da Bacia de Campos. Nos meses de verão, o núcleo da ASAS está posicionado mais a Sul e a Leste, sobre o oceano, intensificando os ventos de nordeste e leste. Durante o inverno, este sistema desloca-se, posicionando-se mais a norte e a oeste, próximo ao continente, o que causa a

intensificação dos ventos de norte e nordeste. Este fenômeno inibe a entrada de frentes, causando freqüentes nevoeiros e inversão térmica na região sudeste (Bastos e Ferreira, 2005).

Pode-se observar através da Figura II.5.1-12 uma alta freqüência de ocorrência dos ventos de norte a leste nos meses de janeiro a março, com uma intensidade maior no mês de janeiro. No período de abril a junho a predominância ainda é dos ventos de nordeste, no entanto, com significativo incremento da ocorrência dos ventos do quadrante sul (SE e SW).

Para o período de julho a dezembro, há a predominância dos ventos de leste e nordeste ao longo de todos os meses, com menor freqüência na ocorrência dos ventos de sul. De maneira geral a incidência dos ventos de quadrante sul é maior nos meses de abril e maio (Figura II.5.1-13).

Na Figura II.5.1-14 (a) é apresentada a rosa dos ventos elaborada com os dados do BNDO para todo o período analisado (1958 a 2002), sendo também apresentados os valores médios e máximos mensais (Figura II.5.1-14 (b)). Alguns valores extremos devem ser considerados criteriosamente uma vez que os dados da base trabalhada são oriundos do emprego de diferentes instrumentos e métodos a bordo dos navios contribuintes, o que pode conter alguma inconsistência, apesar das rotinas de qualificação da base.

No entanto, de uma forma geral pode-se observar que os valores médios mais intensos ocorrem nos meses setembro e novembro e os mínimos no mês de maio.

O padrão de sazonalidade descrito anteriormente pode ser observado nas Figuras II.5.1-15 e II.5.1-16 que apresentam esse comportamento na circulação atmosférica obtido através da média de 12 anos (1990-2001) dos resultados das reanálises do modelo de circulação geral do NCEP e do NCAR. Observa-se a mudança do posicionamento sazonal da alta subtropical e do padrão de ventos gerados por esse sistema.

As alterações neste padrão climatológico médio da atmosfera têm relação causal com deslocamentos de sistemas atmosféricos transientes (*i.e.* sistemas frontais e ciclones extratropicais), que atuam durante o ano todo sobre todo o Atlântico Sul, com freqüências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas. As perturbações geradas, bastante estabelecidas na

literatura (como em Oliveira, 1986), são essenciais para a determinação das variabilidades intra-anuais na superfície oceânica.

De acordo com a estatística de sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil entre os anos de 1975 a 1984 e de 1987 a 1995, apresentada pelo Boletim de Monitoramento e Análise Climática (Climanálise, 1996), a média mensal desses sistemas atuando sobre a costa Sudeste brasileira é de quatro sistemas nos meses de verão e sete sistemas nos meses de inverno.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as regiões Sul e Sudeste são chamadas frontogenéticas, *i.e.* aquelas onde as frentes podem se formar ou se intensificar (Satyamurty & Mattos, 1989).

As Figuras II.5.1-12 e II.5.1-13 a seguir apresentam a Rosa dos ventos (m/s) para os meses de janeiro a junho e de julho a dezembro respectivamente. Por sua vez, a Figura II.5.1-14 apresenta os valores máximos e médios em nós para a região e para o período como um todo.

E finalmente as Figuras II.5.1.1-15 e II.5.1.1-16 apresentam o vento a 10 metros nos períodos de verão e inverno, média de 12 anos (1990 – 2001)

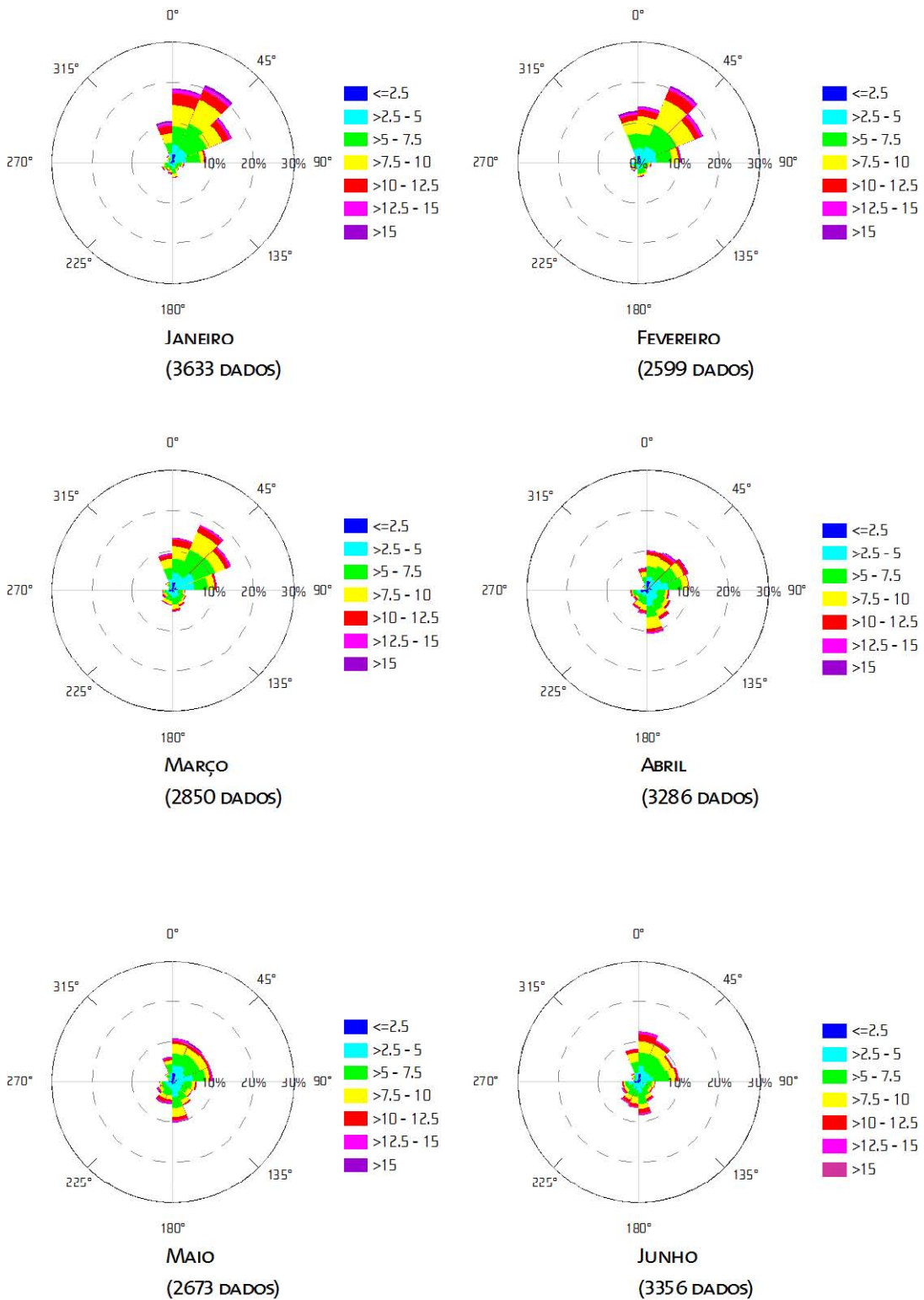


Figura II.5.1-12 - Rosa dos ventos (m/s) para os meses de janeiro a junho. Fonte: BNDO.

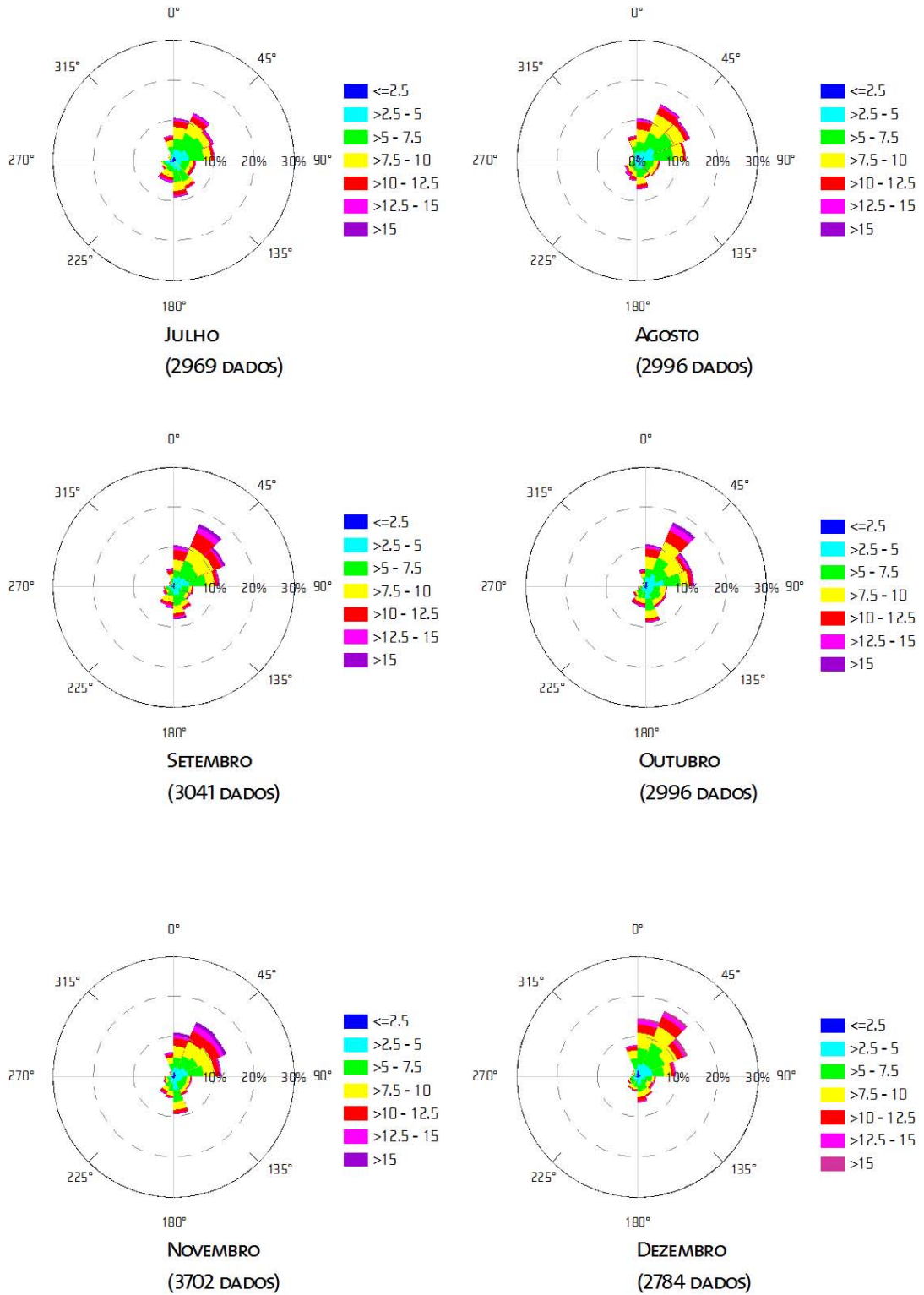
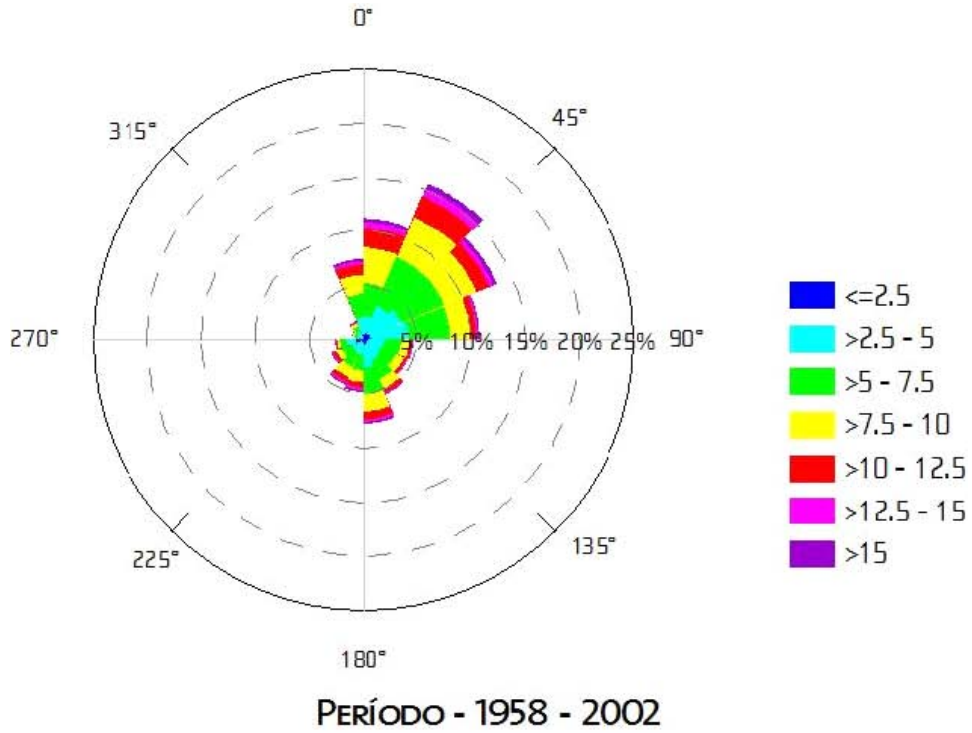
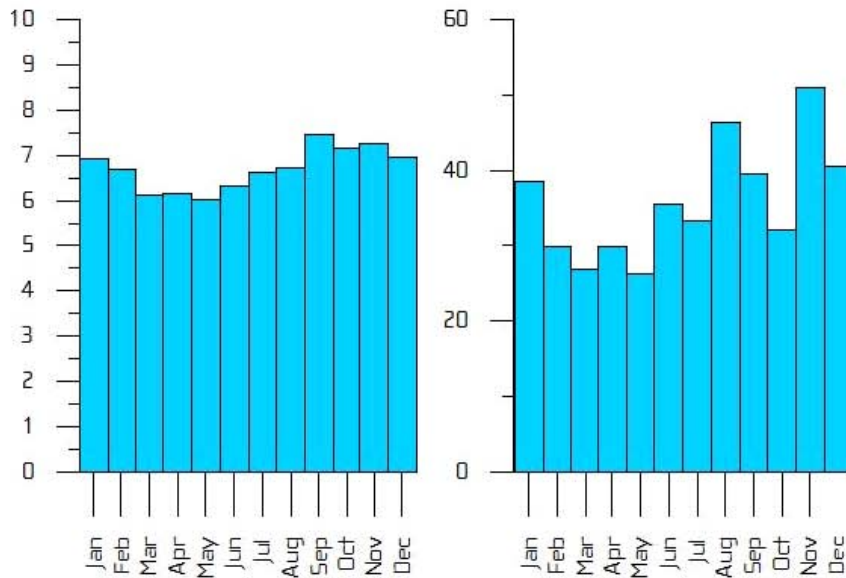


Figura II.5.1-13 - Rosa dos ventos (m/s) para os meses de julho a dezembro. Fonte: BNDO.



A)



B)

MÉDIA

MÁXIMA

Figura II.5.1-14 - (a) Rosa dos ventos (m/s) para todo o período (b) valores máximos e médios para a região (nós). Fonte: BNDO.

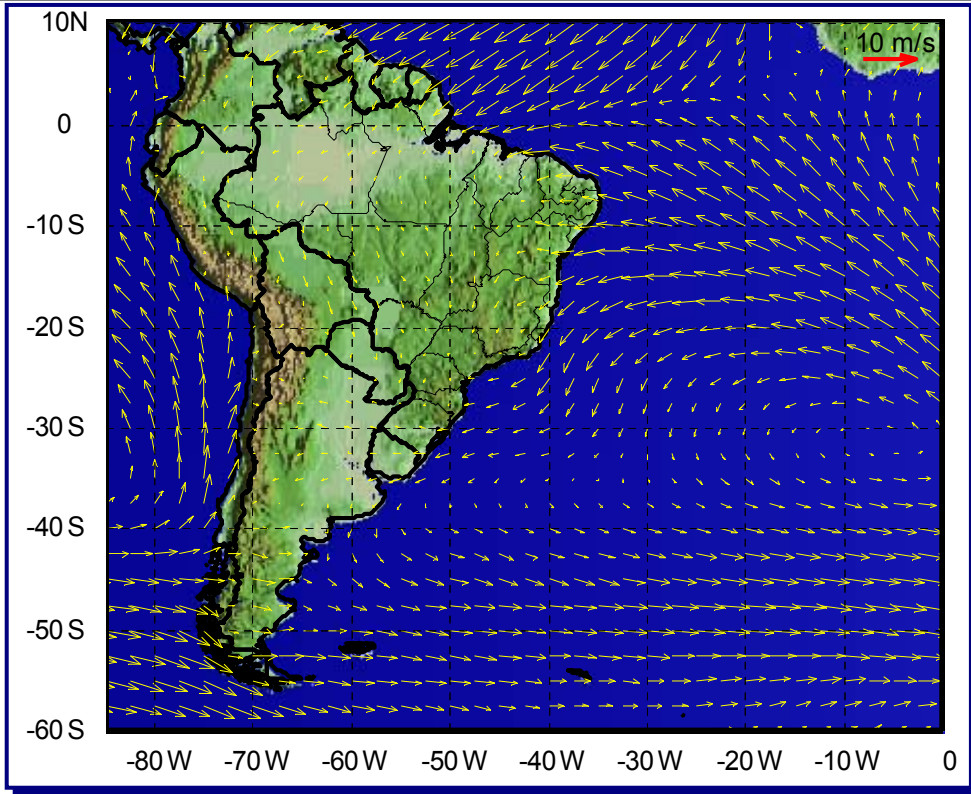


Figura II.5.1.1-15: Vento a 10 metros no período de verão (reanálises do NCEP), Média de 12 anos (1990 – 2001).

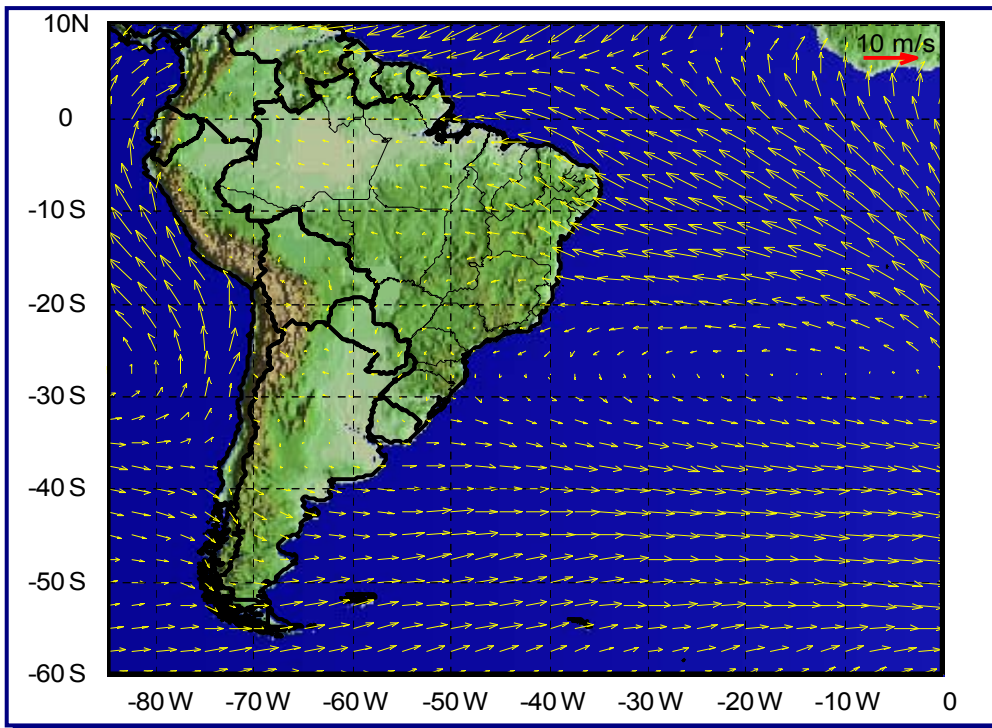


Figura II.5.1-16: Vento a 10 metros no período de Inverno (reanálises do NCEP), Média de 12 anos (1990 – 2001)

A Figura II.5.1-17 (a) e (b) apresenta os campos de vento e pressão atmosférica para situações típicas de inverno (sem e com frentes, respectivamente), utilizando dados de vento a 10 m, e pressão atmosférica reduzida ao nível médio do mar.

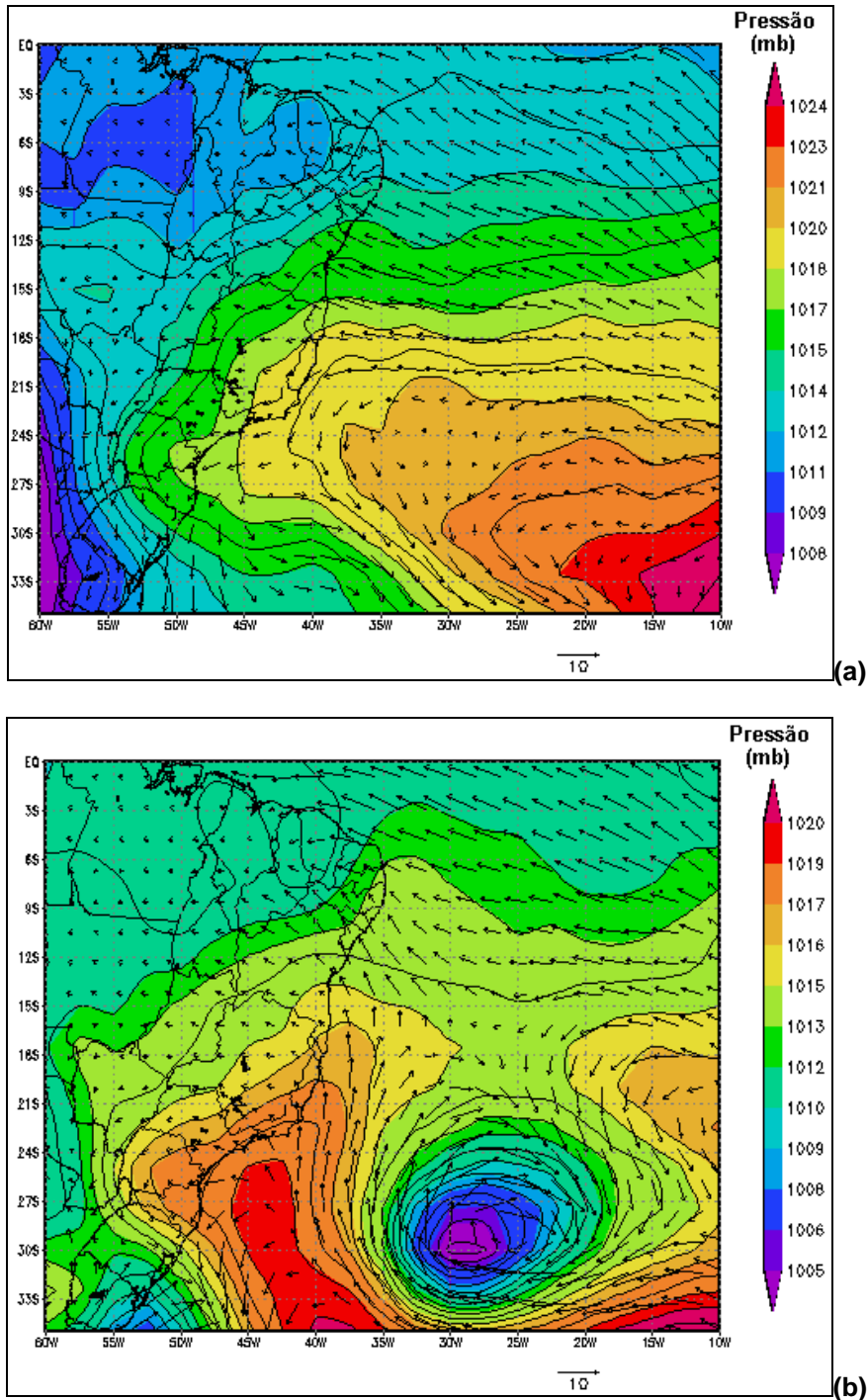


Figura II.5.1-17: Campo de vento e pressão atmosférica obtidos das reanálises do NCEP para os dias: (a) 1º de junho de 2003 e (b) 15 de junho de 2003, às 18GMT.

Estes dados foram obtidos a partir das reanálises do NCEP, para os dias 1º e 15 de junho de 2003, às 18 GMT. Como dito anteriormente, os sistemas frontais são mais frequentes no inverno, com a incidência de ventos de sudoeste durante sua passagem. Os campos mostram uma situação de predomínio da ASAS (Figura II.5.1-17 -a) e uma situação onde o regime de ventos é dominado pela passagem de sistemas frontais (Figura II.5.1-17 -b). Os efeitos orográficos da topografia local são também detectáveis, sentida na amplificação da componente meridional do campo de vento.

A Figura II.5.1-18 ilustra a situação típica de verão, no dia 2 de janeiro de 2003, às 18 GMT, onde a ASAS é predominante.

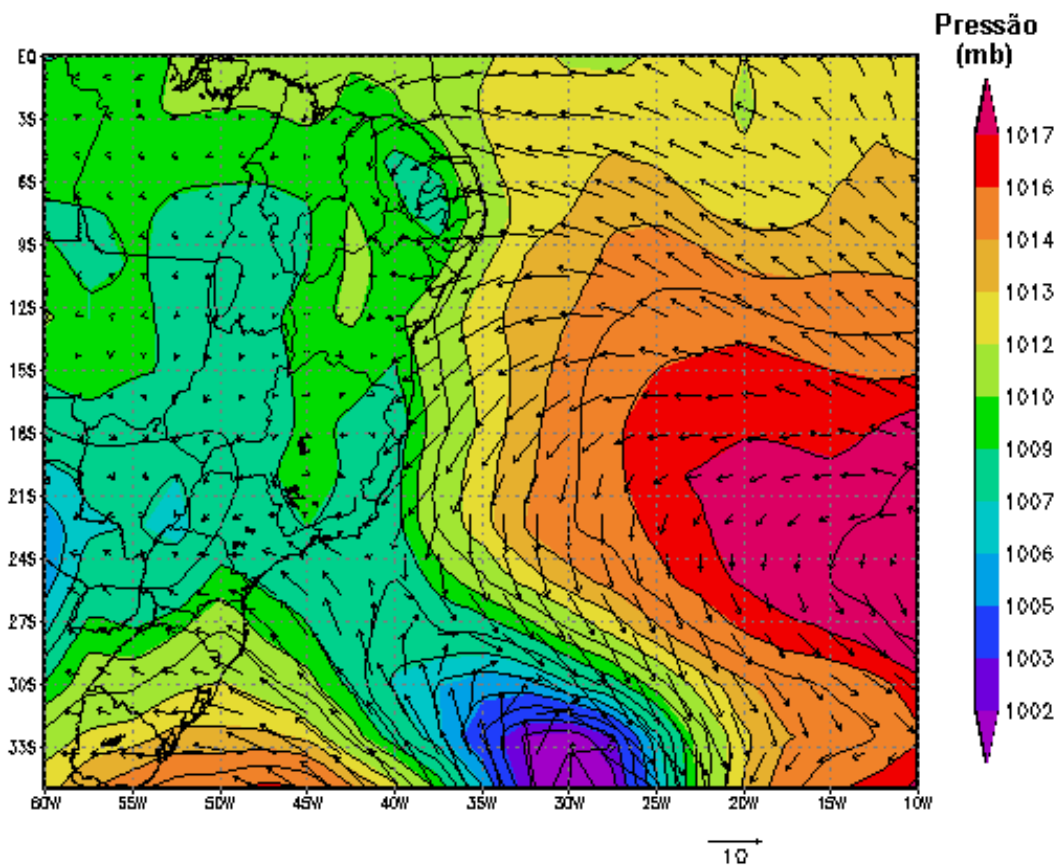


Figura II.5.1-18: Campo de vento e pressão atmosférica obtidos das reanálises do NCEP para o dia 2 de janeiro de 2003, às 18GMT.

Em meso e micro escalas, a variabilidade meteorológica induzida pelas brisas marinhas e terrestres também é significativa, principalmente nos padrões dinâmicos da circulação observada sobre a plataforma continental, como é no caso da área do Membro Siri.

II.5.1.1.7 - Sistemas Frontais

De acordo com Oliveira (1986), os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre o Brasil com freqüências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas, sendo um dos maiores causadores de distúrbios meteorológicos sobre o país. A interação entre a convecção tropical e os sistemas frontais ocorre mais freqüentemente quando estes últimos se encontram na faixa entre 20°S e 35°S.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Conforme já mencionado, as regiões sul e sudeste têm elevado potencial frontogênico, o que intensifica e facilita a passagem de sistemas frontais nesta área.

A região sudeste do Brasil é influenciada de forma freqüente pela passagem de sistemas frontais. Esses sistemas são formados quando as massas de ar frias vindas do sul do Atlântico se deslocam de encontro às massas de ar quente localizadas nos trópicos. Esse encontro cria uma região de instabilidade com intensa atividade convectiva, onde ocorre a formação de nuvens de acentuado desenvolvimento vertical, como cumulonimbus (CB), provocando pancadas de chuvas e, algumas vezes, rajadas de vento em superfície (Lemos e Oyamburo, 2004).

No setor quente da frente, a velocidade média do vento é de 5 m/s, mudando sua direção de nordeste para noroeste. Imediatamente após a passagem da frente fria, o vento apresenta direção sudoeste com velocidades em torno de 8 m/s. Aproximadamente um dia após a passagem da frente pela região, o vento gira no sentido anti-horário de sudoeste para nordeste (Stech e Lorenzetti, 1992).

A Tabela II.5.1–1 apresenta a freqüência de ocorrência de sistemas frontais na Bacia de Campos para os anos de 2000 a 2006, obtidos do CPTEC.

Tabela II.5.1-1- Frequência de passagem de sistemas frontais na região da Bacia de Campos. Fonte: CPTEC, acessado em 2006.

MÊS/ANO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	TOTAL
JANEIRO	3	1	1	2	3	4	1	15
FEVEREIRO	4	0	2	0	5	4	2	17
MARÇO	3	1	1	2	4	2	4	17
ABRIL	3	2	0	3	5	4	4	21
MAIO	4	2	1	3	7	3	3	20
JUNHO	2	2	2	2	7	2	4	21
JULHO	5	2	5	2	6	3	3	26
AGOSTO	5	0	1	5	6	3	-	20
SETEMBRO	2	4	4	5	6	4	-	25
OUTUBRO	2	2	3	2	6	5	-	20
NOVEMBRO	3	3	1	5	4	4	-	20
DEZEMBRO	4	3	3	-	4	5	-	14
TOTAL	40	22	24	31	63	43	21	236

Como pode ser visualizado na tabela acima, os meses de dezembro a março apresentam menor incidência desses sistemas na região de estudo. Ao longo de todo o período analisado, os meses de julho e setembro apresentaram o maior número total de ocorrências.

De acordo com Ferreira de Pinho (2003), a análise dos dados meteorológicos da região da Bacia de Campos permite separar duas estações bem marcadas com condições de inverno e verão. O primeiro período (inverno), de maio a setembro, é marcado pela predominância dos ventos de nordeste, porém com grande incidência de ventos de sul, menores índices de precipitação e evaporação e temperaturas menos elevadas. Nessa estação ocorre a maior incidência de passagens de sistemas frontais na região.

Segundo o mesmo autor, o período de outubro a abril é caracterizado por condições típicas de verão, com ventos predominantes dos quadrantes de norte e nordeste, e menores incidências de ventos do quadrante sul, temperaturas mais elevadas e maiores índices de precipitação e evaporação, com reduzida ocorrência de sistemas frontais. O predomínio de ventos de norte e nordeste, indicado pelo autor, pode ser verificado nas Figuras II.5.1-1, II.5.1-2

e II.5.1-3, apresentadas anteriormente. A Figura II.5.1-3 contempla o período de 1958 a 2002.

Também de acordo com Lemos e Oyamburo (2004), os sistemas frontais no período de verão, apesar da reduzida ocorrência, freqüentemente ficam semi-estacionados no litoral da Região Sudeste, devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis na Região Nordeste.

De forma sumária, a situação típica na região é marcada por ventos com intensidade média oscilando entre 6 e 8 m/s durante todo o ano, com direção predominante de norte a leste. Entretanto, esse regime é perturbado por eventos transientes associados a sistemas frontais, onde predominam os ventos do quadrante sul (Ferreira de Pinho, 2003), que possuem intensidade significativa, porém pouca continuidade temporal de ocorrência.

II.5.1.2 - Oceanografia

II.5.1.2.1 - Considerações Gerais

A porção sudeste do litoral brasileiro, onde estão localizadas as Bacias de Campos e Santos, constitui uma das áreas mais bem estudadas da costa brasileira, parte devido ao fenômeno da ressurgência, mas, sobretudo devido à descoberta de reservas de petróleo na década de 70. Esses levantamentos foram parte de projetos científicos sistemáticos de coleta de dados nacionais (comissões oceanográficas da Marinha do Brasil, PNBOÍA, Projeto REVIZEE, entre outros) e internacionais (GOOS, WOCE, TOGA) ou de esforços localizados de pesquisas regionais (cruzeiros do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – costa paulista – e do Instituto de Pesquisas Almirante Paulo Moreira – zona da ressurgência em Arraial do Cabo). Também fazem parte deste acervo dados oceanográficos coletados pelas empresas operadoras, principalmente a PETROBRAS, publicados em periódicos científicos ou utilizados como subsídio para produção de teses de mestrado e doutorado.

Dentre os trabalhos pioneiros realizados na área destaca-se o de Emílsson (1961) que discutiu a dinâmica das massas d'água na região oceânica em frente à costa, sugerindo, naquela época, a existência de uma circulação complexa em nossas águas, constituída de meandros e vórtices de caráter migratório. Na década de 70 destacam-se os trabalhos de Signorini (1976) que divulgava considerações a respeito da circulação e do transporte de volume da Corrente do Brasil fazendo uso do cálculo geostrófico. Foi encontrado um valor máximo de velocidade da corrente na superfície de aproximadamente 70 cm/s e de transporte de volume de $14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sv). A partir de então, diversos outros pesquisadores passaram a dar uma maior atenção aos fenômenos oceanográficos da Bacia de Campos dentre os quais podemos destacar Ikeda e Miranda (1985) do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, que teceram novas considerações da dinâmica das massas d'água através de intensas análises realizadas ao longo do Cabo de São Tomé. Dos estudos já referenciados de Signorini (1976) pode-se pontuar que a Corrente do Brasil é separada em dois ramos por um vórtice anti-ciclônico, sendo que o ramo principal flui nas vizinhanças do talude, com velocidade máxima de cerca de

70cm/s, e o outro, a leste do vórtice, atingindo velocidade máxima perto de 30cm/s.

Miranda *et al.* (1985) estudaram, com base nas expressões analíticas das curvas T-S, as variações na estrutura e nas propriedades de massas d'água da plataforma continental e da água oceânica adjacente. O pesquisador, revisando a classificação das massas d'água usada sob condições regionais, confirma que as Massas de Água Subtropical Profunda (ASTP), Subtropical (AST) e Central do Atlântico Sul (ACAS), são designações de uma mesma massa d'água. A ACAS foi sugerida como definição padrão para indicar esta massa d'água com índice termohalino (20°C; 36,36UPS), a qual é observada na coluna d'água sob a Massa de Água Tropical (AT).

Signorini *et al.* (1989) obtiveram novas informações sobre a variação espacial da estrutura térmica da Corrente do Brasil através de um levantamento oceanográfico realizado em abril de 1982. Neste levantamento pode ser observado que ao longo da maioria das seções, uma estabilização da temperatura em 23°C na termoclina principal. Esta estabilização vai atenuando-se na medida em que se aproxima do litoral e finalmente desaparece nas proximidades da costa. Concluiu-se ainda que o balanço do transporte de volume, através de todas as seções entre 19 °S e 22°S indicava que a Corrente do Brasil fluía acompanhando a linha do talude continental.

No final da década de 80, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, principalmente pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), passou a ser cada vez mais freqüente no estudo das condições oceanográficas da costa sudeste, sobretudo para fins de delineamento sinótico da estrutura térmica de superfície. A técnica de sensoriamento remoto orbital aplicado à oceanografia é fundamental para a obtenção de dados com características sinóticas, abrangendo grandes regiões oceânicas, e com grande repetitividade temporal. Durante a década de 90, imagens do satélite AVHRR/NOAA foram intensamente utilizadas para caracterizar padrões de circulação da Corrente do Brasil na Margem Continental, onde a observação de meandros e vórtices de mesoescala passou a ser visualizada com maior freqüência. Stech & Lorenzetti (1995) e Kampel *et al.* (1997) observaram a variação sazonal da ressurgência na costa SE Brasileira analisando mapas de temperatura de superfície do mar (TSM).

II.5.1.2.2 – Caracterização Termohalina

Para a análise das propriedades físico-químicas da água do mar na região da Bacia de Campos 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 oceanográficas realizadas no período entre os anos de 1957 e 1991.

As Figuras II.5.1-19 e II.5.1-20 apresentam os perfis verticais de temperatura e salinidade entre a superfície e 2.000 m de profundidade, para os períodos de verão, outono, inverno e primavera, bem como o número de amostragens disponíveis para cada período.

No período de verão observa-se que a temperatura na superfície varia aproximadamente entre 21 e 28,5 °C. A 200 m, a temperatura varia de 13,0°C a 19 °C, e abaixo de 800 m o valor médio mantém-se próximo a 4°C (Figura II.5.1-19).

A salinidade em superfície varia entre 36 e 37, com uma maior concentração de observações próximas a este último valor. Entre 200 e 800 m os valores decrescem gradualmente. A partir de 800 m sofrem novamente uma ligeira elevação, como pode ser observado na Figura II.5.1-19.

No período de outono, os valores da temperatura em superfície são mais elevados, variando entre 22°C a 28°C (Figura II.5.1-19). A diminuição dos valores em profundidade, no entanto, apresenta a mesma tendência, com o final da termoclina bem marcado em torno dos 800 m.

Embora apresente alguns valores inferiores em superfície, de maneira geral o comportamento da curva de salinidade para o outono (Figura II.5.1-19) é semelhante ao perfil correspondente ao período de verão.

No inverno a temperatura superficial varia entre 20°C e 24°C e a salinidade entre 35 a 37,4, correspondendo ao 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.5.1-20.

As Figura II.5.1-19 e II.5.1-20 apresentam a seguir os perfis de temperatura e salinidade para os períodos de verão e outono / inverno e primavera respectivamente.

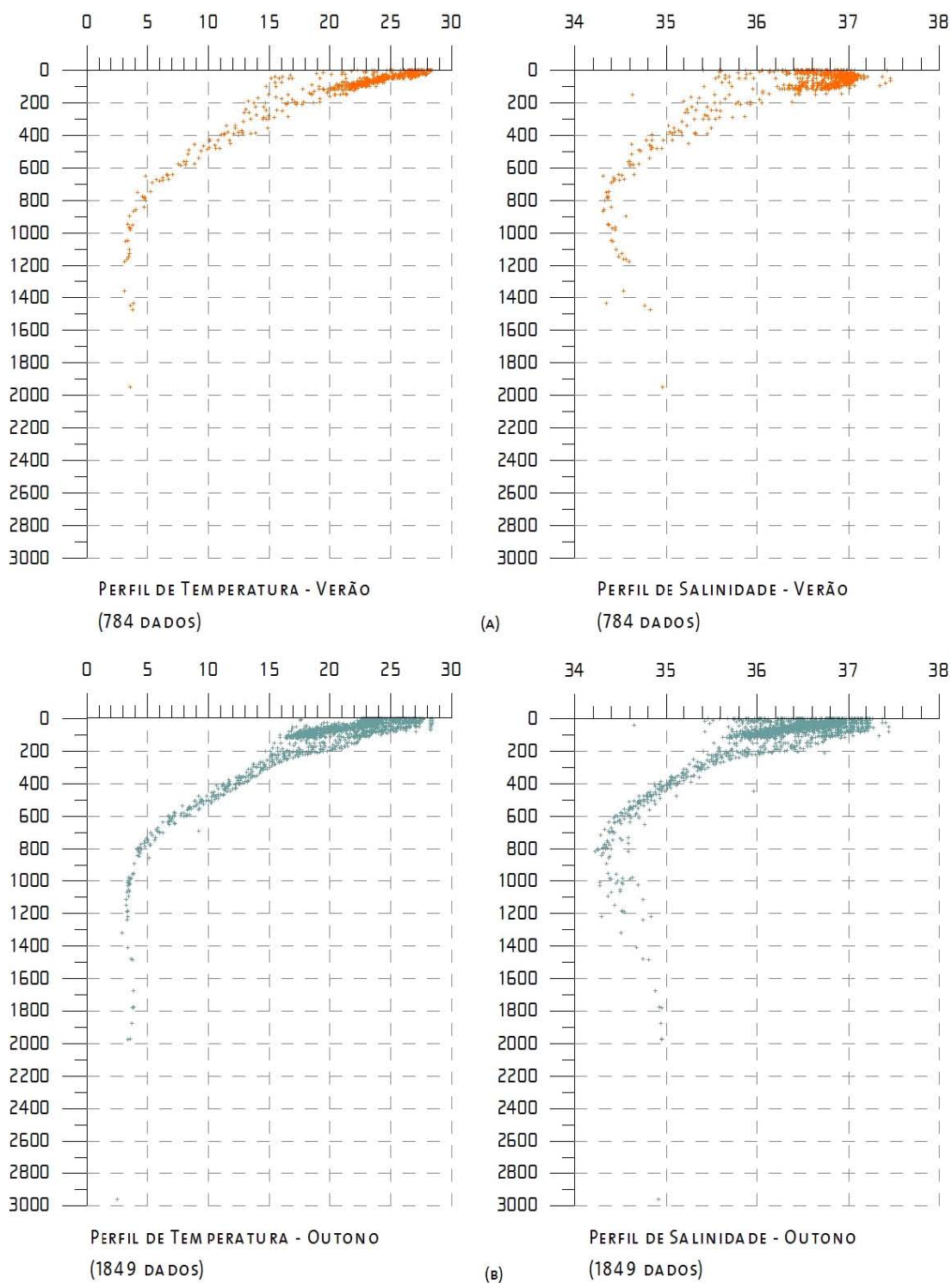


Figura II.5.1–19 -Perfis de temperatura e salinidade para os períodos de verão (a) e outono (b). Fonte: BNDO.

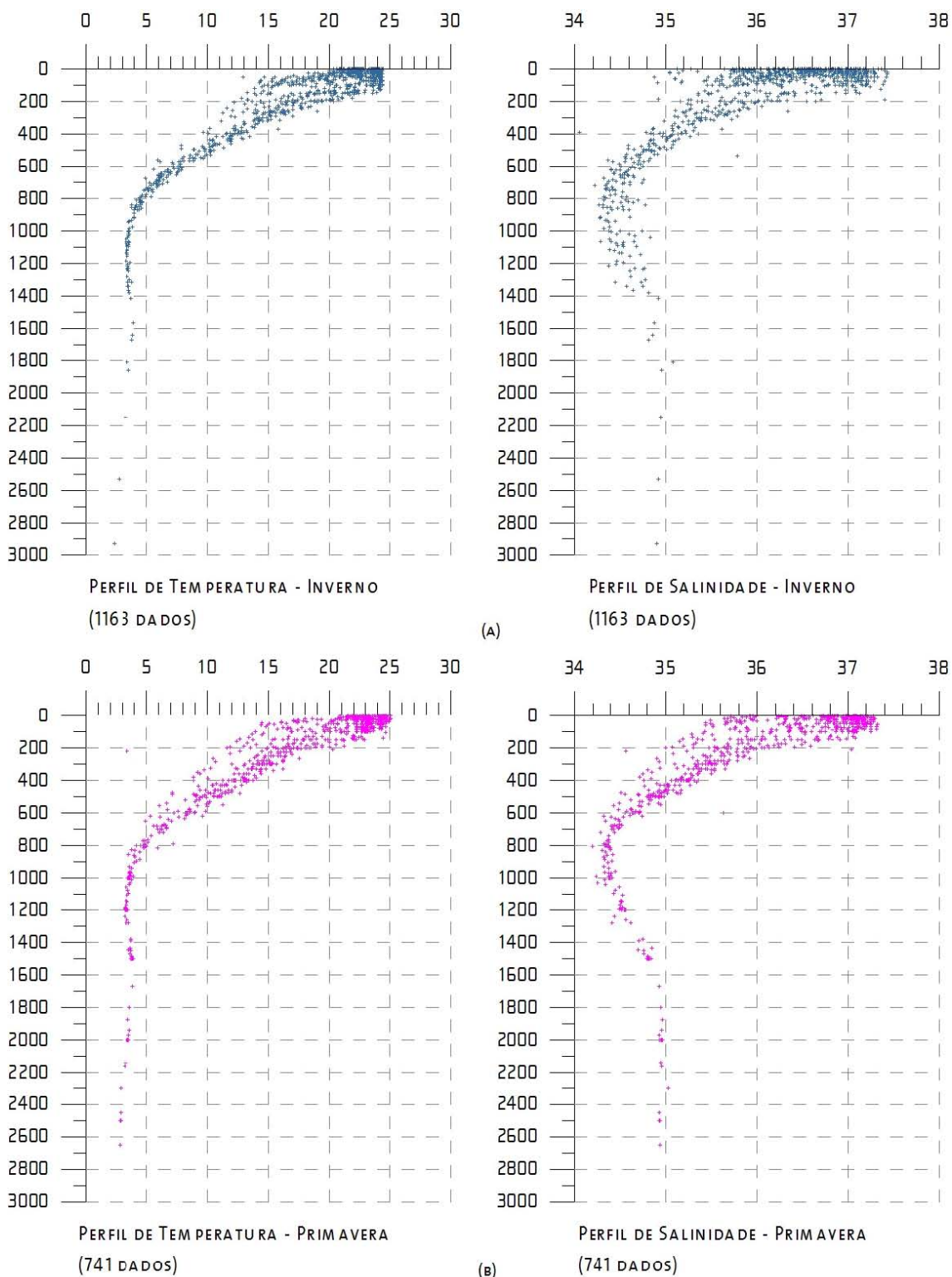


Figura II.5.1–20 -Perfis de temperatura e salinidade para os períodos de inverno (a) e primavera (b). Fonte: BNDO.

II.5.1.2.3 - Massas D'água

As massas d'água são corpos de água definidos por suas características de temperatura e salinidade, que por sua vez são determinantes na definição da sua densidade. Este último parâmetro determina a posição que estes corpos irão ocupar na coluna d'água.

A Figura II.5.1-21 ilustra o Giro Sub-Tropical do Atlântico Sul, cuja corrente de contorno Oeste para Sul, a Corrente do Brasil (CB), separa-se da Costa na região da confluência com a Corrente das Malvinas (CM). A partir deste ponto, a Corrente do Brasil composta com a Corrente das Malvinas se afasta da costa e flui para Leste como Corrente do Atlântico Sul (CAS). O giro no Atlântico é complementado pela Corrente de Benguela (BE), Corrente Sul Equatorial (CSE), fechando o circuito com a Corrente do Brasil para Sul e a Corrente Norte do Brasil (CNB).

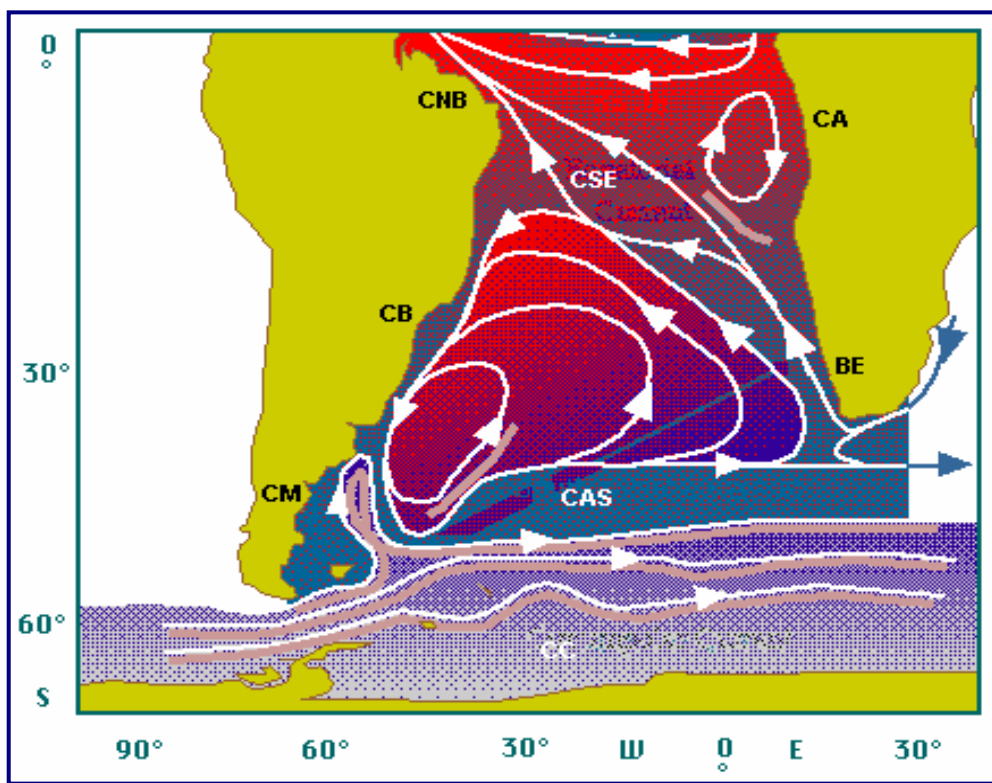


Figura II.5.1-21: Representação da circulação no oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de TOMCZAK & GODFREY (1994).

Normalmente, nesta região da costa brasileira são encontradas as seguintes massas 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 e APAN - Água Profunda do Atlântico Norte.

Silva *et al.* (1984) 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 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 valor 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. É formada no Hemisfério Norte, na junção das Correntes da Groenlândia e Labrador.

Na Figura II.5.1–22 é apresentado o diagrama TS espalhado elaborado com os dados do BNDO para a Bacia de Campos. As cores são referentes às profundidades dos dados.

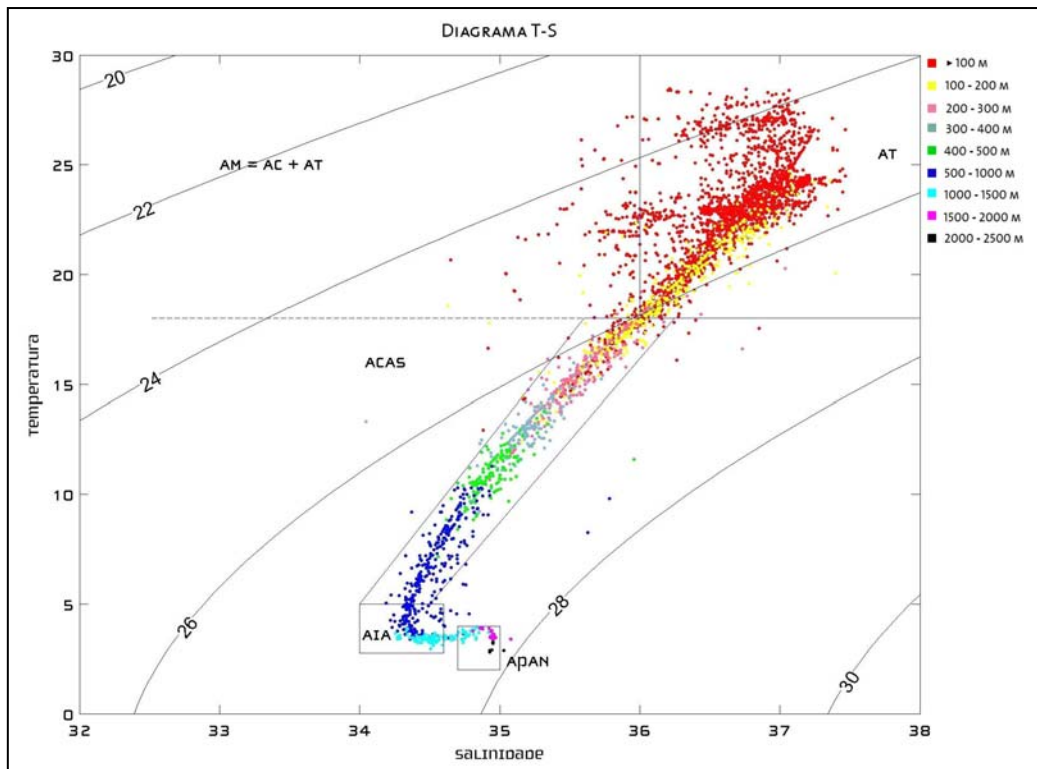


Figura II.5.1–22 -Diagrama TS espalhado para a região do empreendimento. Fonte: BNDO.

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. Conforme já especificado, os dados constantes nesta base são oriundos de diversas campanhas oceanográficas, realizadas entre o período de 1957 a 1991. Tais campanhas possuíam objetivos distintos, em regiões e épocas variadas, o que prejudica as análises mais complexas, como as análises de variações 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.5.1-23 (a) e (b).

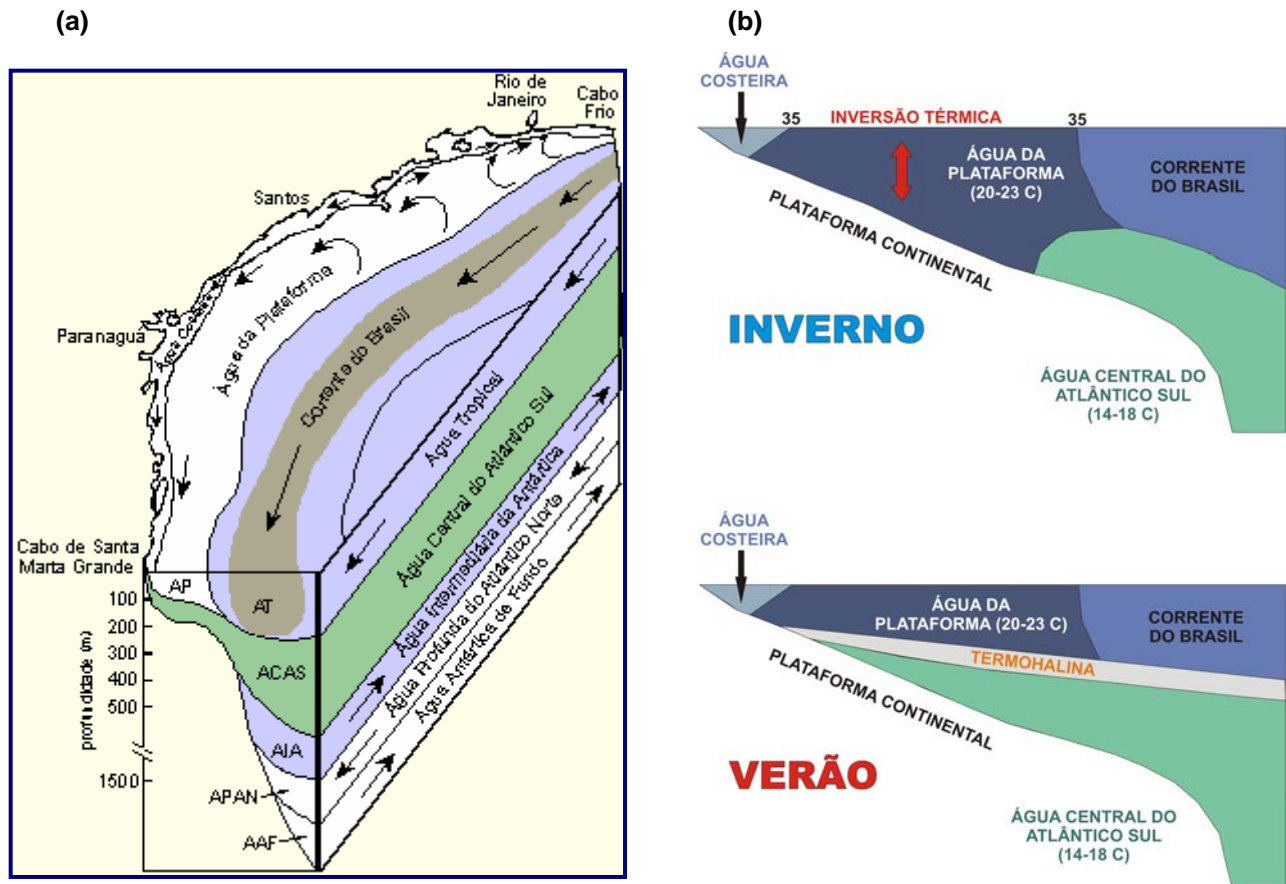


Figura II.5.1-23 (a): Variação espacial da massa d'água na região sudeste-sul brasileira na época de verão. Fonte: Matsuura, 1986. **(b):** Distribuição vertical das massas de água na região sudeste-sul brasileira, na época de verão (abaixo) e inverno (acima). Adaptado de Matsuura, 1986.

II.5.1.2.4 -Regime de Ondas

O entendimento do clima de ondas e de ventos é de importância primordial tanto para projetos como para operações de sistemas *offshore*. As ondas superficiais de gravidade geradas pelo vento influenciam muito mais na estabilidade de embarcações e das demais estruturas flutuantes do que o vento e as correntes. Além disso, as ondas são as principais causadoras de fadigas nas estruturas oceânicas. Portanto, há uma grande motivação para o estudo deste fenômeno oceanográfico de modo a se buscar um maior entendimento das suas geração e propagação (Ferreira de Pinho, 2003).

A Bacia de Campos situa-se na Zona Tropical e sofre predominante influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que oscila em torno de uma posição média, localizando-se mais ao sul e a leste no verão (30°S e 015°W) e mais ao norte e a oeste no inverno (22°S e 030°W). Esse sistema de pressão gera ventos que sopram em torno do seu núcleo, divergentes e contrários aos ponteiros do relógio, estabelecendo assim as condições meteorológicas mais freqüentes na região, que são os ventos de direções variáveis de Norte a Leste, e de intensidades fracas a moderadas (REDEPETRO, 2001).

As duas massas de ar que afetam as condições meteorológicas da região da Bacia de Campos são a Massa de Ar Tropical Marítima, quando não existe entrada de sistemas frontais; e a Massa Polar Marítima, quando existe invasão de frentes frias oriundas de latitudes maiores. A primeira está localizada sobre as latitudes tropicais oceânicas e é caracterizada pelo centro de ação, denominado de Anticiclone Subtropical do Atlântico. A segunda é a massa de ar que está associada ao Anticiclone Polar, que se situa atrás das frentes frias. Possui núcleo frio e ocasionalmente migra em direção às latitudes menores, onde se encontra com a Massa Tropical Marítima. Desse encontro de massas de ar resulta a formação dos sistemas frontais que passam pela região (Ferreira de Pinho, 2003).

Com base em dados obtidos no período de março de 1991 a junho de 1995, através de uma bóia meteo-oceanográfica do tipo *heave-pitch-roll* da PETROBRAS fundeada na Bacia de Campos em dois períodos (de março de 1991 a março de 1993 no Campo de Marlim, na posição $22^{\circ} 31' \text{S}$ e $039^{\circ} 58' \text{W}$, a uma profundidade de 1250m. e de janeiro de 1994 a junho de 1995, no Campo de Barracuda, na posição $22^{\circ} 38' \text{S}$ e $040^{\circ} 12' \text{W}$, a uma profundidade de 1250m), Ferreira de Pinho (2003) propôs uma classificação do estado de mar de acordo com os sistemas meteorológicos que dominam a circulação dos ventos em cada situação, a saber:

- **Situação de Bom Tempo:** Caracterizado por mares de N, NE e E (principalmente NE), com sistema de alta pressão Anticiclone do Atlântico Sul dominante. Esta é a situação de mar e ventos mais comum caracterizada por ventos do quadrante norte que podem atingir grandes intensidades e mares não muito severos. Dentre os ventos típicos da situação de bom tempo, o vento

mais comum é o de NE com 35% do total de ocorrência destas três direções. Mais de 55% dos ventos ocorrem em direções entre 15° e 45° . Com relação às intensidades dos ventos, 40% estão entre 8 e 10 m/s. De todos os dados de ventos relativos à situação de bom tempo, os maiores valores de intensidade de vento registrados apresentaram direção aproximada de 20° . Um evento típico de bom tempo é a intensificação dos ventos NE com a aproximação de uma frente fria. Estas situações de vento não estão necessariamente associadas a mares severos em termos de alturas.

Valores para tamanho de pista podem ser calculados em função da frequência de pico e da intensidade da componente vetorial u (cisalhante) do vento (triângulos na Figura II.5.1–24). O tamanho da pista aumenta com a diminuição da frequência. Os valores obtidos para tamanho de pista são bastante condizentes com a realidade para bom tempo variando de aproximadamente 50 a 200 km.

Uma relação alternativa é proposta por Kahma *et al.* (1994). Os valores para pista segundo relação desses autores (círculos pretos na Figura II.5.1–24) são de 10 a 100 vezes maiores que os calculados em função da frequência de pico e da intensidade da componente vetorial u do vento, ou seja, esta relação não está de acordo com os valores esperados para pistas de mares de bom tempo.

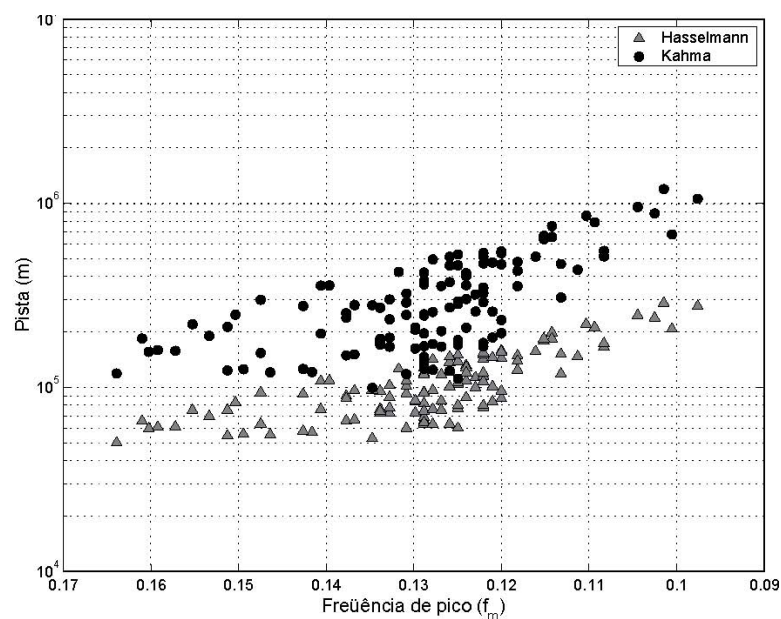


Figura II.5.1–24 - Relação entre pista e frequência de pico (Ferreira de Pinho, 2003).

Nesta situação de mar, a análise das ondas individuais indica que as ondas mais freqüentes têm entre 0,5 a 1 metro de altura e períodos na faixa de 4 a 5 segundos. Nestas faixas de altura e período foram observadas 17643 ondas em um total de 202790 ou 8,7%. Os períodos de ondas de mares locais de NE dificilmente ultrapassam 7,5 s e valores observados maiores do que estes estão associados a mares quasi-locais de direções NE-E e E. As maiores alturas individuais tinham valores entre 5m e 6m com períodos correspondentes entre 6s e 9s. Quanto às ondas significativas, que indicam a severidade e energia de um mar, os períodos significativos de maior ocorrência estão entre 6 e 7 segundos e as alturas significativas mais freqüentes entre 1,5 e 2 metros.

As ondas observadas com maiores alturas significativas estão na faixa entre 3m e 4m e com direção de pico espectral associada em torno de 8 s. Estas ondas estão associadas às situações mais severas para condição de bom tempo, caracterizadas por mares e ventos com direções tipicamente de norte. Estas situações tendem a ocorrer após uma passagem de frente fria. Uma hipótese para explicar este fato está relacionada à existência de um deslocamento do Anticiclone do Atlântico Sul para o norte causado pela influência do anticiclone polar que chega à região vindo do sul. Este último, ao se enfraquecer, funde-se ao Anticiclone do Atlântico Sul (deslocado para o norte) gerando maiores pistas com eixo N-S. A época do ano de maior freqüência desta configuração são os meses de verão, especificamente em dezembro e janeiro, embora tenham sido observadas ocorrências menos significativas em outras estações do ano.

Ferreira de Pinho (2003) calculou e comparou valores médios de parâmetros de ondas e ventos (médias dos parâmetros duração e intensidade do vento comparados com as médias de altura significativa e de período significativo de onda). Verificou-se que os eventos de Bom Tempo estabelecem-se na Bacia de Campos em média por cerca de 92 horas, com uma intensidade média dos ventos de 10 m/s e direção média do vento de 30 a 40°. Para estes eventos, as ondas tiveram como altura significativa média o valor aproximado de 1,8 m e período significativo médio de 7,8 segundos. O gráfico dos parâmetros médios do vento com relação à altura significativa das ondas pode ser observado na Figura II.5.1–25. Nota-se que os maiores valores

de $H_{1/3}$ (entre 2 e 3 metros) correspondem em geral aos maiores valores de intensidade dos ventos (entre 14 e 18 m/s), com uma duração na maioria das vezes menor que 100 horas.

Através da comparação entre os parâmetros relacionados ao vento e os períodos significativos (Figura II.5.1–26), pôde-se observar que os períodos durante uma situação de bom tempo permanecem com valores médios em torno de 8 segundos, com pequenas variações para diferentes durações e intensidades do vento.

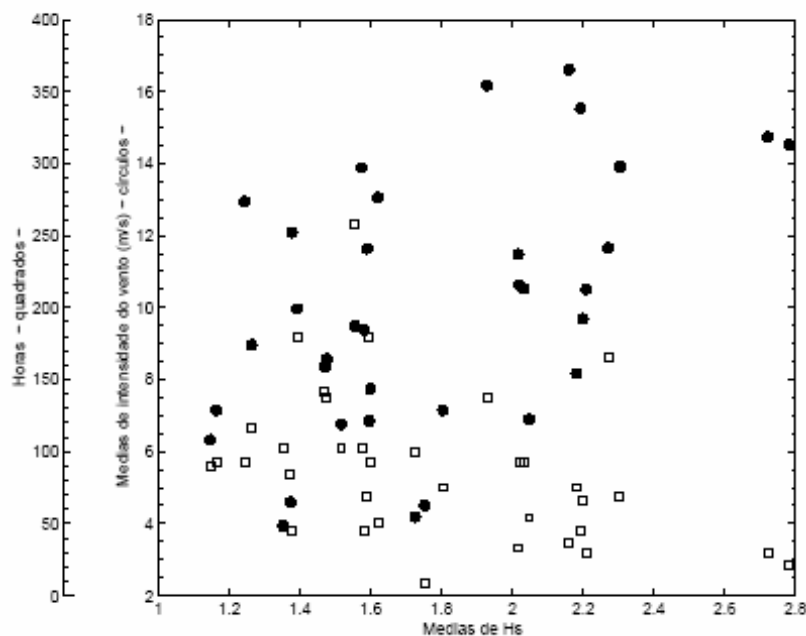


Figura II.5.1–25 - Médias de duração e intensidade do vento e altura significativa das ondas (Ferreira de Pinho, 2003).

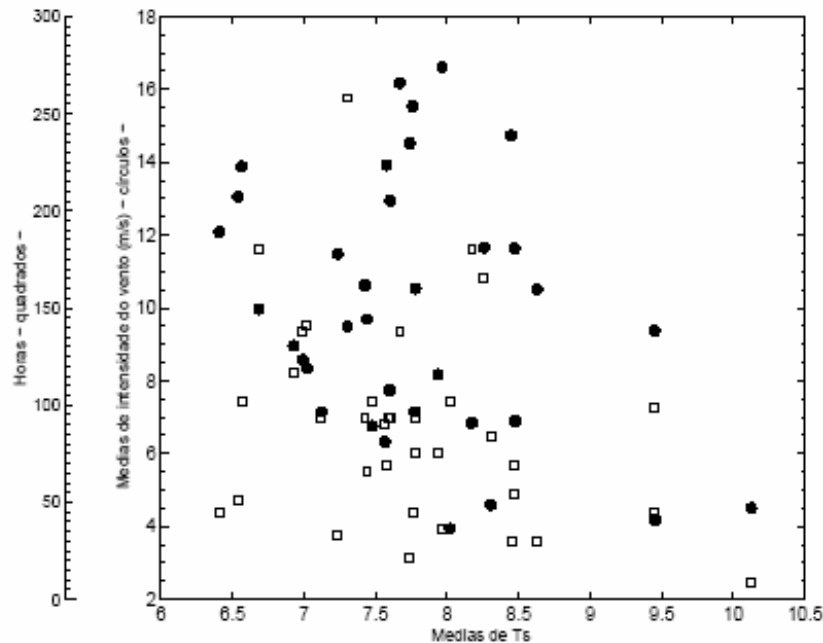


Figura II.5.1–26 - Médias de duração e intensidade do vento e período significativo das ondas (Ferreira de Pinho, 2003).

As alturas significativas das ondas estão relacionadas à intensidade do vento como mostrado na Figura II.5.1–27. Vê-se claramente nesta figura uma correlação linear entre a altura significativa e a intensidade do vento. A reta vermelha é um ajuste linear por mínimos quadrados aos dados. O coeficiente linear da reta é 1,57 e o angular é 4,59, o que equivale a dizer que para um determinado valor de vento v , em geral, se tem um valor de $H_{1/3} \approx 5v$. Os maiores valores de altura significativa (em torno de 3m) estão associados a ventos com aproximadamente 15m/s.

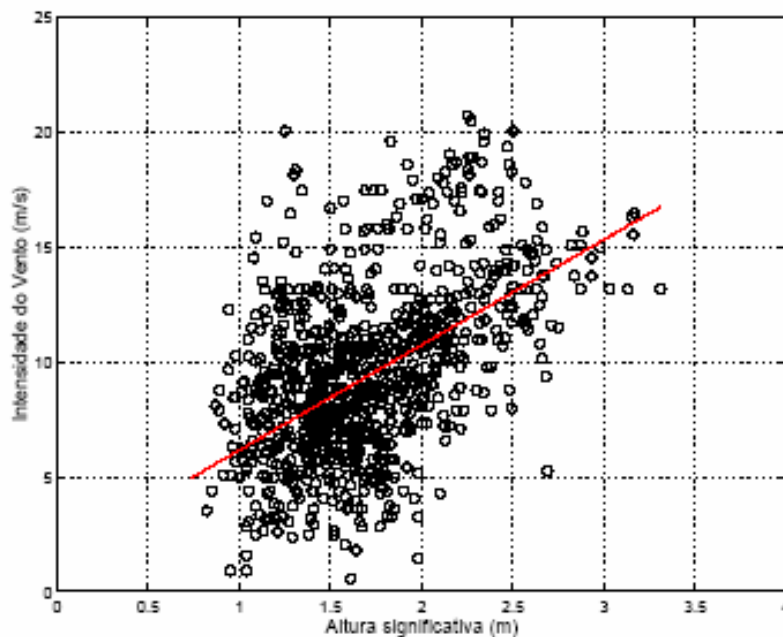


Figura II.5.1–27 – Relação entre altura significativa e intensidade do vento – situação de bom tempo (Ferreira de Pinho, 2003).

- **Situação de Bom Tempo com marulhos de sul:** Esta situação tem características de ventos e de mar locais iguais à descrita para bom tempo sem marulhos. Portanto, serão abordadas principalmente as diferenças com relação à situação anterior devida ao marulho.

Com relação à frequência de alturas individuais, houve um pequeno aumento na faixa de 0 a 1m, sendo que a maior ocorrência está entre 0,5m e 1m. Ondas maiores que 5m quase não ocorrem nesta situação. Os períodos individuais têm sua distribuição mais homogênea do que a observada na situação sem marulhos e há uma maior ocorrência de períodos maiores. Os períodos mais frequentes estão entre 4 e 6s e os maiores períodos observados, que são associados a marulhos, têm de 18 a 20s.

A análise no domínio da frequência mostra-se mais precisa na caracterização dos dois tipos de mar presentes nesta situação. O mar local é identificado como tendo tipicamente períodos significativos entre 5s e 6s e alturas na faixa de 1,5m a 2m. O marulho tem períodos mais frequentes entre 11s e 12s e alturas significativas também entre 1,5 e 2m. Os maiores períodos significativos observados estão entre 16s e 18s e as maiores alturas significativas entre 2,5m

e 3,5m. Esta é uma situação que pode ser crítica em algumas operações, pois onda e vento podem ser severos e em direções opostas.

- **Situação de Mau Tempo de SW:** São as situações mais severas de mar, com mares de SW e S, em que há a passagem de frente fria seguida de um ciclone extratropical. Os ventos observados com maior frequência nesta situação têm direção entre 200° e 220° e a faixa de intensidade de maior ocorrência está entre 5 e 7m/s e maiores valores superando 20m/s.

A maior altura de onda individual observada em todo conjunto de dados tinha 11,7m e sua direção era de 211°. Cerca de 40% das ondas tiveram alturas entre 1 e 2m. As ondas individuais mais frequentes tinham cerca de 6s de período e aproximadamente 1m de altura. O maior período individual observado foi de 23,9 segundos. Quando analisadas em conjunto, as maiores alturas (maiores que 8m) estão associadas a períodos entre 10s e 15s, e os maiores períodos (maiores que 20s) às alturas entre 1,5m e 3,5m.

As ondas significativas têm alturas mais frequentes entre 1,5m e 2m, e períodos de pico mais frequente na faixa de 8s e 12s. Os maiores valores de altura e período significativos são de aproximadamente 6m e 16s, respectivamente e estão associados à direção de pico espectral de 210°.

A partir dos registros de ondas classificados como situação de mau tempo de SW, médias de alturas significativas e períodos significativos foram calculados para cada evento (todos os registros de cada passagem de ciclone) e comparadas às médias de intensidade e duração de vento. O resultado pode ser visto nas Figuras II.5.1–28 e II.5.1–29.

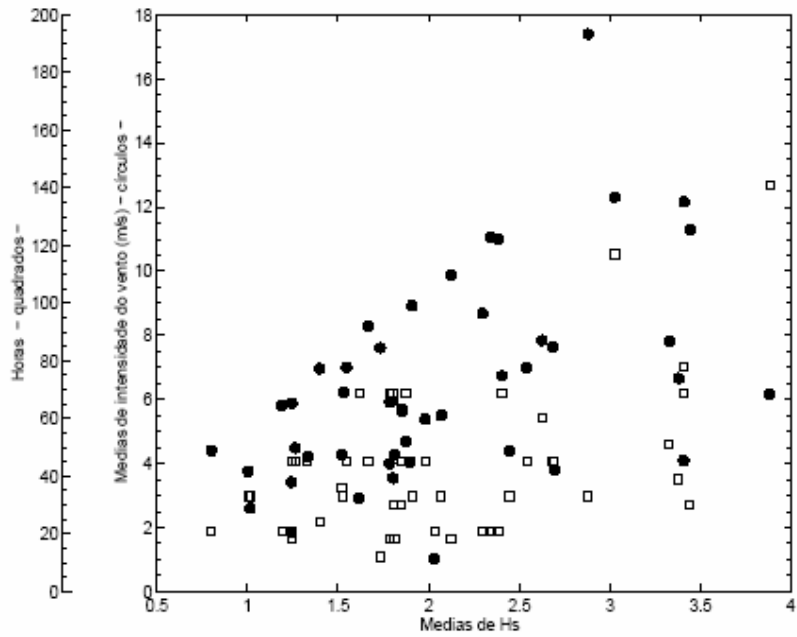


Figura II.5.1-28 – Médias de duração, intensidade e direção do vento e altura significativa das ondas (Ferreira de Pinho, 2003).

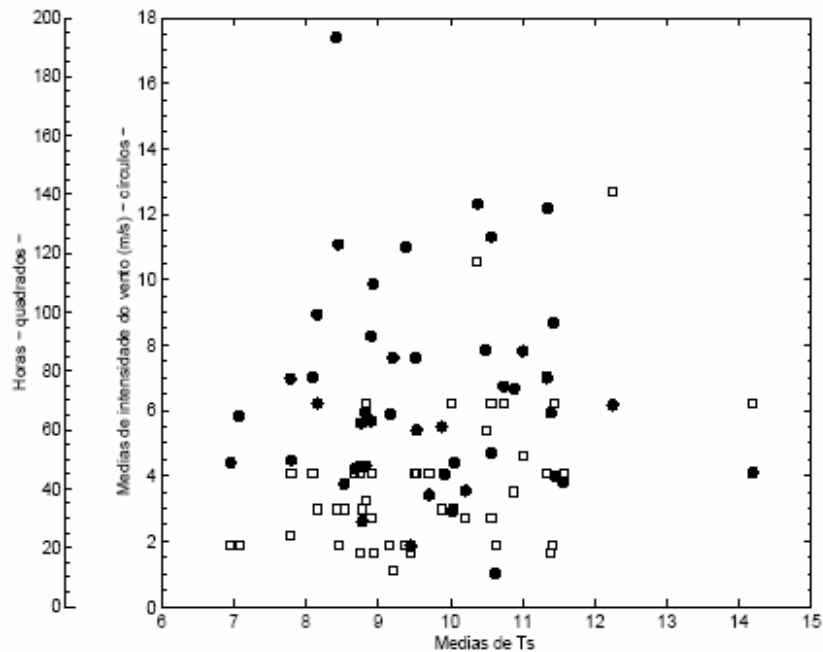


Figura II.5.1-29 – Médias de duração, intensidade e direção do vento e período significativo das ondas (Ferreira de Pinho, 2003).

A média de duração das passagens dos ciclones foi de aproximadamente 42 horas, com intensidades médias do vento de 6,5m/s. A direção média dos ventos associados à passagem dos ciclones foi de 218°. A maior média de vento durante um evento de mau tempo de SW foi de 13,8m/s e uma duração média de 53 horas. O valor máximo foi de 18,2m/s com direção de 238° e a altura e período significativos de 3,6m e 9,5s, respectivamente. A altura significativa média para todos os eventos de mau tempo de SW foi em torno de 2,6m, enquanto que o período significativo médio foi de 10,8s. O maior $H_{1/3}$ médio foi de aproximadamente 3,9m, com uma média de período significativo de 12,3s para este evento. Nota-se pela Figura II.5.1–29 que os maiores valores médios de $T_{1/3}$ estão associados às maiores médias de duração, o que também ocorre para valores médios de $H_{1/3}$ (Figura II.5.1–28). Por outro lado, valores médios altos de intensidade do vento não correspondem necessariamente a altos valores médios de $T_{1/3}$, mas sim a altos valores de $H_{1/3}$.

A correlação entre a intensidade do vento e a altura significativa para a condição de mau tempo de sudoeste pode ser observada na Figura II.5.1–30. A linha vermelha corresponde a uma reta ajustada por mínimos quadrados aos dados. Seu coeficiente linear é 1,5 e o coeficiente angular é 2,2. Há uma grande correlação entre estes dois parâmetros. Porém, os ventos medidos pela bóia meteoceanográfica são pontuais e muitas vezes podem não corresponder ao vento efetivo, que seria o vento que sopraria com intensidade e direção constante sobre toda a pista onde as ondas são geradas. Este pode ser considerado um dos motivos para o grande espalhamento dos dados representados na Figura II.5.1–30.

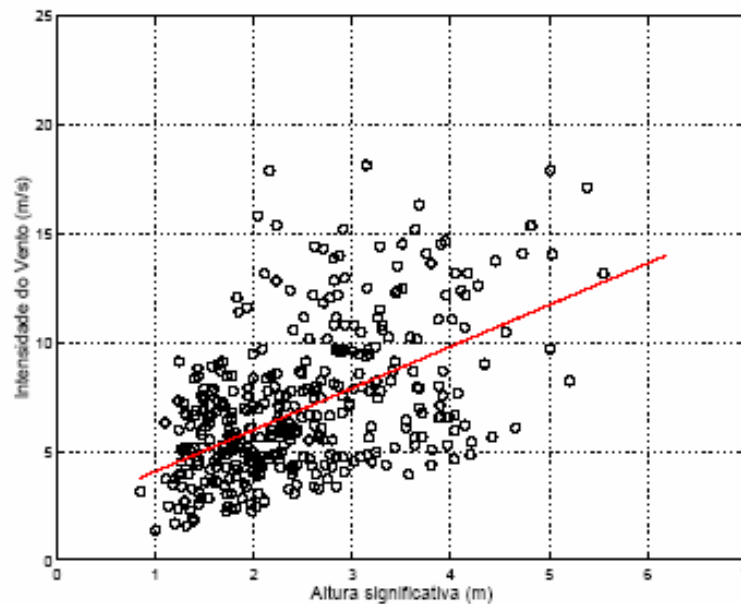


Figura II.5.1–30 – Relação entre altura significativa e intensidade do vento – situação de mau tempo de SW (Ferreira de Pinho, 2003).

- **Situação de Mau Tempo de SE:** Ocorre quando após a passagem de uma frente fria um anticiclone polar domina a circulação na região. Durante esta situação houve maior ocorrência de ventos com direções entre 120° e 135° e intensidades entre 6m/s e 8m/s.

A maior parte das ondas individuais tem alturas entre 0,5m e 1m e período entre 4s e 5s. As maiores ondas (alturas maiores que 8m) tinham período entre 10s e 15s. As ondas com os maiores períodos, na faixa de 18s a 20s, tinham altura variando entre 0,5m e 3,5m.

As ondas significativas mais freqüentes tiveram períodos entre 9 e 12s e alturas entre 2m e 3m. Os maiores períodos significativos $T_{1/3}$ observados são inferiores a 14s e os maiores períodos de pico tinham entre 14 e 16s. As maiores alturas significativas têm valores entre 4m e 4,5m.

Ferreira de Pinho (2003) realizou médias de duração e intensidade do vento além de médias dos parâmetros de ondas, altura significativa (H_s) e período significativo (T_s) para cada evento de mau tempo de SE. As Figuras II.5.1–31 e II.5.1–32 mostram a relação dos parâmetros do vento (duração, intensidade e direção) com os de ondas ($H_{1/3}$ e $T_{1/3}$).

Os ventos sopraram de direções em torno de SE, em média, durante um período de 55 horas, com uma intensidade média de 6,8m/s e direção média

de 134°. As ondas neste caso tiveram altura significativa média de 2,2m e período significativo médio de 10,2 segundos.

A situação de mar de SE parece ser a mais heterogênea, tanto em termos de valores médios de ondas como dos ventos. Isto pode ser atribuído ao fato de se tratar de uma situação de transição entre a passagem de uma frente fria e a volta da situação de bom tempo.

De acordo com o observado na Figura II.5.1–32, parece haver uma relação entre maiores médias de intensidades e duração do vento com maiores médias de $H_{1/3}$. Quanto aos períodos médios, estes apresentam maior relação com a duração dos ventos.

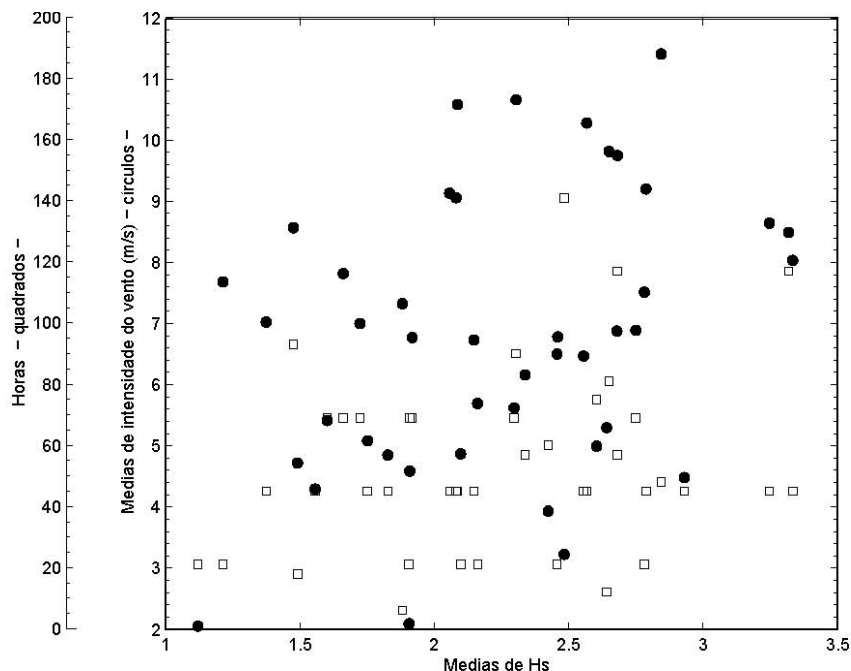


Figura II.5.1–31 – Médias de duração e intensidade do vento e altura significativa das ondas (Ferreira de Pinho, 2003).

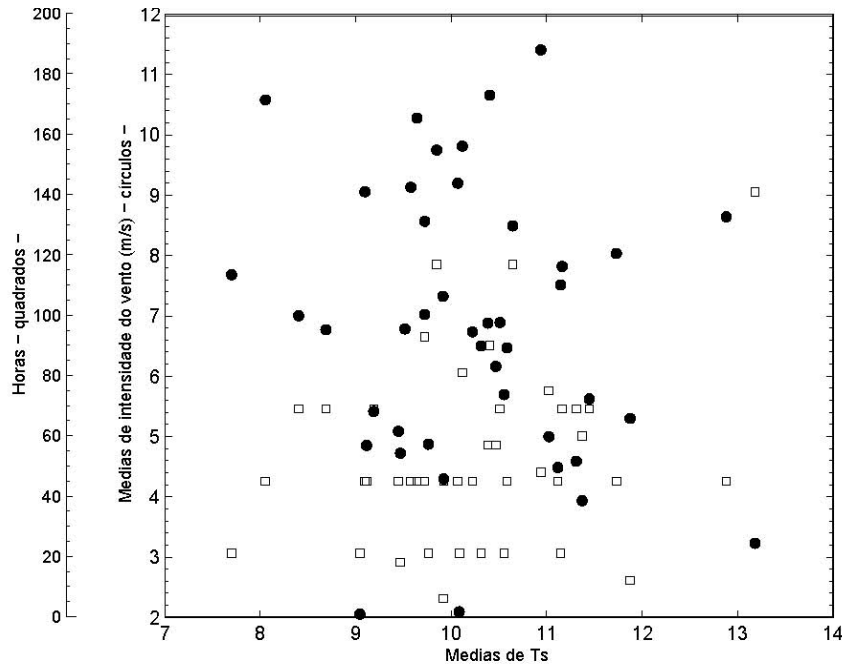


Figura II.5.1-32 – Médias de duração e intensidade do vento e período significativo das ondas (Ferreira de Pinho, 2003).

Há uma boa correlação entre as alturas significativas e as intensidades dos ventos (Figura II.5.1-33). A reta ajustada aos dados por mínimos quadrados (linha vermelha) tem um coeficiente linear de 1,4 e angular de 2,3. Estes parâmetros se correlacionam bem nesta situação, não havendo espalhamento expressivo dos dados.

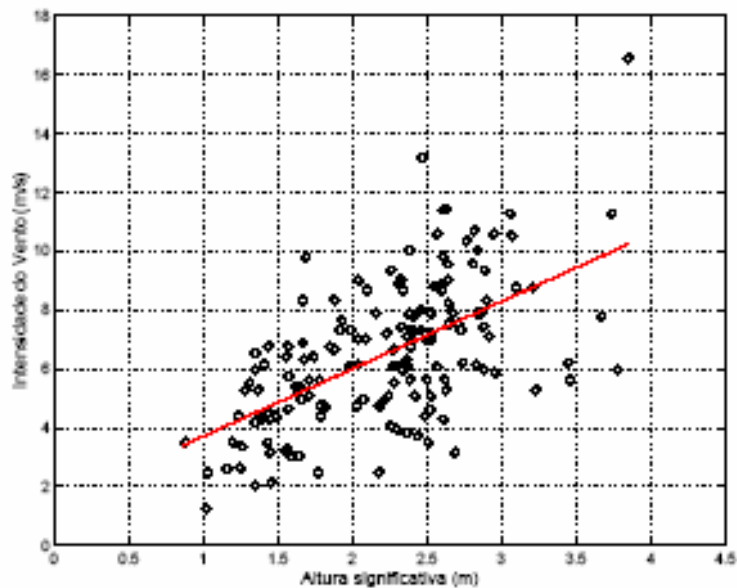


Figura II.5.1-33– Relação ente altura significativa e intensidade do vento – situação de mau tempo de SE (Ferreira de Pinho, 2003).

Além da classificação do estado de mar proposta pelo Ferreira de Pinho (2003), foi utilizada também a caracterização do clima de ondas elaborada para a Bacia de Campos por Violante de Carvalho (1998) e Seixas (1997), e os dados disponíveis no BNDO, para o período de 1958 a 2002.

Segundo Seixas (1997), o mar mais comum na região foi aquele com ondas entre 20 e 10s de período oriundas do octante Sul, seguido por ondas entre 10s e 6,6s oriundas dos octantes Leste e Nordeste. Estes três mares juntos totalizaram mais da metade das ocorrências estudadas na região, constatando-se, assim, a existência dos três picos de energia, isto é, contribuições ondulatórias de 3 origens distintas: Vagas, Mar Quasi-Local e Marulhos. Com relação puramente à direção, predomina o octante S seguido por NE, em menor escala os octantes E, SE e SW, uma fraca ocorrência do N e pouquíssimos casos de W e NW. Esta distribuição pode ser explicada pelas ações do centro de baixa pressão do Atlântico, ao Sul da área estudada, e do centro de alta pressão, na região central do mesmo oceano.

Utilizando os mesmos dados analisados por Ferreira de Pinho (2003), Violante de Carvalho (1998) classificou o clima de ondas, de acordo com as forçantes meteorológicas atuantes, em quatro situações distintas, separadas em dois grandes grupos.

- 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.

Os histogramas (Figura II.5.1–34, Figura II.5.1–35 e Figura II.5.1–36) baseados nos dados do BNDO no período de 1958 a 2002, corroboram tais informações.

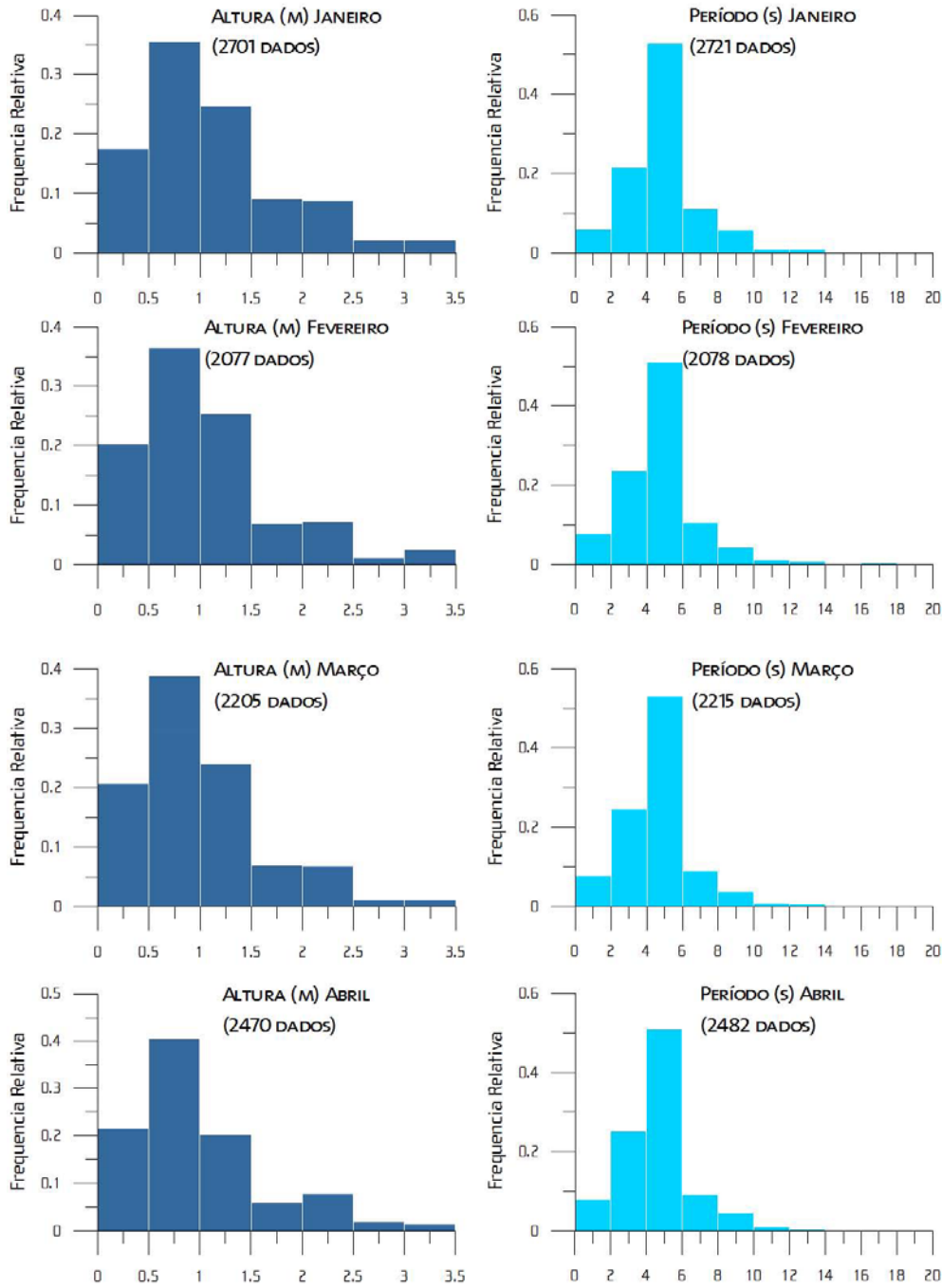


Figura II.5.1–34 - Histogramas de altura e período de ondas, para os meses de janeiro a abril. Fonte: BNDO período de 1958 a 2002

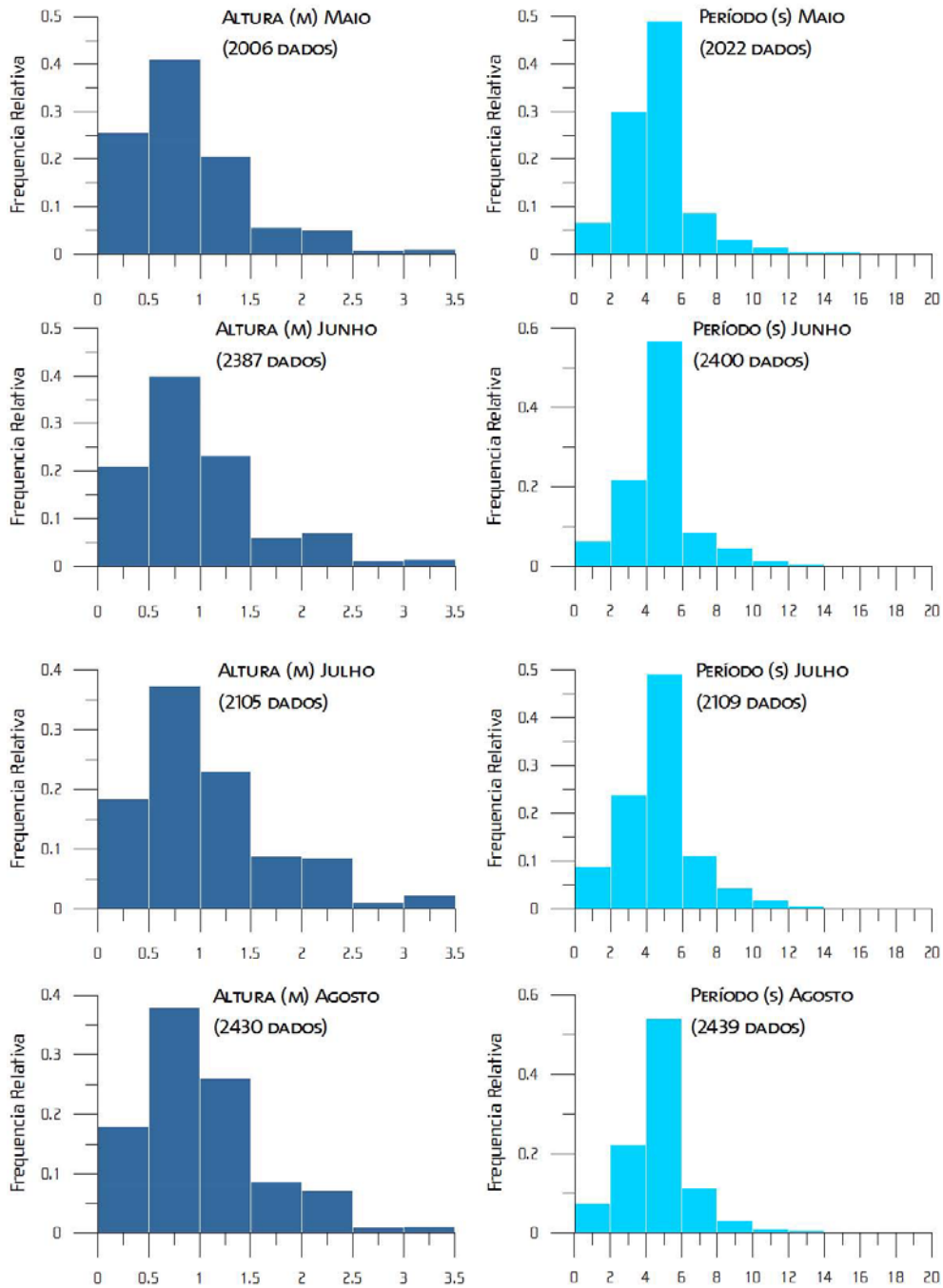


Figura II.5.1–35 - Histogramas de altura e período de ondas, para os meses de maio a agosto. Fonte: BNDO período de 1958 a 2002.

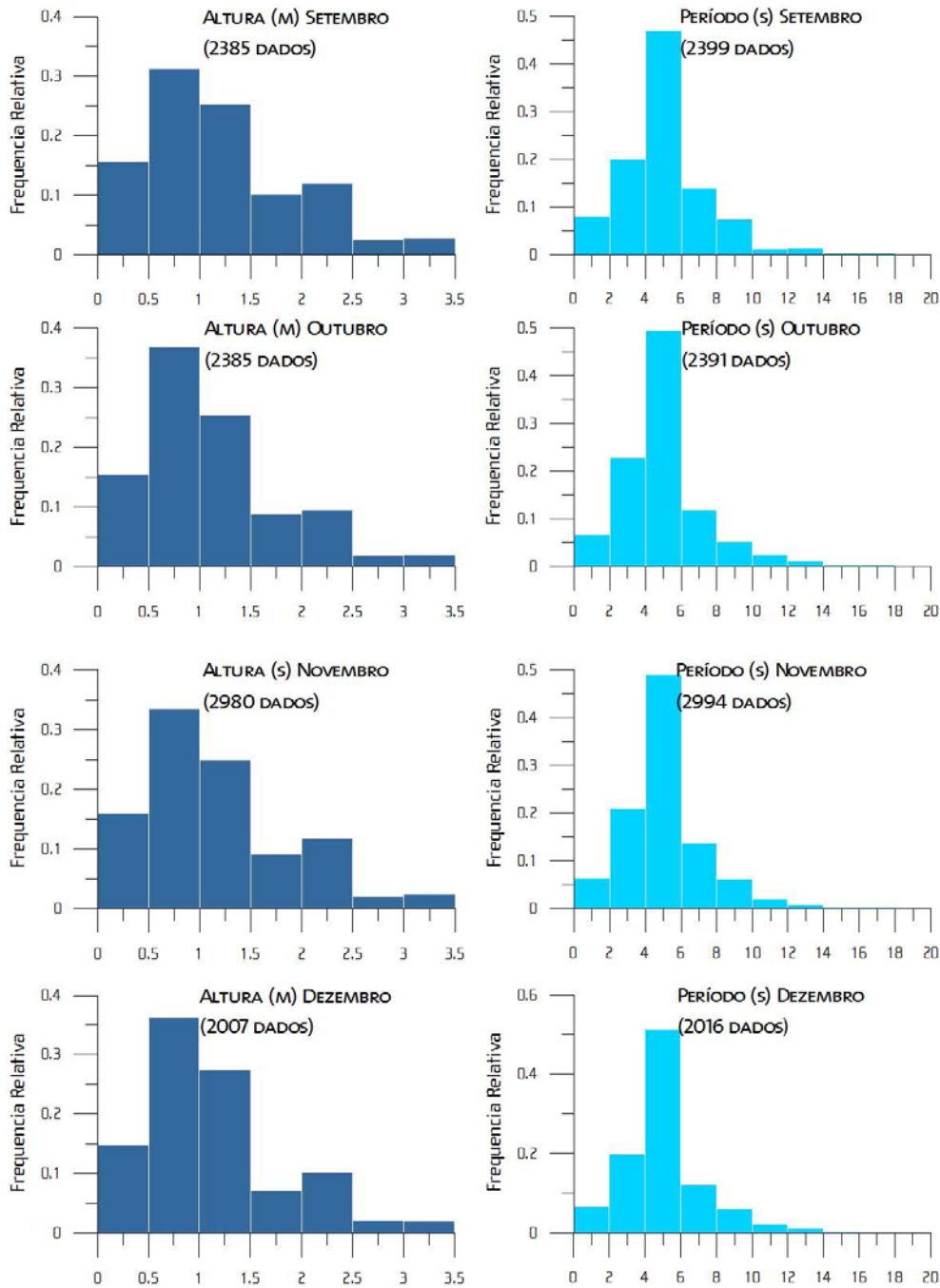


Figura II.5.1–36 - Histogramas de altura e período de ondas, para os meses de setembro a dezembro. Fonte: BNDO período de 1958 a 2002.

Observa-se nos histogramas apresentados que a classe de altura (gráficos azul escuro) mais freqüente é a de 0,5 a 1 m e o período (gráficos azul claro) mais freqüente está entre 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 a situações de *swell*.

- **Refração de Ondas:** Sobre a plataforma continental, a refração é uma componente muito importante na propagação das ondas. A refração ocorre quando existe variação transversal da celeridade de propagação das ondas, sendo esta velocidade de propagação, por hipótese da teoria linear, função apenas da profundidade local da coluna d'água.

A propagação das ondas em águas intermediárias e rasas é basicamente governada pela geometria da plataforma continental e pelos ventos. Esta geometria produz refração em grandes extensões do campo de ondas.

A refração sobre os bancos de areia da plataforma interna e a convergência de ortogonais sugere a possibilidade de que seja uma causa para a erosão na litoral Norte do Estado do Rio de Janeiro (Atafona) (GUERRA, 1994). Esta convergência ocorreu nos experimentos que simulam ondas provenientes de E, que são as ondas mais freqüentes durante o inverno. A inversão do sentido de propagação da componente de direção N-S de ondas provenientes da direção de S, sugere a possibilidade de que ondas são aprisionadas pelo Cabo de São Tomé.

A refração na propagação de ondas oceânicas ocorre em diversos locais da região geográfica estudada, inclusive sobre a plataforma média externa. Novamente, de acordo com GUERRA (2004), a refração governa a propagação dessas ondas sobre grande parte da plataforma continental.

Os dados de ondas foram obtidos durante um ano de medições com ondógrafos, em *offshore*, na latitude 22° 22' 24"S e longitude 040° 25' 06"W. A batimetria foi obtida a partir de cartas náuticas nas escalas 1:300.000 e 1:1.000.000.

A partir da análise estatística dos espectros das ondas foram selecionadas as principais ondas para o estudo da refração monocromática. Utilizando-se de informações sobre a direção, altura e período destas ondas no ponto onde

foram feitas as medições obteve-se a estimativa do comportamento do mar, numa área oceânica com ordem de 250.000 km².

As Figuras II.5.1-37 a II.5.1-38 correspondem a ondas com origem na direção NE, que foi a direção com maior ocorrência ao longo do ano. Estas ondas apresentaram períodos abaixo de 14 segundos e alturas significativas que chegam a 4 m.

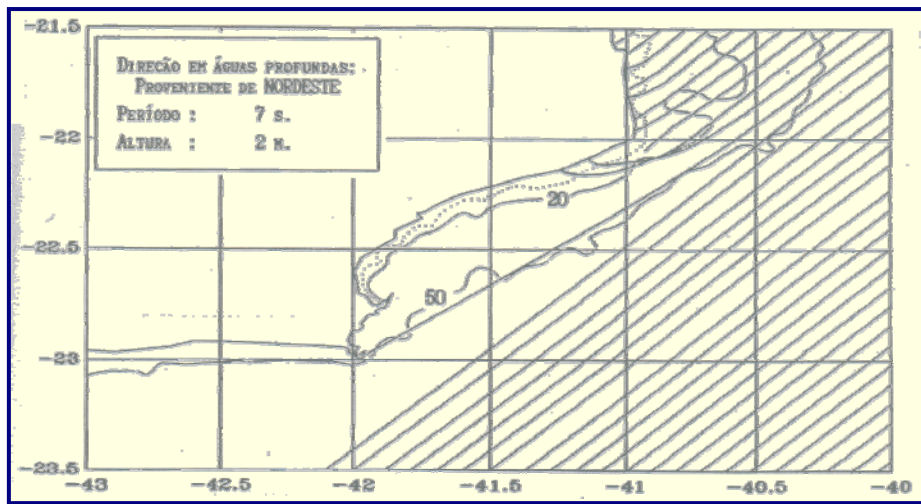


Figura II.5.1-37: Refração a Leste do Rio de Janeiro de ondas provenientes de NE com período de 7 segundos e altura de 2 m (GUERRA, 1994).

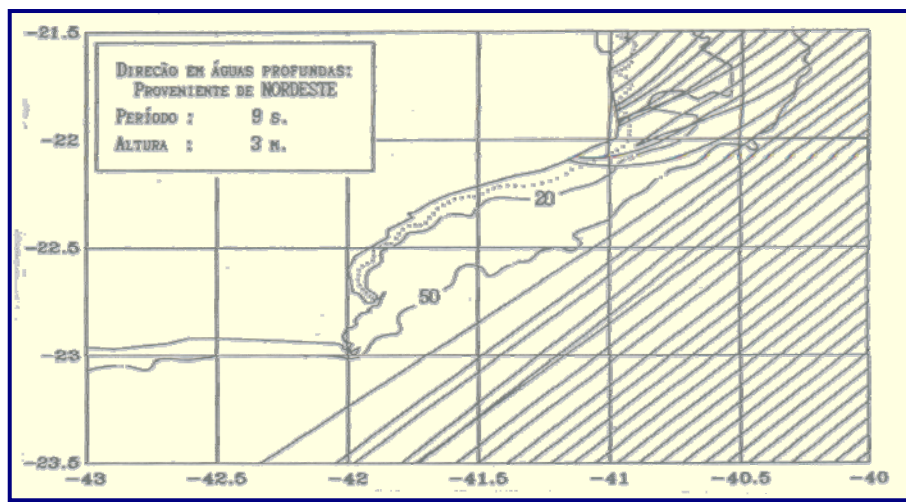


Figura II.5.1-38: Refração a Leste do Rio de Janeiro de ondas provenientes de NE com período de 9 segundos e altura de 3 m. (GUERRA, 1994).

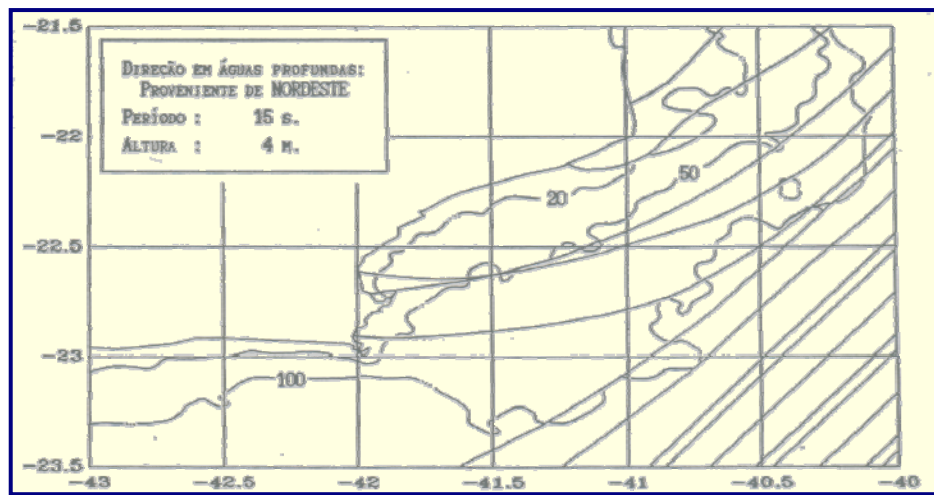


Figura II.5.1-39: Refração a Leste do Rio de Janeiro de ondas provenientes de NE com período de 15 segundos e altura de 4 m (Guerra, 1994).

Nas Figuras II.5.1-38 e II.5.1-39 observa-se que as ondas com períodos pequenos somente refratam pela geometria da plataforma continental quando em áreas costeiras. Nota-se que ao largo do Cabo de São Tomé ocorre uma pequena convergência, com o encurvamento das ortogonais sobre os baixios. E ainda é possível constatar que entre as latitudes de 22° e 23°S, a quase ausência de ortogonais que chegam ao litoral mostra uma extensa divergência, com relativa diminuição da altura das ondas.

A Figura II.5.1.2-40 mostra um comportamento similar ao das ondas anteriores, mas a convergência ao largo do Cabo de São Tomé é fortemente acentuada. No Cabo de Búzios, o mar tende a ficar agitado, em decorrência de ortogonais que se desviam sobre elevação submarina nas proximidades da plataforma de Garoupa.

Uma comparação entre as Figuras II.5.1-38 e II.5.1-39 nos mostra a evolução da refração das ondas de NE com o período. A diferença é marcante no grau de encurvamento relativo ao período de 15 segundos, que deve produzir agitação nas águas da enseada compreendida entre as latitudes 22° e 23°.

As Figuras II.5.1-40 e II.5.1-41 mostram diversos aspectos do comportamento das ortogonais nos planos de refração das ondas provenientes de SE.

Praticamente todo o litoral recebe o embate direto destas ondas, com exceção das enseadas à solta-mar do Cabo de Búzios e da Ilha do Cabo Frio, que encontram-se abrigadas destas ondas por consequência de feições geográficas, como a elevação do fundo do mar. Esse fato pode ser visto na Figura II.5.1-41, onde as ondas com períodos grandes convergem nas proximidades de NE e E do Cabo Frio. Observa-se também, o encurvamento das ortogonais no sentido horário, ao se aproximarem do litoral a W de Cabo Frio.

Na Figura II.5.1-40 pode ser observada uma suave convergência a NE do Cabo de São Tomé e o cruzamento de ortogonais a E de Atafona, devido à proeminência do banco de areia demarcado pela isóbata de 20 m.

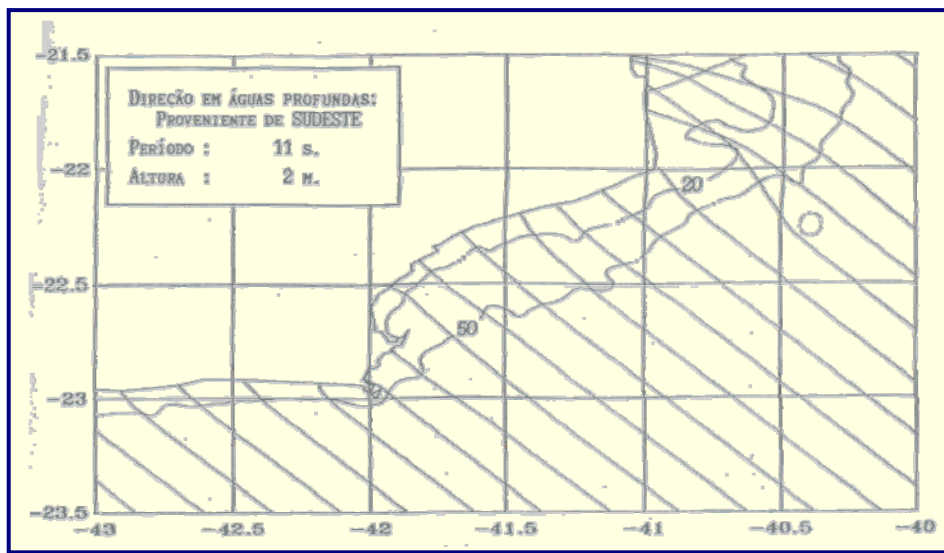


Figura II.5.1-40: Refração a Leste do Rio de Janeiro de ondas provenientes de Sudeste com período de 11 segundos e altura de 2 m. (GUERRA, 1994).

Da mesma forma, na Figura II.5.1-41 é possível notar a convergência no plano de refração ao passar sobre o fundo proeminente, que se eleva a 56 m de profundidade, em torno da latitude $23,2^{\circ}\text{S}$ e $041,6^{\circ}\text{W}$, a ESE de Cabo Frio. As ortogonais se cruzam devido a vários fatores como a convergência acentuada e cruzamento de ortogonais gerados pela declividade na borda externa da plataforma continental, a 23°S e $040,8^{\circ}\text{W}$, onde a isóbata de 100 m avança em forma de ponta em direção à isóbata de 200 m. Outros fatores

considerados são: (a) a divergência sobre a depressão do fundo, provável *canyon* pretérito do Rio Paraíba do Sul, em 22 °S e 040,8°W, (b) a convergência na posição 22,4°S e 041,1°W sobre a forma em cunha das isóbatas de 100 e 80 m; (c) a divergência a NE do Cabo de São Tomé, sobre canal submerso na profundidade de 20 m; (d) a forte convergência ao largo de Atafona, demonstrada no cruzamento de diversas ortogonais; e (e) a alternância de convergências na região compreendida entre as adjacências do Cabo de São Tomé e o Cabo Frio, entre as isóbatas de 100 m e o litoral.

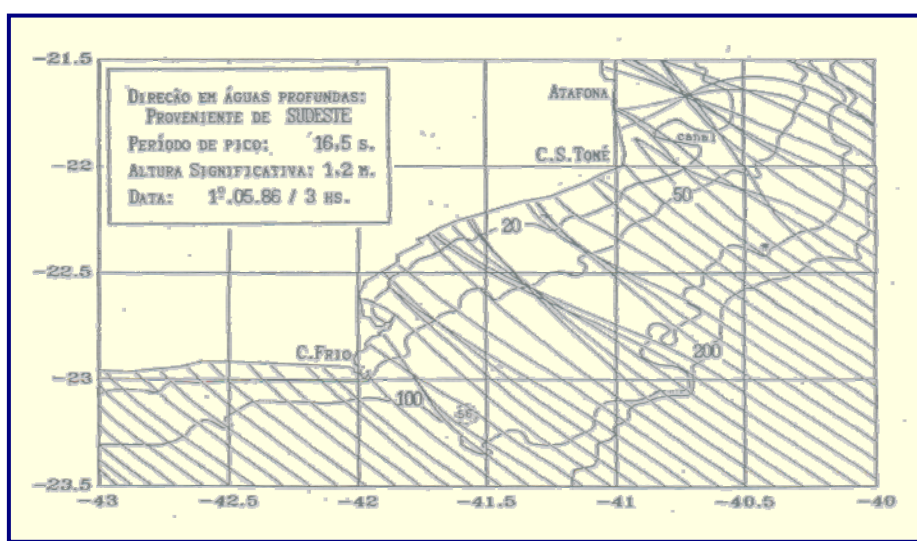


Figura II.5.1-41: Refração a Leste do Rio de Janeiro de ondas provenientes de Sudeste com período de 16,5 segundos e altura de 1,2 m. (GUERRA, 1994).

Nas Figuras II.5.1-42 a II.5.1-44 estão apresentadas as ondas características de SW e SSW. A Figura II.5.1-42 é relativa a ondas com origem na direção SSW e período de 12,6 segundos, cuja altura significativa de 5,1 m, foi a maior registrada no período de observações. É possível notar que as ortogonais curvam-se mais do que 45° no limite norte da área em relação à direção em águas profundas, ao passarem sobre os bancos de areia a E do Cabo de São Tomé, com profundidades menores do que 50 metros, produzindo forte divergência mais ao largo. E nota-se também uma convergência a NE do Cabo de São Tomé.

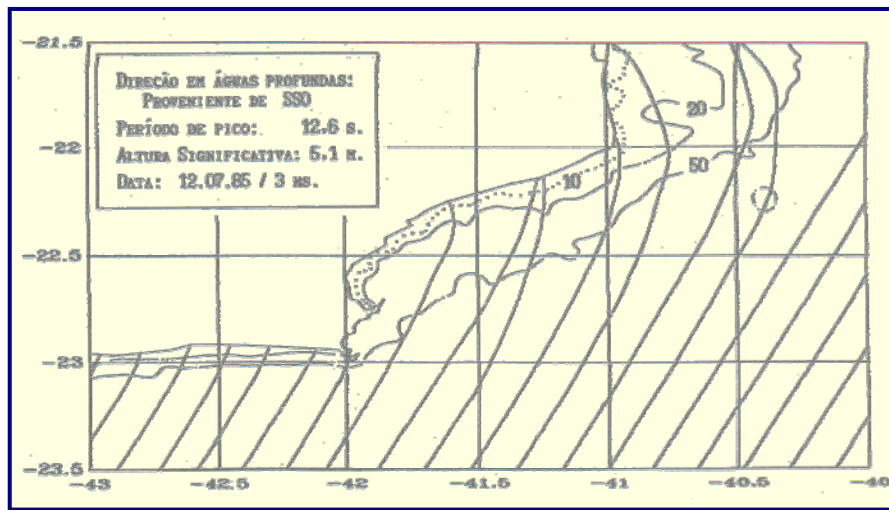


Figura II.5.1-42: Refração a Leste do Rio de Janeiro de ondas provenientes de Sul-Sudoeste com período de 12,6 segundos e altura de 5,1 m. (GUERRA, 1994).

Na Figura II.5.1-43 é mostrado ondas provenientes de SW com período de 9,5 segundos, mostrando ortogonais retilíneas. O embate direto na costa a W do Cabo Frio é intenso. Todo o litoral a norte deste cabo encontra-se abrigado quanto às ondas refratadas.

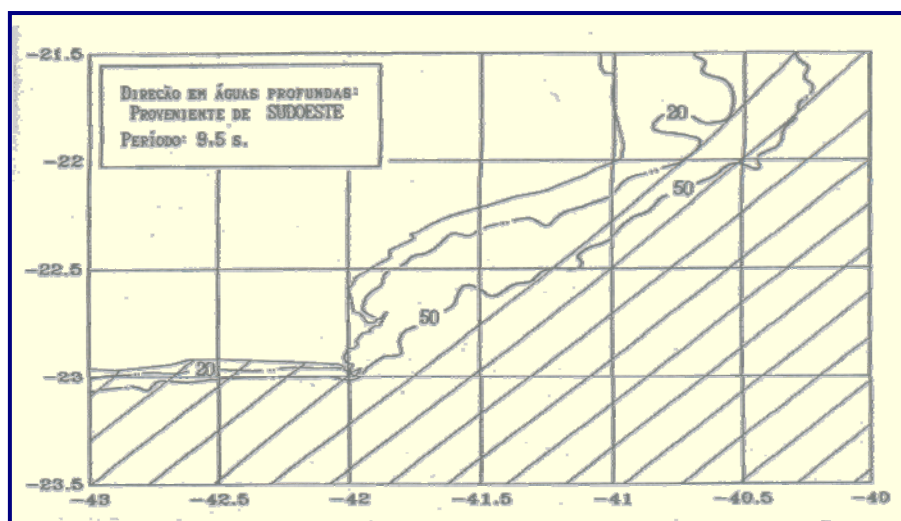


Figura II.5.1-43: Refração a Leste do Rio de Janeiro de ondas provenientes de Sudoeste com período de 9,5 segundos.

A Figura II.5.1-44 apresenta onda com origem na direção SW e período de 11 segundos, tendo ocorrido alturas significativas maiores do que 4 m.

Observa-se que uma ortogonal sobre a isóbata de 20 m encurva-se de 45°, ao largo do Cabo de São Tomé.

Apesar da “enseada” do Cabo de Búzios a Macaé ser relativamente abrigada dos marulhos de SW refratados, mesmo com períodos grandes, no caso de ocorrências de ondas suficientemente altas, deve ser observado batimento de ondas no litoral devido à difração.

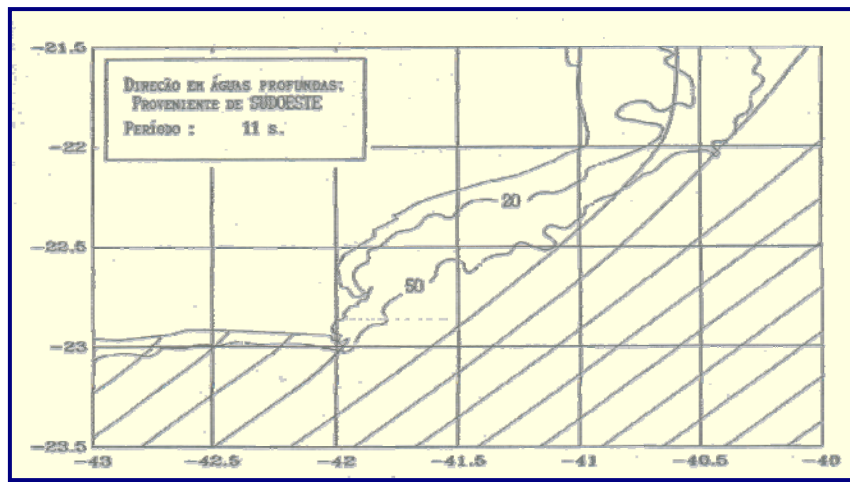


Figura II.5.1-44: Refração a Leste do Rio de Janeiro de ondas provenientes de Sudoeste com período de 11 segundos. (GUERRA, 1994).

II.5.1.2.5 - 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:

F = 0 a 0,25: Maré semidiurna: 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 à outra, o mesmo acontecendo com a baixamar.

F = 0,25 a 1,5: Maré mista: principalmente semidiurna: 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.

F = 1,5 a 3,0: Maré mista: principalmente diurna: 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.

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

Para a caracterização da maré na região do empreendimento foram utilizadas as constantes harmônicas medidas em três estações maregráficas da PETROBRAS na Bacia de Campos, localizadas em 22° 6' S e 040° 1' W (Norte 1), em 22° 2' S e 039° 52' W (Norte 2) e em 22° 54' S e 040° 47' W (Sul 1) (Tabela II.5.1–2).

Tabela II.5.1–2 – Valores de amplitude e fase das principais componentes harmônicas, calculadas para as estações maregráficas utilizadas (janeiro 1994 a maio de 1995). Fonte: FEMAR, acessado em 2005.

Componente	Norte 1		Norte 2		Sul 1	
	Amplitude	Fase	Amplitude	Fase	Amplitude	Fase
Q1	2,2	57	2,7	77	2,7	77
O1	7,5	90	10,9	116	8,7	103
K1	3,8	166	6,5	177	4,9	142
N2	7	97	6,2	104	4,9	109
M2	37,8	90	42	98	31,5	90
S2	17	95	19	111	14,8	82
K2	4,5	90	4,6	84	5,8	69

Para a região de interesse temos:

- $FN1 = (3,8+7,5) / (37,8+17) = 0,206$ – maré semidiurna
- $FN2 = (6,5+10,9) / (42+19) = 0,285$ – maré mista predominantemente semidiurna
- $FS1 = (4,9+8,7) / (31,5+14,8) = 0,293$ – 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:

- $2x(M_2+S_2) = 109,6$ cm para a estação Norte 1;
- $2x(M_2+S_2) = 122$ cm para a estação Norte 2.
- $2x(M_2+S_2) = 92,6$ cm para a estação Sul 1.

De acordo com os dados da Tabela II.5.1–2, observa-se que as principais componentes para a região são M_2 e S_2 , com amplitudes de 42,0 cm e 19,0 cm, respectivamente. A componente O_1 tem amplitude de 10,9 cm e todas as demais componentes apresentam amplitudes inferiores a 10 cm.

A Figura II.5.1-45 apresenta o mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré de acordo com o modelo CSR3 (Modelo Global de maré do *Center for Space Research* da Universidade do Texas), para a costa Sul-sudeste brasileira. Observa-se que esta é uma região de baixíssima resposta a forçante astronômica da maré, fato esperado pela relativamente pequena largura da plataforma continental.

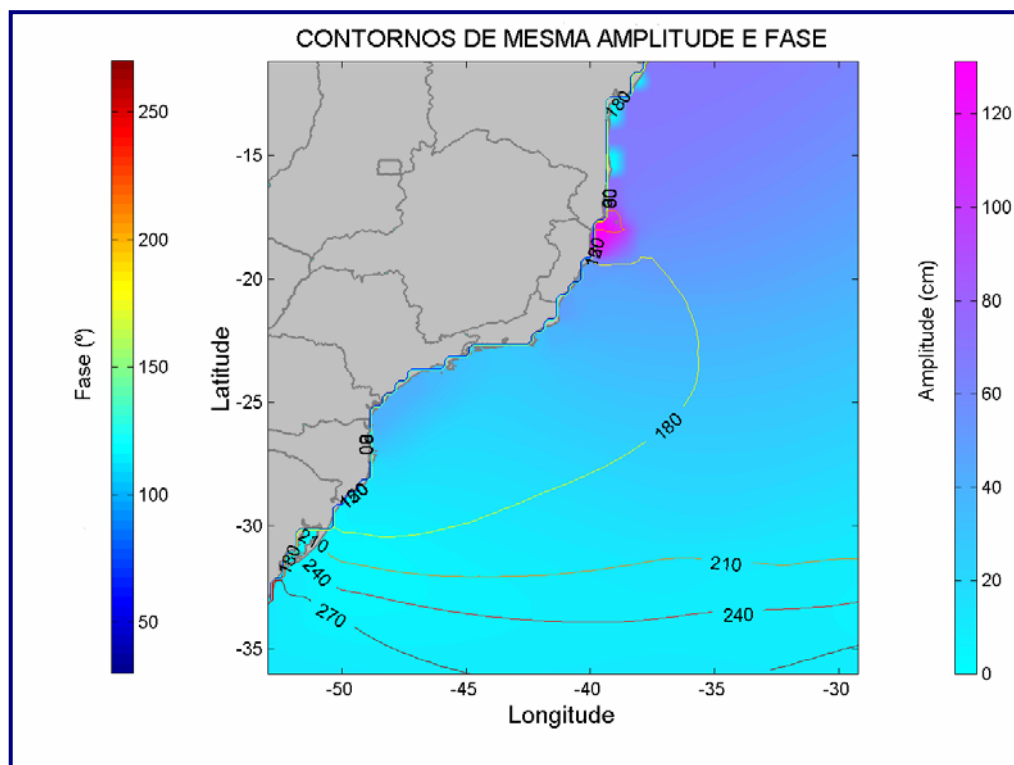


Figura II.5.1-45: Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente M_2 .

II.5.1.2.6 - Regime de Correntes

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). Esta circulação é complexa e apresenta características e padrões que variam ao longo da coluna d'água.

Entre a superfície e 500m, aproximadamente, a região do empreendimento sofre a influência da Corrente do Brasil, uma corrente quente e salina que flui de norte para sul ao longo da costa brasileira no bordo oeste do giro subtropical do Atlântico Sul, podendo ser encontrada sobre a plataforma continental ou próxima ao talude continental (FUNDESPA/IOUSP/PETROBRAS, 1994). A seguir são apresentadas algumas estimativas de valores de transporte e de velocidade da Corrente do Brasil, de acordo com os seguintes autores:

a) Evans *et al.* (1983)

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 ao norte e ao sul da cadeia Vitória-Trindade (20,30°S).

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.

b) Lima (1997)

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.

c) Signorini *et al.* (1978).

A estrutura da corrente e o transporte de volume, relativos a 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 na Tabela II.5.1–3.

Tabela II.5.1–3 – Valores de velocidade e transporte da Corrente do Brasil.

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° S	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 estão disponíveis na Internet no endereço www.dsr.inpe.br/pnboia/pnboia.html.

Para as análises realizadas neste relatório, foram selecionadas as bóias que passaram pela área do empreendimento ou região próxima. Os dados analisados foram obtidos de cinco bóias lançadas nos anos de 1999, 2002 e 2003. As trajetórias das bóias analisadas podem ser observadas na Figura II.5.1–46 e os vetores de corrente na Figura II.5.1–47.

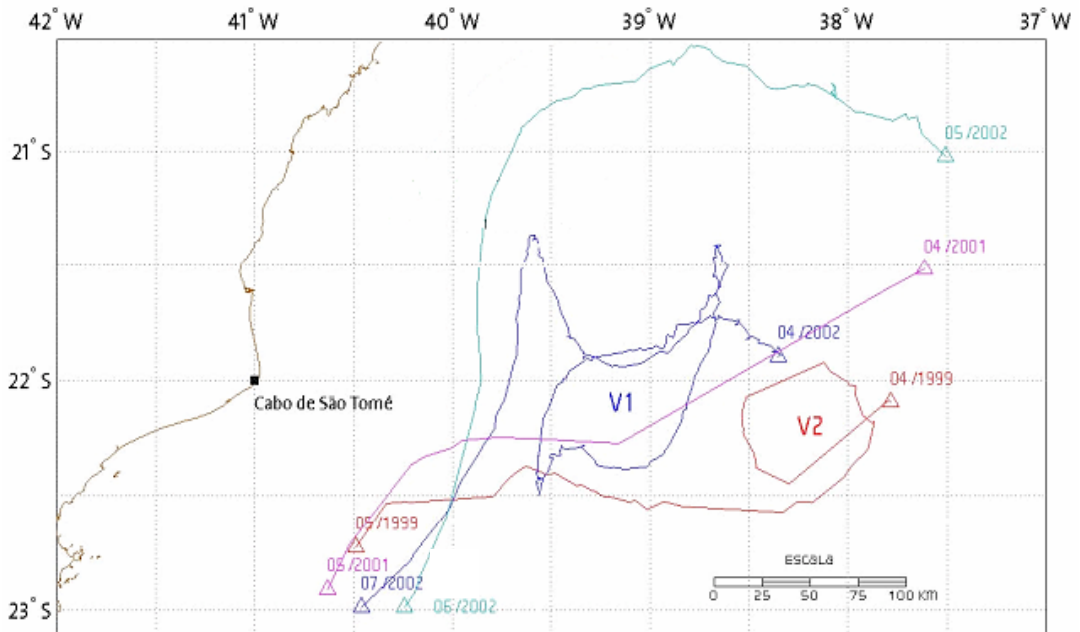


Figura II.5.1-46- Trajetória das bóias analisadas. Fonte: PNBOIA

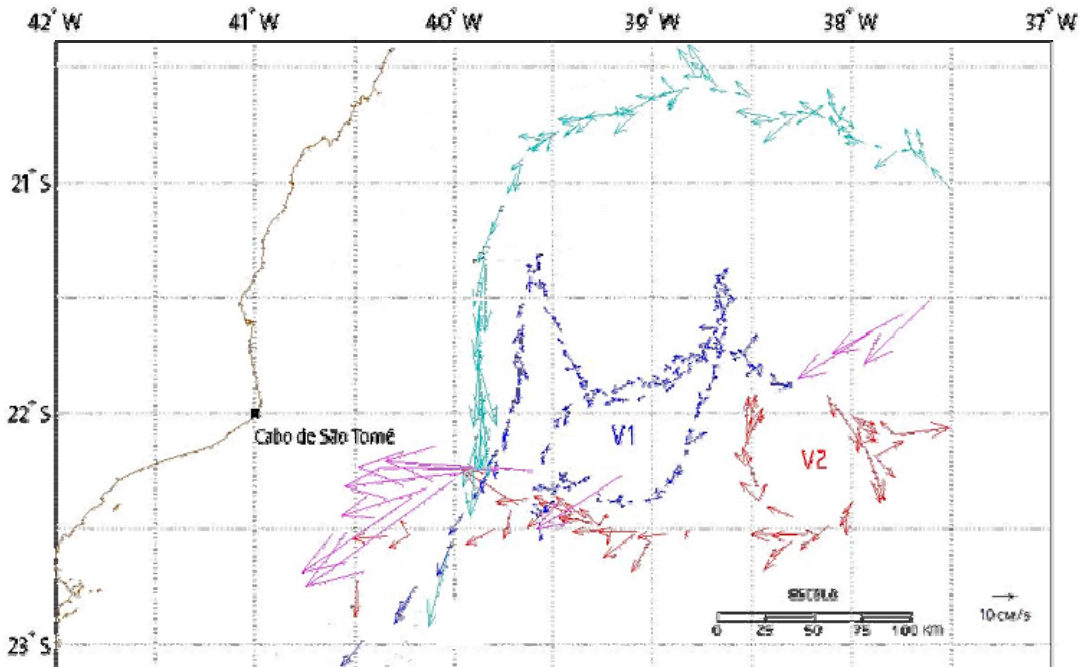


Figura II.5.1-47 - Vetores de correntes associados às trajetória de cada bóia. Fonte: PNBOIA.

Nota-se a presença de dois vórtices (V1 e V2) a nordeste da área do empreendimento. 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. Possuía cerca de 50 km de diâmetro e as velocidades encontradas em seu redor eram de aproximadamente de 0,2 m/s. O vórtice V2 encontrava-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 era de aproximadamente 100 km com velocidades registradas em torno de 0,15 m/s.

Todas as bóias foram lançadas à 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 longitudes entre 039° e 039° 30' W. A partir dessa região passaram a derivar rumo a sudoeste, quando as velocidades tenderam a aumentar, atingindo valores superiores a 0,5 m/s.

Pode-se observar na Figura II.5.1–48 um aumento da velocidade à medida que a bóia se dirigia para longitudes menores que 030° 30' W. Na Figura II.5.1–47 pode-se observar também um aumento da velocidade em latitudes maiores que 22° S. Esse comportamento pode ser creditado à entrada dos derivadores na região mais central da Corrente do Brasil, onde esta possui fluxo mais intenso, com velocidades em torno de 0,5 m/s e rumo sudoeste.

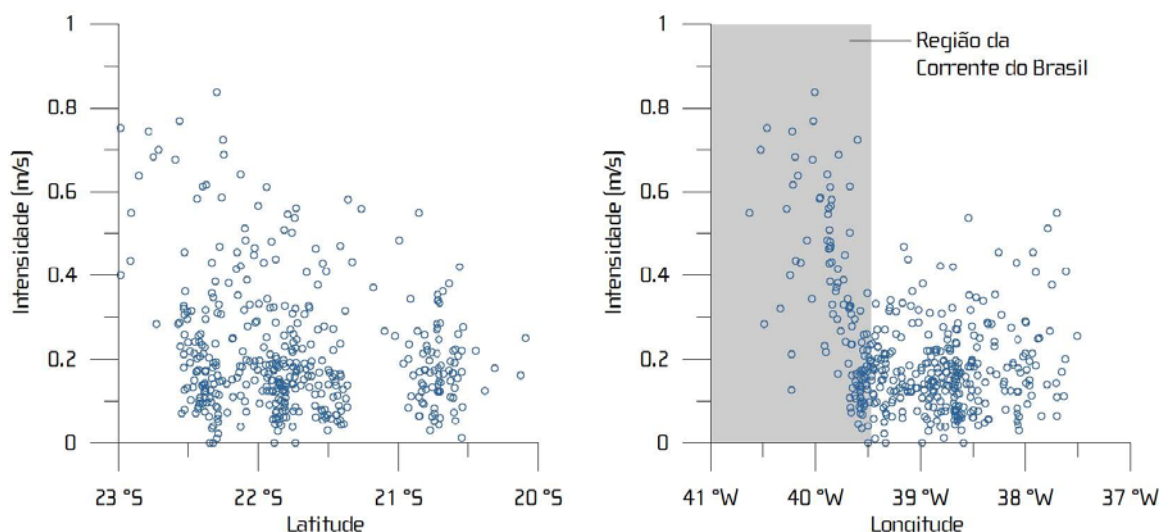


Figura II.5.1–48 - Gráficos de dispersão dos valores de intensidade de correntes em latitude e longitude. Fonte: PNBOIA

Pode-se concluir, com base nos dados analisados, que as correntes superficiais na região do empreendimento apresentam duas regiões distintas: uma a leste de $039^{\circ} 30' W$ com direção predominante para oeste e velocidades em torno de 0,2 m/s; e outra a oeste de $039^{\circ} 30' W$, sob a influência da Corrente do Brasil, com velocidades em torno de 0,5 m/s (intensificando-se ao sul de $22^{\circ} S$) e direção SW.

Outro fator importante a se destacar nas proximidades da área do empreendimento é a presença de vórtices, registrados em dois anos distintos em localidades próximas e com características semelhantes.

II.5.1.2.7 -Condições Extremas

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, por exemplo, em altas latitudes.

Conforme Ferreira de Pinho (2003), as condições extremas de ondas na Bacia de Campos estão associadas a passagens de frentes frias pela costa sudeste brasileira. Estas frentes frias são antecipadas pela ocorrência de fortes ventos do quadrante N-NE, que geralmente vão girando no sentido anticiclônico para as direções W e SW, quando ocorre a instalação do sistema frontal.

O mês de setembro foi identificado como sendo o de maior incidência desses fenômenos na região da Bacia de Campos, conforme descrito no item II.5.1.1-7. Nesse mês também foram observadas as maiores amplitudes de elevação do nível do mar (Pinho, 2003). Os dados de ondas do BNDO mostram que a ocorrência de ondas com alturas entre 2 a 2,5 m é superior a 10% (Figura II.5.1-36), sendo este o maior índice registrado para essa classe de alturas nos dados analisados.

A Tabela II.5.1-4, a seguir, apresenta as condições extremas dos parâmetros ondas, correntes e ventos para a região da Bacia de Campos, visando resumir as condições de tempestade do regime hidrodinâmico local.

Tabela II.5.1-4 – Resumo das condições extremas dos parâmetros ondas, correntes e vento para a Bacia de Campos. Fonte: PETROBRAS, 2002.

PARÂMETRO	CONDIÇÃO EXTREMA
Ondas	Bom Tempo (Direção NE) - Altura Significativa (Hs) = 3,5m Mau Tempo (Direção SW) – Altura Significativa (Hs) = 6,0m
Correntes	Corrente do Brasil superficial = 1 m/s (Direção Sul)
Ventos	6,8 m/s (Direção Sul/Sudoeste) *

* Os dados de vento são adquiridos em relação as suas médias, portanto não foi possível a determinação de valores extremos para a região.

- Direção e Intensidade de Vento em Situações de Bom Tempo

A região de interesse sofre influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que oscila em torno de sua posição média, localizando-se mais ao sul e a leste no verão (30°S e 015°W) e mais ao norte e a oeste no inverno (22°S e 030°W), gerando ventos que sopram em torno do seu núcleo, divergentes e contrários aos ponteiros do relógio e estabelecendo as condições meteorológicas mais freqüentes na região. Estas condições se apresentam com ventos de direções variáveis de N a E e de intensidades fracas a moderadas (REDEPETRO, 2001). A presença dominante do Anticiclone do Atlântico Sul é a situação mais comum de Bom Tempo, que se apresenta caracterizada por ventos do quadrante norte que podem atingir grandes intensidades. Violante-Carvalho *et al.* (1998) constataram, após análise de uma série histórica de 10 anos de dados de ventos coletados na Bacia de Campos, que a predominância de ventos de direções N, NE e E, com uma ocorrência de 13,2%, 37,5% e 14,0%, respectivamente, totalizando quase 65% de todos os ventos observados na região. Em relação às intensidades dos ventos, os mesmos autores, observaram a maior ocorrência dos valores médios entre 4m/s e 6m/s representando um pouco menos de 25% do total das ocorrências nas direções N, NE e E.

De acordo com Ferreira de Pinho (2003), os eventos de Bom Tempo estabelecem-se na Bacia de Campos em média por cerca de 92 horas, com uma intensidade média dos ventos em torno de 10 m/s (os maiores valores foram 14 e 18 m/s) e direção média do vento de 36, 7°.

As situações mais severas para condição de bom tempo são caracterizadas por ventos com direções tipicamente do quadrante norte. Estas

situações tendem a ocorrer após uma passagem de frente fria. Uma hipótese para explicar este fato pode ser a ocorrência de um deslocamento do Anticiclone do Atlântico Sul para o norte, causado pela influência do Anticiclone Polar que chega à região vindo do sul. Este último, ao se enfraquecer, funde-se ao Anticiclone do Atlântico Sul. O verão é a época do ano de maior frequência desta configuração, com destaque para os meses de dezembro e janeiro, embora possa ocorrer, de forma menos frequente, também nas demais estações no ano.

- Direção e Intensidade de Vento em Situações de Mau Tempo

As Condições de Mau Tempo ocorrem quando, após a passagem de uma frente fria, um Anticiclone Polar domina a circulação na região. Esta situação apresenta-se com uma maior ocorrência de ventos com direções entre 120° e 135° e intensidades entre 6m/s e 8m/s. (Ferreira de Pinho, 2003).

Segundo o mesmo autor, que realizou médias de duração e intensidade do vento para cada evento de mau tempo de SE, os ventos sopraram desta direção, em média, durante um período de 55 horas, com uma intensidade média de 6,8m/s e direção média de 134° .

II.5.1.3 - Qualidade da Água

II.5.1.3.1 - Introdução

O presente estudo foi realizado a partir de dados secundários disponíveis para a Bacia de Campos. Para o presente trabalho, foram selecionados os seguintes estudos e monitoramentos, como fonte de dados: Estudos de Impacto Ambiental das Concessões de Jubarte e Espadarte, campanhas de monitoramento nas plataformas de Pargo, Pampo, FPSO Espadarte, P37, SS-06, P-40, no campo de Roncador, e no bloco BC-60. A localização das plataformas que foram utilizadas como fonte de dados secundários pode ser observada na Figura II.5.1–49. Maiores detalhes podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela II.5.1-5: Estudos consultados para elaboração da caracterização da qualidade de água do presente estudo.

REFERÊNCIA	LOCALIZAÇÃO	DATA DA CAMPANHA	COORDENADAS	
			NORTE	ESTE
Paranhos, 2002 UFRJ/BIORIO/PETROBRAS	Bacia de Campos Plataforma P-40	novembro de 2001	7.506.164	390.008
Paranhos, 2001 UFRJ/BIORIO/CENPES	Bacia de Campos Campo de Roncador	setembro de 2001	entre 7.565.000 e 7.590.000	entre 400.000 e 430.000
UFRJ/BIORIO/PETROBRAS	Bacia de Campos FPSO Espadarte	setembro de 2000	7.488.000	349.922
UFRJ/CENPES	Bacia de Campos Plataforma P-37	junho de 2000	7.513.209	387.122
Paranhos, 2001 PETROBRAS	Bacia de Campos Plataforma de Pampo	xxx	7.477.900	319.995
Paranhos, 2001 PETROBRAS	Bacia de Campos Plataforma de Pargo	xxx	7.538.400	362.850
Andrade et al 2001 REVIZEE Score Central Operação central 4	Bacia de Campos	xxx	xxx	xxx
Andrade et al 1999 REVIZEE Score Central Operação central 3	Bacia de Campos	xxx	xxx	xxx
Niencheski et al 1999 REVIZEE	Bacia de Campos	xxx	xxx	xxx
Mitchell et al 1991 BIORIO/PETROBRAS	Bacia de Campos	xxx	xxx	xxx

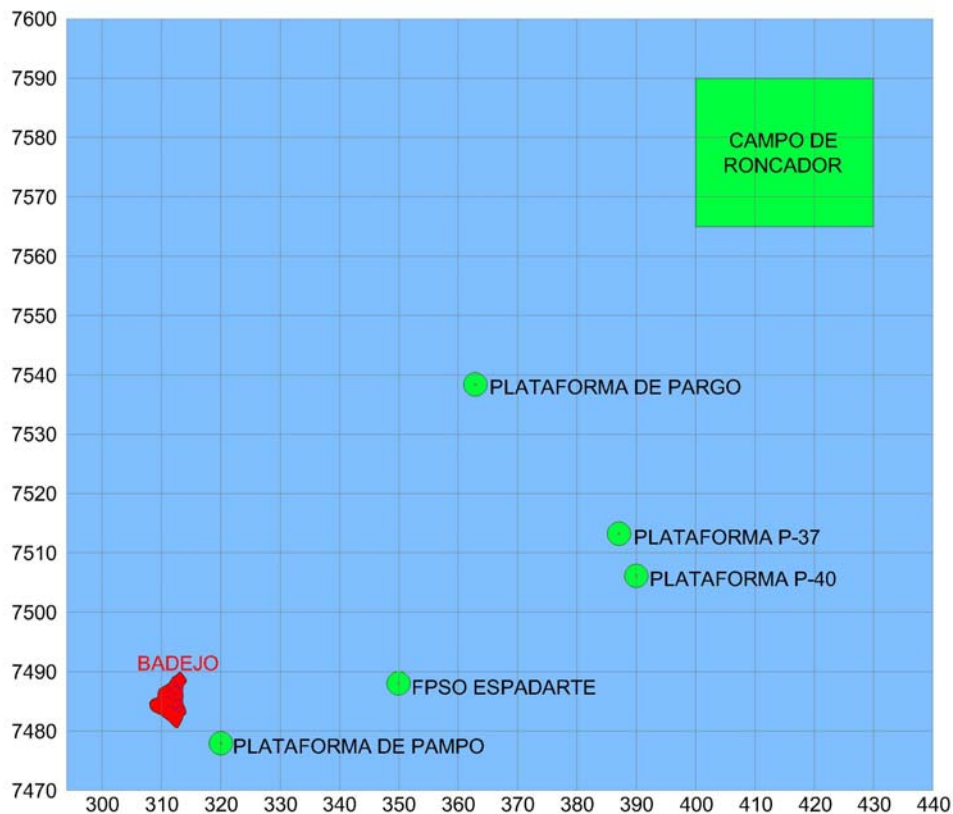


Figura II.5.1–49 - Localização dos estudos utilizados para a presente caracterização.

II.5.1.3.2 - Caracterização da Qualidade da Água

O conhecimento das características químicas da água é de fundamental importância para a compreensão das relações bióticas/abióticas naturais dos ecossistemas aquáticos e dos impactos antrópicos que podem ocorrer sobre estes ambientes. Tal caracterização é realizada através da determinação quantitativa de diversos parâmetros ambientais, dos quais destacam-se a temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, nutrientes inorgânicos e clorofila *a*. Para atividades relacionadas à exploração *offshore* de petróleo, o conhecimento sobre os níveis naturais e antrópicos de hidrocarbonetos é de fundamental importância. As interações destas informações com as características biológicas permitem importantes interpretações dos aspectos ambientais de uma região.

A área de influência do empreendimento situa-se em uma região caracterizada por apresentar clima úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Essa área apresenta uma intensa dinâmica oceanográfica que acarreta condições específicas à massa d'água local. As correntes marinhas da

região apresentam movimentos horizontais (vórtices) e verticais (ressurgência e subsidência), intimamente associados à influência dos ventos e a morfologia do fundo oceânico (PETROBRAS, 1994). Tais movimentos provocam alterações na composição físico-química da massa d'água afetando tanto a estrutura quanto a dinâmica das comunidades biológicas locais.

◆ **CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)**

As concentrações de COT na água são influenciadas por fontes naturais e antropogênicas. Como a região da Bacia de Campos é caracterizada por uma baixa produtividade, além de estar distante de fontes terrestres de matéria orgânica, possivelmente as concentrações de COT se encontram nos níveis naturais de águas oceânicas do Atlântico Sul.

De todos os estudos consultados, apenas alguns poucos realizaram a análise de formas químicas de carbono (carbono orgânico dissolvido [COD] + carbono orgânico particulado [COP] = COT), a saber, as campanhas no entorno da plataforma de SS-06 e da plataforma P-40, e na campanha no bloco BC-60. Este é um ponto comum, pois praticamente não existem informações específicas sobre a distribuição de carbono orgânico total (nas formas dissolvido e particulado) em escalas local (na região adjacente ao empreendimento) ou regional para toda a Bacia de Campos.

Os resultados disponíveis nos estudos consultados são caracteristicamente reduzidos, oscilando entre um mínimo de $0,80 \text{ mg.L}^{-1}$ e um valor máximo de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Os valores médios observados em cada campanha foram de $2,50 \text{ mg.L}^{-1}$ (superfície) e $3,30 \text{ mg.L}^{-1}$ (a 100 m) no entorno da plataforma de SS-06, e de $2,75 \text{ mg.L}^{-1}$ (superfície) e $3,10 \text{ mg.L}^{-1}$ (a 100 m) no entorno da P-40. Estes valores reduzidos estão de acordo com as características oligotróficas e, de conseqüente baixa produtividade primária da bacia sob a influência do empreendimento.

◆ **FENÓIS**

Não existem limites estabelecidos para fenóis em águas salinas da classe 3 (Resolução CONAMA 357/05). Há referência apenas para águas costeiras (classe 1), cujo limite imposto pela legislação brasileira para a concentração de fenóis é de $0,60 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$.

De todo os estudos consultados, apenas alguns poucos realizaram a análise deste parâmetro. Em nenhuma amostra foi obtido valor mensurável para fenóis totais, e sempre os valores registrados foram abaixo do limite de detecção do método (em torno de $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$).

No Programa de Pré-Monitoramento da Bacia de Campos, realizado pela PETROBRAS e focado no entorno das plataformas de produção de Pampo e Pargo, foram coletadas 46 amostras de água no verão e no inverno de 1998. Todos os resultados foram inferiores a $0,010 \text{ mg L}^{-1}$ (PETROBRAS, 1999), que foi o limite de detecção alcançado pelo método.

Em função deste panorama de resultados, os estudos não apresentam tabelas ou mapas para esta variável, bem como não foi possível descrever qualquer padrão espacial ou sazonal de distribuição deste parâmetro na área de influência do empreendimento em questão.

◆ **HIDROCARBONETOS TOTAIS**

As análises dos teores de hidrocarbonetos como os n-alcanos e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) nas águas e sedimentos são vitais para o monitoramento ambiental em áreas de exploração petrolífera. Hidrocarbonetos ocorrem em petróleo como uma mistura complexa de homólogos com predominância daqueles com dois anéis (naftalenos) e três anéis (fenantrenos e antracenos). Os HPA's estão presentes, por exemplo, na exaustão de automóveis e óleos lubrificantes usados. Eles são também produzidos durante o refino do petróleo, em usinas termoelétricas e vários outros processos industriais. Os HPA's são alvos dos principais monitoramentos ambientais porque eles são biologicamente ativos, e alguns compostos apresentam ação mutagênica e carcinogênica por vários anos. A análise de HPA's é utilizada como indicadora de contaminação ambiental por derivados de petróleo e junto com as análises de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), podem fornecer uma indicação clara da contaminação ou não de determinado ambiente por derivados de petróleo.

Os n-alcanos na água não foram determinados na maioria dos estudos consultados, e apenas os monitoramentos recentes apresentaram dados deste parâmetro em amostras de água oceânica. Em relação à sua distribuição nas amostras de água da Bacia de Campos, o padrão mais observado nos estudos

consultados é o registro de teores próximos ao limite de detecção do método (Analytical Solutions, 2002a, b). Os valores registrados por estes estudos estiveram entre 1,3 e 6,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e as médias verificadas em superfície foram de 3,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no entorno da plataforma de SS-06 e 8,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no entorno da P-40. Estes baixos teores observados não apresentaram perfis cromatográficos característicos de contaminação por hidrocarbonetos provenientes da atividade petrolífera. Em algumas poucas amostras foram registrados n-alcanos leves com perfil de produto refinado de petróleo. Nesse nível de concentração ($\mu\text{g.L}^{-1}$), esses n-alcanos podem ter se originado durante a própria coleta da amostra, do frasco de armazenagem, durante o processo analítico ou ainda, ser reflexo de um tráfego marítimo no local da amostragem.

◆ **HIDROCARBONETOS POLIAROMÁTICOS – HPA**

As concentrações dos hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA's) são representadas em equivalentes de criseno. Alguns dos estudos empregaram a técnica de fluorescência (PETROBRAS, 1994; PETROBRAS, 2001a, b, c), outros aplicaram a técnica de GC-MS (Analytical Solutions, 2002a, b). Os resultados de ambas as abordagens metodológicas apresentam resultados no mesmo padrão, permitindo que sejam comparados entre si, conforme apresentado a seguir.

A partir dos dados levantados nos estudos consultados, pode-se estabelecer um panorama geral para a Bacia de Campos, onde os valores de HPA's registrados estão dentro das faixas de concentração características de ambientes não impactados por estes compostos de petróleo, ou seja, valores menores que 2,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Law, 1981; Weber & Bicego, 1991; PETROBRAS, 1994).

Outros autores apresentam padrões mais restritivos para caracterizar a contaminação por HPA's em águas marinhas, defendendo um valor limite de 1,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Marchand, 1980; Knap et al., 1986). Já resultados de HPA's acima de 10,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ podem ser atribuídos a ambientes afetados pela introdução antropogênica de hidrocarbonetos de petróleo (PETROBRAS, 1994). Níveis entre 10,0 e 30,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ já foram relatados próximos a plataformas de produção (UNEP, 1991). Apesar de ter sido elaborado com valores médios obtidos em diferentes campanhas, em áreas e épocas diferentes, o mapeamento

observado na Figura II.5.1–50, pode indicar a tendência da distribuição dos HPA's na Bacia de Campos. Apesar dos níveis encontrados poderem ser caracterizados como níveis de base, ou seja, concentrações inferiores a $2,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, pode existir um gradiente dos maiores valores observados das áreas de produção mais antigas (ao sul) para os menores valores observados na região do campo de Roncador e na área do BC-60 (um pouco mais distante do empreendimento), onde a produção de petróleo é mais recente.

Todos os valores pesquisados nos estudos citados anteriormente estiveram entre o limite de detecção dos métodos empregados (entre $0,06$ e $0,12 \mu\text{g.L}^{-1}$) até valores da ordem de $2,0 \mu\text{g.L}^{-1}$. As análises de HPA's, compreendendo 16 hidrocarbonetos poliaromáticos, mostraram a ausência destes compostos nas amostras d'água da Bacia de Campos. De todos os dados disponíveis na literatura, apenas poucos pontos e/ou amostras apresentaram níveis de HPA's maiores que este limite de $2,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ (PETROBRAS, 1994).

A Figura II.5.1-50 a seguir apresenta a distribuição espacial de HPA's ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na região sob possível influência do empreendimento (valores de superfície).

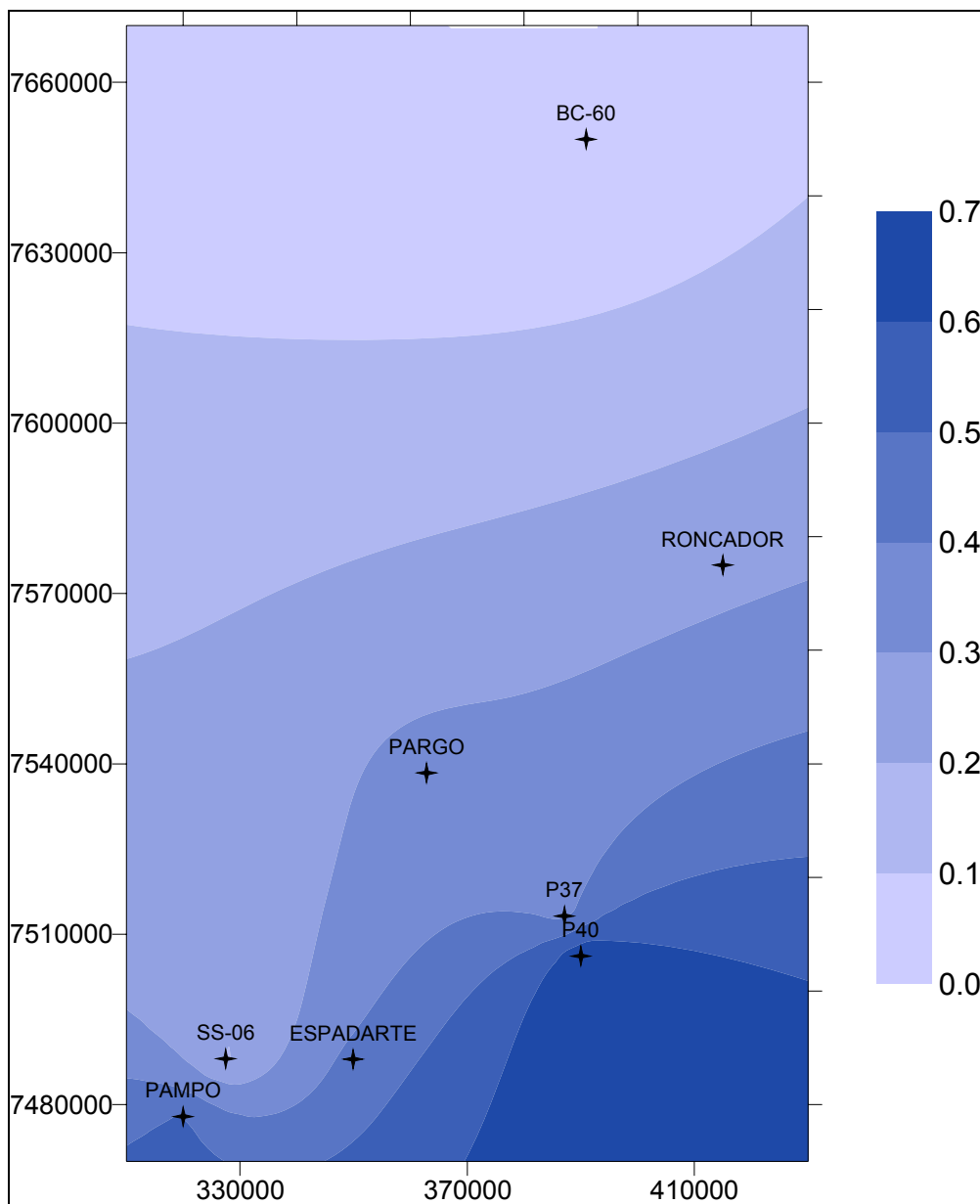


Figura II.5.1-50: Distribuição espacial de HPA's ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na região sob possível influência do empreendimento, valores de superfície. FONTE: PETROBRAS 2004

Desta forma, os resultados comprovam que o ecossistema aquático da Bacia de Campos, se comparado a outros dados disponíveis para o litoral brasileiro, está dentro da faixa considerada aceitável (ver dados na Tabela II.5.1-6). Os resultados aqui apresentados também ratificam a sua inclusão em áreas dentro do nível de base para HPA's em águas oceânicas (PETROBRAS, 1994; PETROBRAS, 2001a, b, c).

Tabela II.5.1-6: Valores médios registrados para os HPA's ($\mu\text{g.L}^{-1}$), a partir dos dados originais obtidos nas diferentes campanhas.

HPA's ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Pargo	Pampo	Espadarte	P37	SS-06	P40
Superfície	0,34	0,51	0,43	0,37	0,19	0,69
100 m	0,31	0,33	X	x	x	x

x dado não existente, em geral devido à profundidade local.

◆ **NUTRIENTES (AMÔNIA, NITRITOS, NITRATOS E FOSFATO, FÓSFORO TOTAL E SILICATO)**

ORTOFOSFATO

O padrão geral observado para o ortofosfato, e descrito a seguir, pode representar o comportamento típico dos elementos nutrientes na região sob influência do empreendimento.

As concentrações do parâmetro em águas oceânicas são usualmente muito baixas (abaixo de $0,5 \mu\text{M}$), e aumentam com a profundidade e em direção às regiões costeiras. Os valores de ortofosfato observados nas campanhas que serviram de base ao presente estudo foram em geral caracteristicamente baixos nas camadas superficiais, oscilando entre $0,07$ e $0,43 \mu\text{M}$, mas com moda representativa abaixo de $0,12 \mu\text{M}$ (Tabela II.5.1-7).

Como característica marcante da distribuição vertical dos elementos nutrientes na Bacia de Campos, os valores vão aumentando em direção as maiores profundidades (Figura II.5.1-51). Este é o padrão típico de estratificação de elementos nutrientes nos oceanos. Desta forma, os valores obtidos nas diferentes profundidades foram significativamente diferentes entre si ($p < 0,01$). A camada superficial é pobre de nutrientes devido à pequena oferta e ao intenso consumo dos produtores primários localizados na zona fótica. Isto condiciona um esgotamento dos elementos nutrientes desta zona fótica, em função da demanda da produção regenerada. Já em direção ao fundo, vários fatores contribuem para o aumento dos nutrientes, indo desde a respiração, sedimentação e ciclagem, até a remobilização dos nutrientes no assoalho marinho por correntes e seu transporte para camadas superiores da coluna d'água. Este tipo de padrão é comum para os elementos descritos a seguir. Os

valores apresentados para o ortofosfato estão dentro das faixas habitualmente descritas para a mesma região (PETROBRAS, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999).

A região da Bacia de Campos pode ser caracterizada como oligotrófica sob qualquer ponto de vista (Andrade *et al.*, 1999). Esta oligotrofia se caracteriza pelos reduzidos valores dos nutrientes, que naturalmente condicionam a resposta biológica através de pequenas concentrações de clorofila.

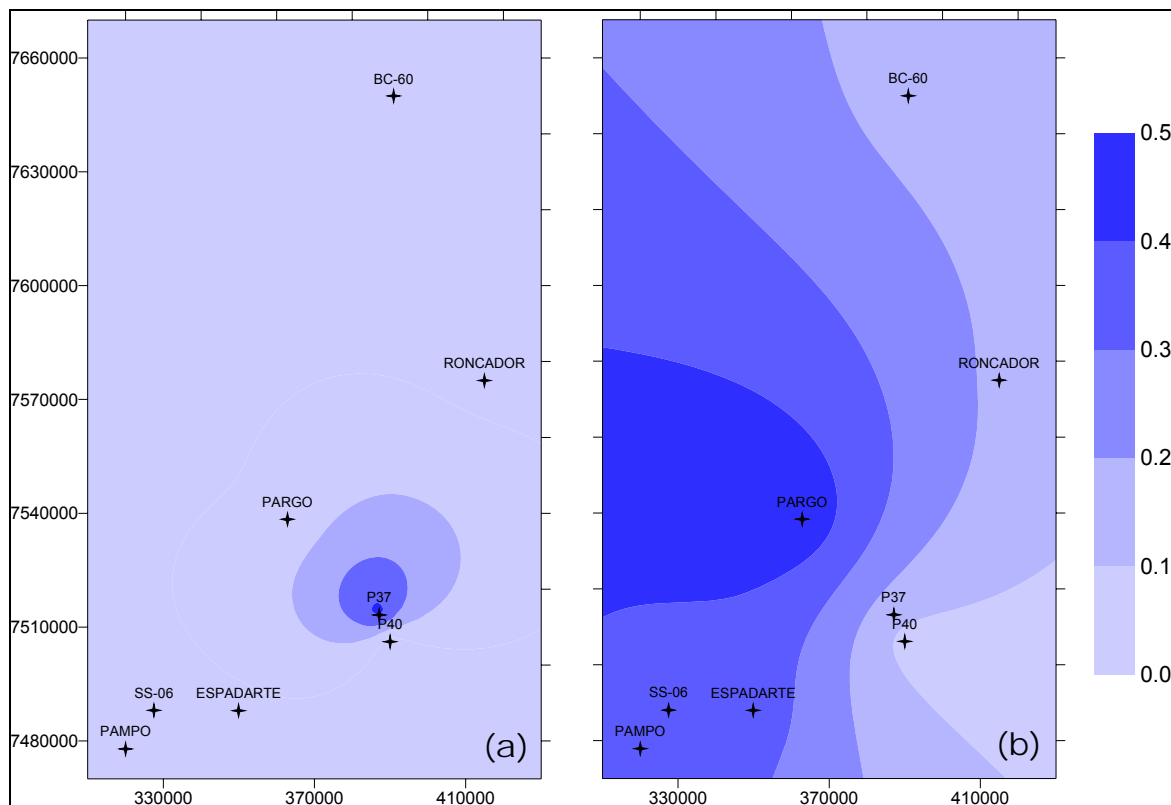


Figura II.5.1-51: Distribuição espacial de ortofosfato (μM) na região sob possível influência do empreendimento, valores de superfície (a) e 100 m de profundidade (b). PETROBRAS 2004

Tabela II.5.1-7: Valores médios registrados para o ortofosfato ($\mu\text{M P-PO}_4^{3-}$), a partir dos dados originais obtidos nas diferentes campanhas.

P- PO_4^{3-} (μM)	Pargo	Pampo	Espadarte	P37	Roncador	SS-06	P40
Superfície	0,12	0,09	0,08	0,43	0,07	0,07	0,05
100 m	0,48	0,39	0,36	x	0,18	0,31	0,07
200 m	X	x	x	x	4,90	x	5,30

x dado não existente, em geral devido à profundidade local.

FÓSFORO TOTAL

Em relação ao fósforo total, os valores obtidos nas medições realizadas em diferentes estudos sempre são caracteristicamente maiores que os relatados anteriormente para o ortofosfato (Tabela II.5.1.-8). Todos estes resultados estão de acordo com os dados conhecidos para esta área do litoral brasileiro (PETROBRAS, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999). Quanto à distribuição espacial, foi observado um padrão ligeiramente diferente do apresentado pelo ortofosfato na camada de superfície, pois além do núcleo de maior concentração no entorno das coordenadas 7.510.000N e 390.000E, também foi verificado outro na parte sul da área de estudo (Figura II.5.1-52). Na camada de 100 m de profundidade, os padrões espaciais das diferentes formas químicas de fósforo foram basicamente semelhantes, sendo os maiores valores observados na parte oeste, região mais rasa onde as amostras foram obtidas próximas ao fundo (desta forma com maiores concentrações de nutriente).

Tabela II.5.1.-8: Valores médios registrados para o fósforo total ($\mu\text{M P}$), a partir dos dados originais obtidos nas diferentes campanhas.

P total (μM)	Pargo	Pampo	Espadarte	P37	Roncador	SS-06	P40
Superfície	0,25	0,27	0,32	0,64	0,57	0,63	0,61
100 m	0,65	0,55	0,71	x	0,58	0,54	0,41
200 m	X	x	X	x	0,80	x	0,50

x dado não existente, em geral devido à profundidade local.

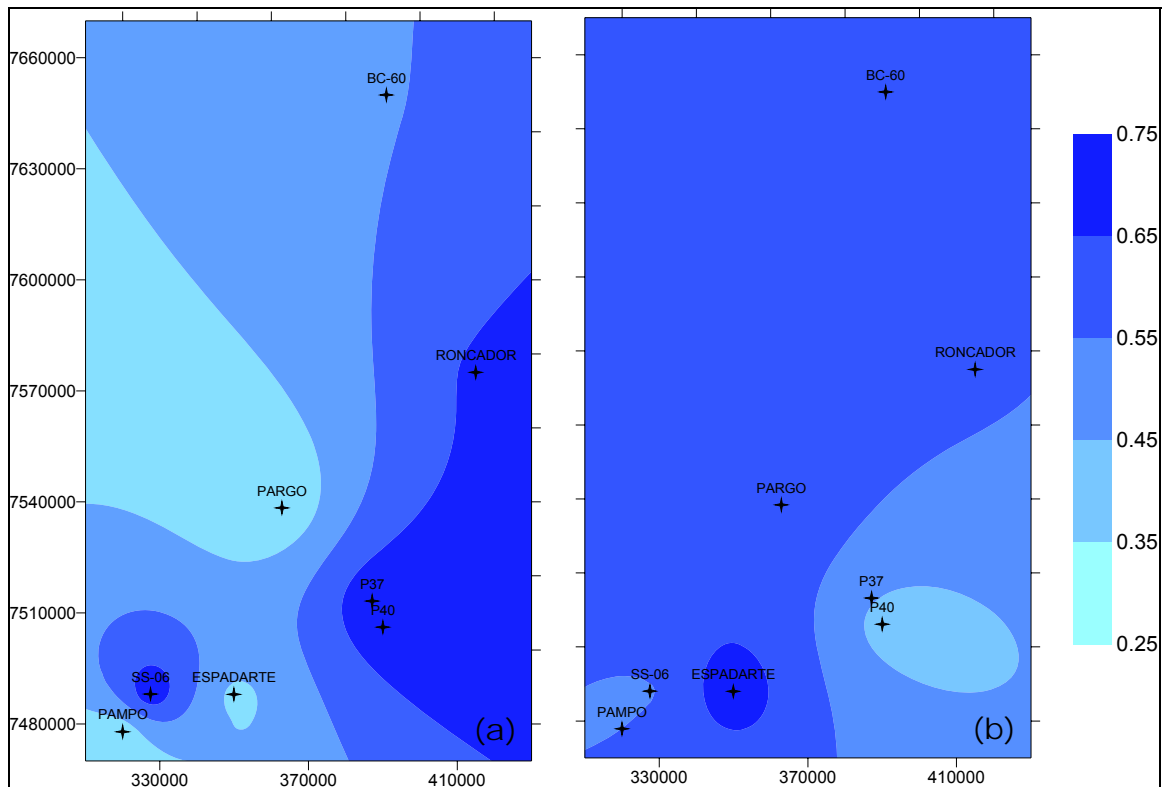


Figura II.5.1-52: Distribuição espacial de fósforo total ($\mu\text{M P}$) na região sob possível influência do empreendimento, valores de superfície (a) e 100 m de profundidade (b). PETROBRAS 2004

Da mesma forma como descrito para o ortofosfato, o padrão de distribuição vertical observado também foi a estratificação típica dos nutrientes nos oceanos, mantendo-se a significativa diferença ($p < 0,01$) dos valores nas camadas ao longo do perfil na coluna d'água. Portanto, foi também caracterizada uma distribuição vertical estratificada tipicamente oceânica para os dados de fósforo total.

NITROGÊNIO AMONIACAL

O nitrogênio amoniacal ($\text{N-NH}_3/\text{N-NH}_4^+$) é um gás incolor a temperatura e pressão ambiente (Who, 1986). Por ser lipossolúvel, a fração N-NH_3 é a espécie nitrogênio amoniacal tóxica aos peixes e outros organismos marinhos. A determinação dos níveis de nitrogênio amoniacal pode ser empregada para avaliar a contaminação das águas, uma vez que esse composto constitui um excelente indicador de poluição recente (Paranhos, 1996).

Como característica comum entre os estudos analisados, a amônia não foi detectada na maioria das amostras coletadas nas campanhas, apesar da sensibilidade ($0,05 \mu\text{M}$) do método empregado pela UFRJ. Apenas em algumas poucas amostras são percebidos níveis mensuráveis deste elemento nutriente. Este padrão é usualmente relatado para esta região, onde poucos e esparsos valores são registrados e, em geral, são muito próximos do limite de detecção do método. Estes resultados estão de acordo como os trabalhos de PETROBRAS (1994), Andrade *et al.* (1999) e Niencheski *et al.* (1999) para a mesma região, onde a amônia em geral não é detectada. Isto pode indicar a mineralização do nitrogênio nesta região, e seu consumo pelos produtores primários. Desta forma, não foram elaborados gráficos e mapas de isolinhas para a amônia.

NITRITO

O nitrito (N-NO_2^-) ocorre como composto intermediário na água por ser menos estável durante a redução microbiana. Este composto pode ser excretado pelos organismos fitoplanctônicos durante períodos de abundante nutrição, porém altas concentrações no meio podem indicar poluição ambiental.

Nos resultados dos projetos compilados para o presente estudo, os valores observados para o nitrito estiveram entre não detectável ($<0,02 \mu\text{M}$) e $0,11 \mu\text{M}$, e portanto na mesma faixa dos valores relatados por PETROBRAS (1994), Niencheski *et al.* (1999) e Andrade *et al.* (1999) para a mesma região.

Como observado em outras regiões do litoral brasileiro, o nitrito pode ser uma exceção ao padrão típico da distribuição oceânica estratificada dos nutrientes (Tabela II.5.1-9), com valores homogêneos nas diferentes profundidades.

Para a área localizada próxima ao Cabo de São Tomé, Andrade *et al.* (1999) relataram concentrações entre $0,04$ e $0,37 \mu\text{M}$, com valores crescentes em relação ao aumento da profundidade. Esse padrão sugere um aumento relativo nas atividades de mineralização e/ou incremento na assimilação nas profundidades mais rasas, onde a fotossíntese não é limitada pela luminosidade. Niencheski *et al.* (1999) descreveram concentrações de nitrito variando de não detectável a $3,00 \mu\text{M}$ como normais para regiões oceânicas.

Como os valores de nitrito foram muito baixos, e variando em uma faixa muito pequena (entre $<0,02$ e $0,15$ M), os estudos consultados não apresentam mapas de isolinhas para este parâmetro.

Tabela II.5.1-9: Valores médios registrados para o nitrito ($\mu\text{M N-NO}_2^-$), a partir dos dados originais obtidos nas diferentes campanhas.

N-NO ₂ ⁻ (μM)	Pargo	Pampo	Espadarte	P37	Roncador	SS-06	P40
Superfície	0,02	0,02	0,04	0,05	0,02	<0,02	0,04
100 m	0,04	0,05	0,06	x	0,11	0,15	0,10
200 m	X	x	x	x	0,05	x	0,06

x dado não existente, em geral devido à profundidade local.

NITRATO

O nitrato (N-NO₃⁻) representa o produto final da oxidação dos compostos nitrogenados na água. Em muitas áreas marinhas, esse composto pode ser considerado como nutriente limitante da produção primária na zona eufótica. Suas concentrações são influenciadas pelo transporte advectivo nas camadas superiores, pela oxidação microbiana, pela captação através dos produtores primários e pelo aporte continental.

A distribuição espacial dos valores médios de nitrato foi muito semelhante à obtida para o ortofosfato (Tabela II.5.1-10), onde existe um núcleo de maior concentração no entorno das coordenadas 7.510.000N e 390.000E. Já na camada de fundo, foi observado o mesmo tipo de padrão espacial descrito anteriormente, ou seja, os maiores valores foram observados na parte oeste, pois nesta região as amostras foram obtidas próximas ao fundo. Nesta parte da Bacia de Campos e nestas isóbatas, os valores de nitrato indicam a influência da ACAS (Figura II.5.1-53).

Os valores de nitrato organizados para o presente estudo indicaram, conforme esperado, o padrão típico de distribuição estratificada para os nutrientes nos oceanos. Os valores médios observados estiveram entre $0,17$ e $7,17$ μM , naturalmente com grande variabilidade. Os valores obtidos nas várias profundidades foram significativamente diferentes entre si ($p < 0,01$). Todos os valores de nitrato registrados nos diferentes estudos consultados estiveram nos mesmos níveis dos relatados por estudos anteriores na Bacia de Campos

(PETROBRAS, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999). Como comumente é observado, o nitrato foi a forma química de nitrogênio inorgânico predominante na região.

Tabela II.5.1.10: Valores médios registrados para o nitrato ($\mu\text{M N-NO}_3^-$), a partir dos dados originais obtidos nas diferentes campanhas.

N-NO ₃ ⁻ (μM)	Pargo	Pampo	Espadarte	P37	Roncador	SS-06	P40
Superfície	2,62	2,37	1,01	4,50	0,68	0,87	0,82
100 m	7,17	5,72	1,84	x	0,98	1,52	0,87
200 m	X	x	x	x	2,20	x	1,45

x dado não existente, em geral devido à profundidade local.

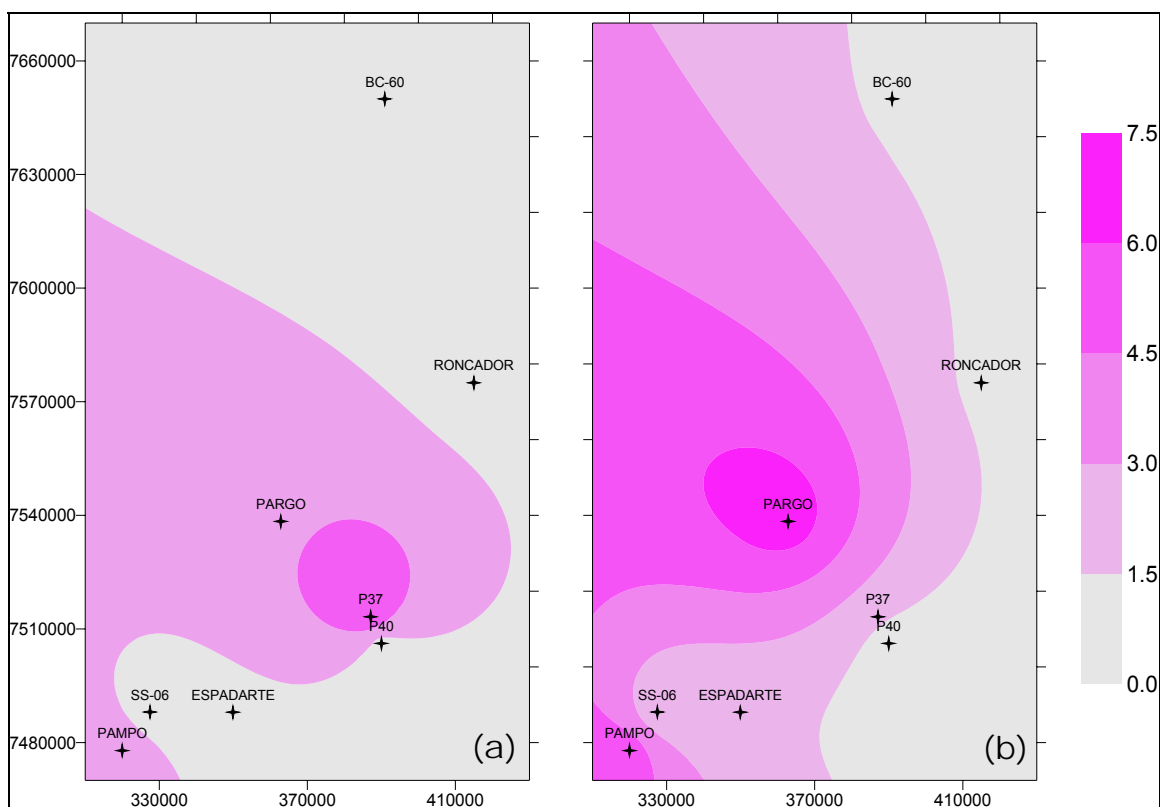


Figura II.5.1-53: Distribuição espacial de nitrato ($\mu\text{M N-NO}_3^-$) na região sob possível influência do empreendimento, valores de superfície (a) e 100 m de profundidade (b). PETROBRAS 2004

SILICATO

As formas químicas de silício nos oceanos encontram-se principalmente na espécie de íons silicatos. É um elemento extremamente importante para as diatomáceas, um dos grupos mais abundantes do fitoplâncton, representando um nutriente essencial para o desenvolvimento desses organismos. Andrade *et al.* (1999), analisando esse nutriente na área próxima ao Cabo de São Tomé, observaram valores que variaram entre não detectável e 20 μM e que diminuíram de acordo com o aumento da profundidade. Esses resultados estiveram coerentes com os valores estabelecidos por Niencheski *et al.* (1999) como sendo de valores normais de silicato em regiões oceânicas (na faixa entre não detectável e 30 μM).

As concentrações de silicato em águas de superfície são usualmente baixas, devido ao consumo pelo fitoplâncton, e podem aumentar com a profundidade e na direção de regiões costeiras. Para o silicato, foi observado o nítido padrão de distribuição típica de nutrientes em oceanos já descrito para esta região da costa brasileira (PETROBRAS, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999). Nos estudos, este tipo de padrão de estratificação foi característico para quase todos os nutrientes, e para o silicato, os valores médios apresentados na Tabela II.5.1-11 caracterizaram este padrão vertical e a diferença significativa ($p < 0,01$) entre os valores obtidos nas diferentes profundidades. Tal qual outros nutrientes, o silicato reativo apresentou grande variabilidade, e os valores médios registrados oscilaram entre 0,49 a 6,21 μM (Tabela II.5.1-11).

Considerando a distribuição espacial, os dados médios de silicato apresentaram o mesmo tipo de padrão descrito para os outros elementos nutrientes (Figura II.5.1-54). Isto é identificado pelo núcleo de maior concentração na região da P-40 e P-37 na camada de superfície. Já no estrato de 100 m de profundidade, foi observado o mesmo padrão de maiores valores na área mais a oeste, que coincide com a região mais rasa da Bacia.

Tabela II.5.1-11: Valores médios registrados para o silicato ($\mu\text{M Si-SiO}_2^-$), a partir dos dados originais obtidos nas diferentes campanhas.

Si-SiO ₂ ⁻ (μM)	Pargo	Pampo	Espadarte	P37	Roncador	SS-06	P40
Superfície	3,40	4,01	2,66	4,55	0,84	0,81	0,67
100 m	6,21	6,00	6,78	x	0,84	1,55	0,49
200 m	X	x	x	x	1,37	x	0,88

x dado não existente, em geral devido à profundidade local.

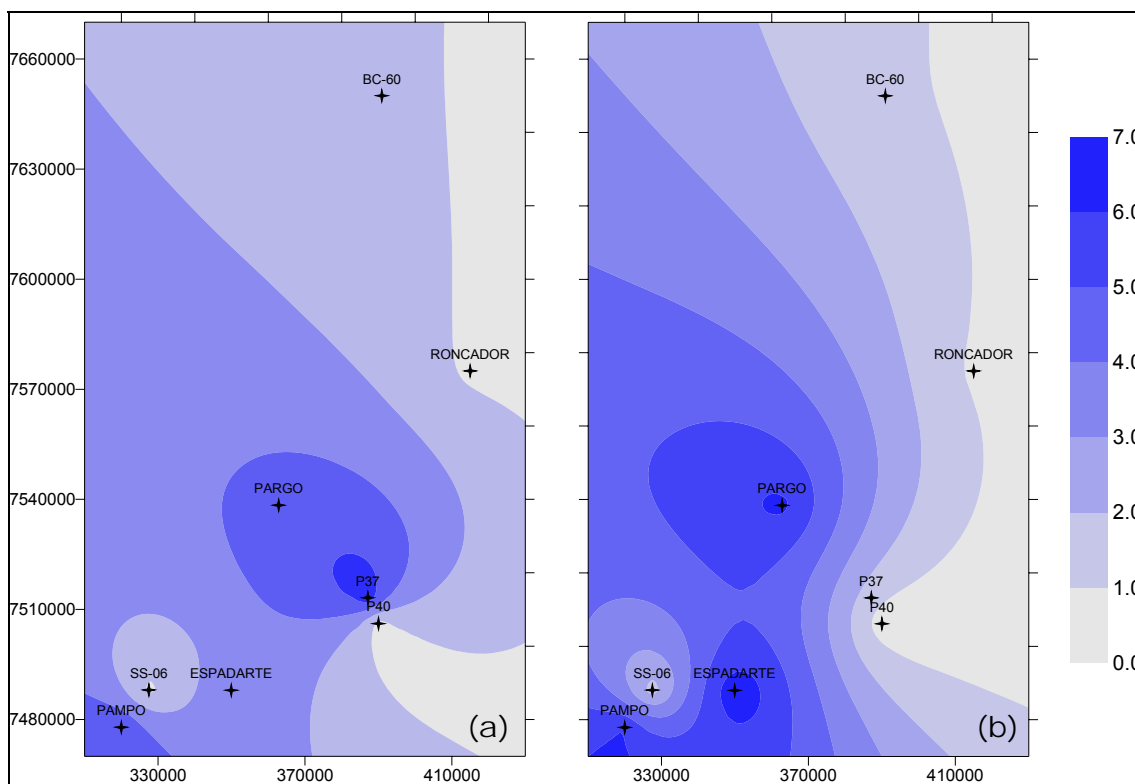


Figura II.5.1-54: Distribuição espacial de silicato ($\mu\text{M Si-SiO}_2^-$) na região sob possível influência do empreendimento, valores de superfície (a) e 100 m de profundidade (b). PETROBRAS 2004

OXIGÊNIO DISSOLVIDO

De uma forma geral, o padrão geral da Bacia de Campos em relação à oxigenação das águas se reflete nos valores habituais de regiões oceânicas oligotróficas. A maioria dos valores relatados na literatura indica níveis médios ou elevados de oxigênio. Segundo os estudos existentes, a maior parte dos valores de oxigênio oscila entre 3,0 e 6,0 mL.L⁻¹ (PETROBRAS, 1994; PETROBRAS, 2001a, b, c; Paranhos, 2002a, b, c – ver Tabela II.5.1.-12). Não existe nenhum padrão espacial claramente identificado para o oxigênio para a área de influência do empreendimento (Figura II.5.1-55), e os dados observados nas regiões costeiras são equivalentes aos resultados obtidos em locais mais afastados da costa, nas regiões de maiores profundidades. Os resultados relatados por Andrade *et al.* (1999) também indicam o mesmo padrão para a Bacia do Espírito Santo, mas lá pode ser verificada a influência dos rios, e com isto alguns valores mais baixos foram relatados nas regiões mais costeiras.

Segundo a compilação feita por Niencheski *et al.* (1999), todos os valores dos estudos considerados estiveram dentro da faixa de variações esperadas para esse parâmetro abiótico, que foram estabelecidas como sendo de 1,00 a 7,00 mL.L⁻¹. Corroborando este padrão de homogeneidade e boa oxigenação, as médias relatadas para o percentual de saturação estão na faixa de 85 – 95%.

Tabela II.5.1-12 Valores médios registrados para o oxigênio dissolvido (mL.L⁻¹), a partir dos dados originais obtidos nas diferentes campanhas.

OD (mL.L ⁻¹)	Pargo	Pampo	Espadarte	P37	Roncador	SS-06	P40
Superfície	4,9	4,7	4,7	5,1	4,5	5,6	5,6
100 m	4,6	4,6	4,4	x	4,4	5,5	5,7
200 m	X	x	x	x	4,9	x	5,3

x dado não existente, em geral devido à profundidade local.

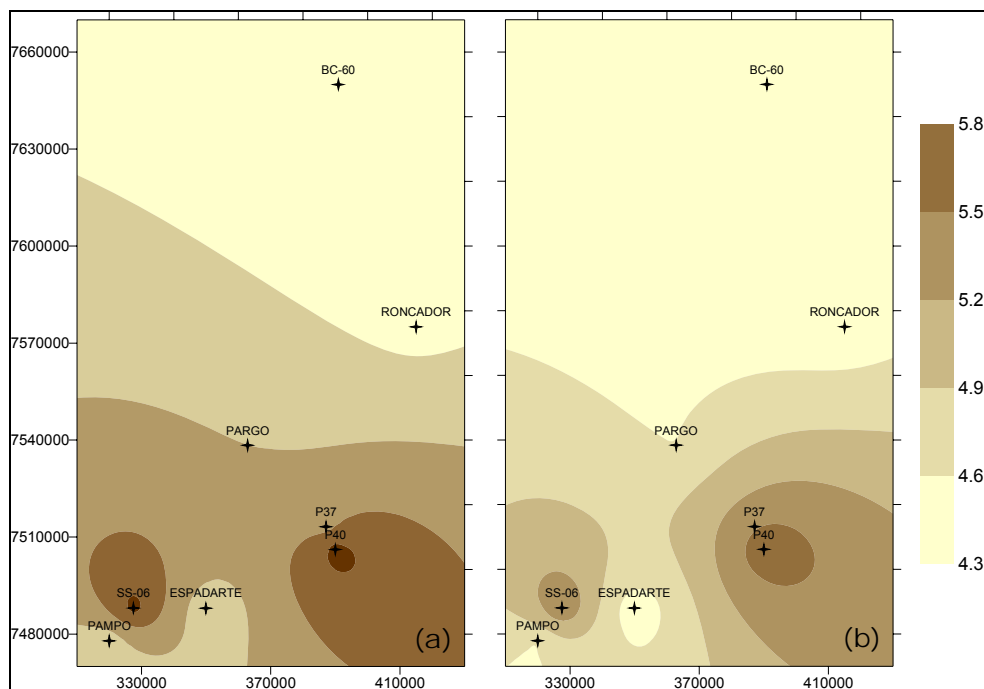


Figura II.5.1-55: Distribuição espacial de oxigênio dissolvido (mL.L^{-1}) na região sob possível influência do empreendimento, valores de superfície (a) e 100 m de profundidade (b). PETROBRAS 2004

Já em relação à distribuição temporal, não foi possível estabelecer claramente qualquer padrão de sazonalidade para os dados de oxigênio dissolvido. Quanto à distribuição vertical, em geral os estudos caracterizam que as camadas superficiais são ligeiramente mais oxigenadas, e normalmente isto é atribuído à atividade biológica (i.e., produtividade primária). Desta forma, nestas camadas superficiais são esperados os maiores valores para o percentual de saturação do oxigênio, e este aspecto foi claramente observado para as plataformas de Pargo e Pampo em 1998 (Paranhos, 2001). Nas camadas superficiais também pode ser observada uma maior variabilidade nos valores do parâmetro, devido às trocas gasosas na interface ar-água e aos diversos fenômenos biológicos que ocorrem na superfície. Mas como pode ser observado nos dados resumidos na Tabela II.5.1.-12, os maiores valores são observados distribuídos aleatoriamente, tanto nas camadas superiores quanto nas águas mais profundas.

pH

Os valores de pH não devem apresentar grandes ou significativas variações no meio ambiente oceânico em função do forte tamponamento da água do mar. Em todas as diferentes campanhas oceanográficas analisadas para este estudo, os valores de pH não foram encontrados com grande variabilidade. Os menores valores obtidos foram na faixa de 7,70, enquanto os maiores estiveram um pouco acima de 8,25.

Não foi observado nenhum tipo de padrão espacial se consideradas as diferentes campanhas (Tabela II.5.1-13). Isto pode ser atribuído a pouca variabilidade natural do pH no meio oceânico e, mesmo, as variações devem ser observadas em uma escala temporal mais restrita do que a abordada pela compilação dos diferentes projetos de dados considerados neste estudo. Em função desta mínima variabilidade, não foram apresentados mapas de isolinhas para o parâmetro.

Tabela II.5.1-13: Valores médios registrados para o pH, a partir dos dados originais obtidos nas diferentes campanhas.

pH	Pargo	Pampo	Espadarte	P37	Roncador	SS-06	P40
Superfície	8,08	8,07	8,01	8,10	8,19	8,13	8,18
100 m	7,81	7,86	7,81	x	7,84	8,07	8,06
200 m	X	x	x	x	7,70	x	7,87

x dado não existente, em geral devido à profundidade local.

SULFETOS

Como o descrito para os fenóis, de todos os estudos consultados, apenas alguns poucos realizaram a análise de sulfetos, a saber, as campanhas no entorno da plataforma de SS-06 e da plataforma P-40. Em ambos estes casos, os valores medidos foram bastante baixos, oscilando entre valores não detectáveis (<0,2 mg.L⁻¹ – a grande maioria dos resultados) até um máximo de 1,60 mg.L⁻¹ em P-40 e um máximo de 2,80 mg.L⁻¹ em SS-06.

Em função deste panorama de resultados, não foram elaborados tabelas e mapas para esta variável, bem como não foi possível descrever qualquer padrão espacial ou sazonal.

CLOROFILA a

A determinação quantitativa da fração produtora dos meios aquáticos é de grande importância para o estudo e compreensão dos fenômenos ecológicos de tais sistemas. Essa avaliação, realizada através de métodos químicos constitui uma técnica simples, rápida e bastante eficiente para quantificação da biomassa fitoplanctônica. A clorofila a é o pigmento mais utilizado para essa finalidade devido a sua expressiva representatividade nas populações do fitoplâncton (UNESCO, 1980).

A clorofila a pode representar a resposta biológica às condições ambientais, onde os valores observados geralmente refletem a oligotrofia da região oceânica em qualquer época do ano (Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999).

De uma forma geral, todos os estudos realizados nesta região indicaram valores observados na faixa entre não detectável (por volta de $0,02 \mu\text{g L}^{-1}$) até $0,50 \mu\text{g L}^{-1}$. Desta forma é comum o registro de grande variabilidade nos dados de clorofila a, muitas vezes com coeficientes de variação maiores que 50%. Nos estudos consultados, os maiores valores quase sempre foram registrados acima da termoclina (Tabela II.5.1-14 e Figura II.5.1-56). Como habitualmente registrado nesta região oceânica, os maiores valores de clorofila em geral não são observados na superfície (PETROBRAS, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999). Este padrão de estratificação é relatado em vários trabalhos (Bonecker *et al.*, 1992; PETROBRAS, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999; Bassani *et al.*, 1999), com os maiores valores observados nas camadas abaixo da superfície, podendo indicar uma estrutura de comunidades fitoplanctônicas com características notadamente oceânicas.

Cabe ressaltar a ausência de dados relacionados à clorofila a em profundidades maiores que 200 metros. A partir desta profundidade, a pouca ou nenhuma disponibilidade de luz limita o crescimento das populações fitoplanctônicas, e virtualmente não ratifica a existência de quantidades mensuráveis da clorofila a. Uma conjunção de fenômenos oceanográficos condiciona esta característica, discutida a seguir.

Tabela II.5.1-14: Valores médios registrados para a clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$), a partir dos dados originais obtidos nas diferentes campanhas.

Clorofila a $\mu\text{g.L}^{-1}$	Pargo	Pampo	Espadarte	P37	Roncador	SS-06	P40
Superfície	0,35	0,29	0,42	0,19	0,08	0,07	0,09
100 m	0,13	0,03	0,17	x	0,07	0,18	0,23
200 m	x	x	x	x	<0,02	X	<0,02

x dado não existente, em geral devido à profundidade local.

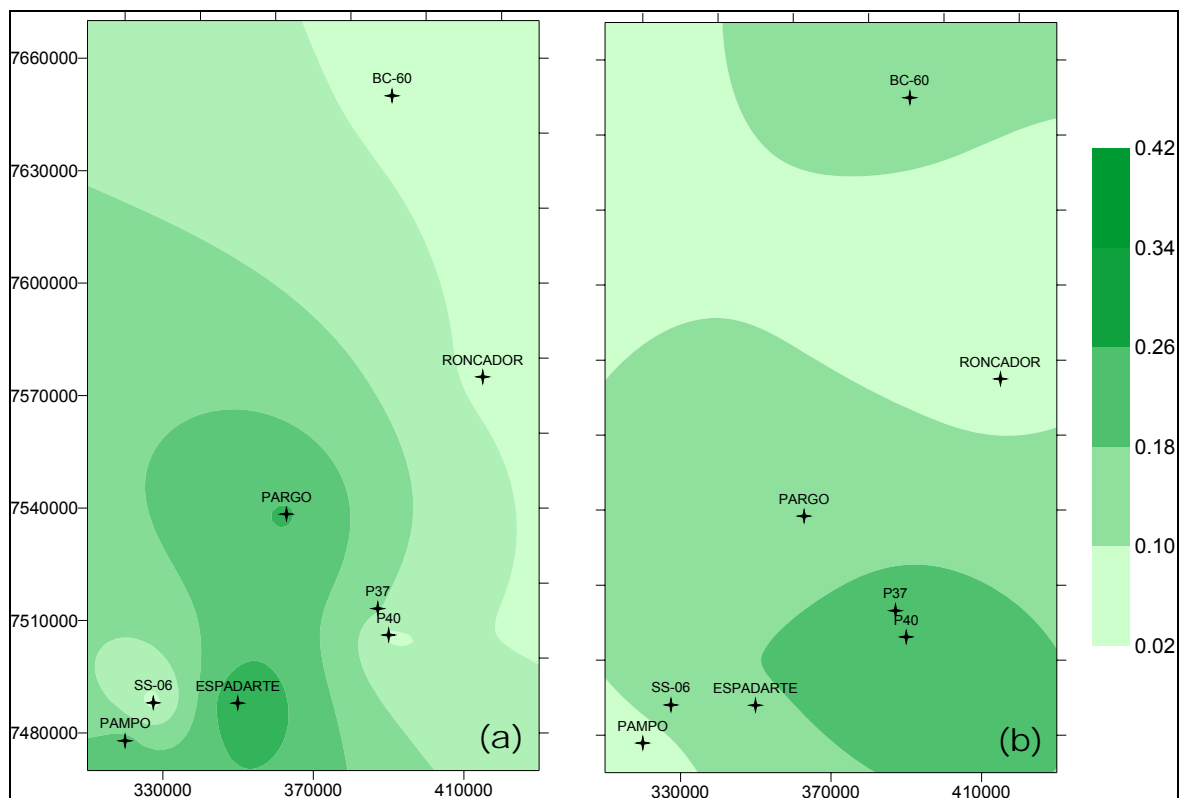


Figura II.5.1-56: Distribuição espacial de clorofila a na região sob possível influência do empreendimento, valores de superfície (a) e 100 m de profundidade (b).
PETROBRAS 2004

Esta região do estrato vertical (ou seja, este máximo sub superficial de clorofila), localizada por volta da termoclina, é uma interessante parte do ecossistema oceânico. Na camada superficial da coluna d'água existe uma grande abundância de luz, mas os processos biológicos são limitados pela

escassa oferta de elementos nutrientes. Nas camadas próximas à superfície predomina a influência da Água Tropical da Corrente do Brasil, quente e oligotrófica, que determina a estrutura do ecossistema baseado em processos regenerativos. Os baixos valores para a taxa N/P observados nas amostras obtidas nas camadas superficiais estão de acordo com esta premissa. Já nas camadas mais profundas, estes elementos nutrientes são mais abundantes, mas sem reflexo direto no parâmetro, uma vez que isto ocorre abaixo da zona fótica e, logo, não acompanhado de fotossíntese.

Nesta parte do oceano Atlântico sudoeste, que engloba a Bacia de Campos, são conhecidos os processos de intrusão de águas profundas (ACAS), trazendo sua contribuição de águas frias e ricas em nutrientes. A junção destas diferentes características ocorre nas eventuais interfaces de contato entre esta massa d'água, muitas vezes provocadas por vórtices ciclônicos (Mascarenhas *et al.*, 1971; Campos *et al.*, 1995; Kampel *et al.*, 2000). Este tipo de cenário é bastante conhecido em oceanografia, tendo sido descrito por Dugdale (1967) para regiões tropicais e sub tropicais: uma região onde os nutrientes das camadas profundas são disponibilizados em regiões mais rasas, onde existe luminosidade o bastante para favorecer a fotossíntese, e conseqüentemente, a produtividade biológica. É, portanto, uma região onde luz e nutrientes se encontram em condições mais satisfatórias para a fotossíntese que nas camadas localizadas acima e abaixo na coluna d'água. Desta forma, nestes locais em geral são formados os denominados "máximos sub superficiais de clorofila", regiões responsáveis por significativa parte da produtividade primária de toda a coluna d'água (PETROBRAS, 1994; Andrade *et al.*, 1999; Niencheski *et al.*, 1999)

Nestas regiões, a presença de vórtices favorece a ascensão da camada rica em nutrientes (proveniente da ACAS no fundo) com fertilização da zona eufótica (Campos *et al.*, 1995), e o conseqüente aumento da produtividade primária (Gaeta *et al.*, 1999). Já foi relatado que nesta área da costa, este processo substitui a produção regenerada típica das águas tropicais oligotróficas pela produção nova baseada no consumo do nitrato (Metzler *et al.*, 1997), formando verdadeiros "oásis" de produtividade no oceano. A profundidade destes máximos sub-superficiais de clorofila tende a aumentar nas áreas de maior profundidade local. Estas importantes regiões não são

detectadas por técnicas remotas, como as imagens de clorofila de superfície geradas por satélites. Como podem ser uma das principais fontes de energia para o funcionamento do ecossistema oceânico desta região do oceano Atlântico Sudoeste justifica-se os esforços realizados no seu estudo.

II.5.1.4 - Qualidade do Sedimento

II.5.1.4.1 - Granulometria

As variações sedimentares que compõem o fundo marinho são resultantes de processos primários (geológicos e físicos) e de processos secundários (químicos e biológicos). Estas variações acontecem de forma espacial e temporal, em diferentes escalas. Desta forma, os tipos de grãos encontrados, seu selecionamento, teor de carbonato, diâmetro médio e outras características sedimentares são resultantes desses vários processos que agem de forma sinérgica, positivamente ou não.

Bastos & Silva (2000) e Lana *et al.* (1996) afirmam que na plataforma continental, ao Sul de Cabo Frio (RJ), as isóbatas se encontram bastante próximas atingindo rapidamente a isóbata de 140m, e ocorrendo, a partir daí, um alargamento da plataforma na direção Norte.

De acordo com Alves & Ponzi (1984), o sedimento ao longo da plataforma interna, entre Itabapoana (ES) e Cabo Frio (RJ), é predominantemente terrígeno representado por areias quartzosas com baixo teor de carbonatos, exceto à região ao largo de Itabapoana, onde predominam sedimentos carbonáticos. A plataforma externa é caracterizada pela presença de sedimentos carbonáticos, compostos principalmente por algas calcárias nodulares e ramificadas.

No Programa REVIZEE – Score Sul/Bentos, foram analisados a granulometria e o teor de carbonatos (CaCO_3) em 22 estações situadas entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Baía de Ilha Grande (RJ). A metodologia empregada foi a descrita por Figueiredo & Tessler (1999) e nas estações onde não foi possível realizar a coleta, foram utilizados mapas de distribuição granulométrica de Figueiredo & Madureira (1999).

Conforme indicados nos trabalhos citados, na área sul de Cabo Frio (RJ), a partir de 100m de profundidade, há uma predominância de lamas, com áreas formadas por lamas arenosas ao longo do talude. Na plataforma média e interna ao sul do Estado do Rio de Janeiro, há a presença de areias finas e muito finas, sendo intercaladas com ocorrências de areias grossas e cascalhos. Já ao norte, são encontrados sedimentos de granulometria mais grosseira (Figura II.5.1-57).

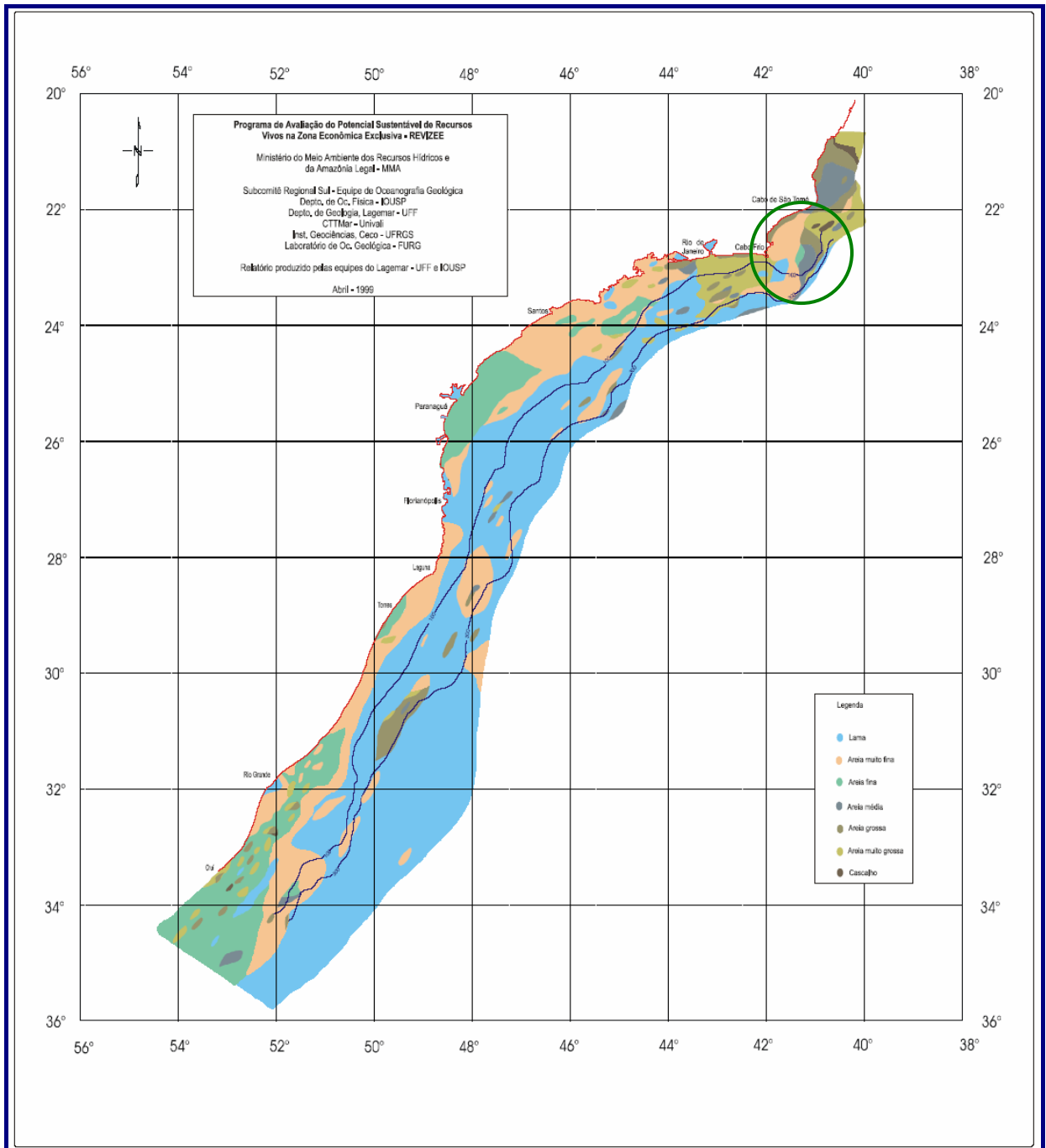


Figura II.5.1.-57: Granulometria dos sedimentos na costa Sudeste do Brasil (adaptado de REVIZEE – SCORE SUL, 2003; fonte: relatório REVIZEE e Figueiredo & Madureira (1999).

Segundo Figueiredo & Madureira (1999), ao longo da costa do Estado do Rio de Janeiro, a granulometria e a composição dos sedimentos são as mais heterogêneas em relação aos demais estados do Sul do Brasil.

Para melhor visualização do diferente comportamento dos parâmetros em diferentes províncias da Bacia de Campos, é apresentado a seguir a Figura II.5.1-58.



Figura II.5.1.-58: Localização das áreas de estudo dos dados utilizados para a caracterização do presente relatório..

Em PETROBRAS (2001), os autores puderam observar tipos diferentes de sedimentos na área no entorno de cada uma das plataformas (Pampo e Pargo), sendo que a área da plataforma de Pargo apresentou um substrato composto por areia fina bem selecionada, com teores de calcário variando entre 20% e 30%. Já na área da plataforma de Pampo, o substrato é predominantemente consolidado, de origem biogênica, composto principalmente por concreções carbonáticas (algas calcárias), com a presença de um canal alongado no sentido sudoeste-nordeste — canal este constituído por um sedimento lamoso, rico em carbonatos.

Os autores também ressaltam o fato de que os substratos carbonáticos duros, como aqueles existentes na região da plataforma de Pampo, não favorecem a deposição de material particulado e, portanto, não constituem local adequado para a avaliação dos efeitos dos impactos provenientes do lançamento de efluentes no meio marinho. A taxa de sedimentação na região da plataforma de Pampo foi de 0,8mm/ano, sendo este valor coerente com uma região de baixa deposição de sedimentos como a plataforma continental. Já, a taxa de sedimentação encontrada na região de Pargo, que foi de 2,8mm/ano, pareceu elevada e foi explicada pelos autores como sendo um possível reflexo de um maior aporte de material particulado de origem fluvial (Tabela II.5.1-15).

As províncias carbonáticas, com sedimentos contendo mais de 50% de carbonato de cálcio foram encontradas nas plataformas média e externa ao norte do Rio de Janeiro, conforme descrito por Lana *et al.* (1996).

A análise granulométrica, realizada no relatório final da caracterização de pré-operação e monitoramento pós-operação, incluídos no Programa de Monitoramento Ambiental da Área de Influência do Emissário de Cabiúnas, em PETROBRAS (2002), indicou que os sedimentos da região variaram entre areia grossa e silte. Os teores de carbonatos variaram entre valores não detectados e 8,4%.

Segundo os estudos de Monitoramento da Plataforma P-47 (PETROBRAS 2001;2003), os valores de carbonato de todas as campanhas realizadas variaram entre 0,78% e 2,97%.

Quando comparado os valores de carbonato do Monitoramento da Plataforma SS-06, percebemos uma acentuada variação entre as campanhas, chegando a variar de uma média de 30% a 70%. Os valores elevados de carbonato encontrados nestas estações de monitoramento sugerem a existência de nódulos biodetritos de calcários na área da unidade, em especial algas calcárias, que ocorrem entre as isóbatas de 30 e 120 metros, sendo observadas na região compreendida na plataforma continental interna entre Cabo Frio e o sul do Estado do Espírito Santo (Yoneshigue, 1987; Geomap, 1993).

Tabela II.5.1-15: Síntese dos dados disponíveis na área sobre a composição Granulométrica (% de carbonatos) na área de influência da atividade.

Referência	Período	Tipo	Mínimo	Máximo	Média	Desvio p	n	Prof.	Data
PETROBRAS, 2001	Pampo verão	carbonatos	2,84	77,67	51,29	19,16	8	100	jan/98
	Pampo inverno	carbonatos	29,62	75,29	50,88	11,06	11	100	jul/98
	Pargo verão	carbonatos	6,57	52,27	25,33	7,62	11	100	jan/98
	Pargo inverno	carbonatos	14,02	55,61	26,56	7,32	11	100	jun/98

II.5.1.4.2 - Carbono, Nitrogênio, Fósforo e Matéria Orgânica

A maior produtividade das águas costeiras e, o conseqüente aumento dos processos de excreção ou morte dos organismos planctônicos, além da contribuição vinda do aporte continental, promovem alterações no fluxo de matéria orgânica para o sedimento. Deste modo, as áreas costeiras freqüentemente apresentam maiores concentrações dos teores de matéria orgânica no sedimento que as áreas mais oceânicas. Esta influência dos organismos planctônicos agindo como reguladores da disponibilidade de matéria orgânica no sedimento foi observada por Pires-Vanin *et al.* (1993) na plataforma continental na região do Atlântico Sul.

PETROBRAS (2001) apresentou uma análise quantitativa da matéria orgânica presente nos sedimentos marinhos do entorno dos campos de Pampo e Pargo. Os resultados não indicaram alterações significativas em termos de carbono, nitrogênio e fósforo. Por outro lado, a distribuição da razão C:N da matéria orgânica indicou uma tendência de aumento na direção das estações localizadas mais próximas à plataforma. As razões C:P e N:P se apresentaram dentro dos valores esperados para ambientes marinhos oceânicos não-sujeitos às influências antropogênicas (Tabela II.5.1-16).

O monitoramento da plataforma SS-06 apresenta valores de Carbono Orgânico mais próximos dos valores encontrados na Plataforma de Pargo. Já os valores de Nitrogênio Total apresentados mantêm a mesma faixa apresentada em outros estudos na região.

Romankevich (1984) mostrou que fatores como a granulometria mais fina e o teor de carbonatos, favorecem o acúmulo e a degradação de matéria orgânica, por um maior fluxo de oxigênio entre os grãos.

Em PETROBRAS (2002), as análises de Carbono, Nitrogênio e Fósforo no sedimento indicaram concentrações com diferenças entre as campanhas sazonais (de verão e de inverno), sendo que as variações não indicaram uma maior influência da localização das estações em relação à costa, ou pela proximidade da área de difusores do emissário, mas possivelmente pelas condições hidrológicas e oceanográficas da região. Os autores puderam identificar um predomínio da fração de origem terrestre sobre a matéria orgânica total depositada nos sedimentos, não sendo, no entanto, identificada influência significativa de atividades antropogênicas na região (Tabela II.5.1-16).

Baptista-Filho *et al.* (1994) em estudo da caracterização do sedimento da plataforma continental interna entre a Ilha do Cabo Frio e Búzios (RJ), evidenciou a existência de núcleos com altas concentrações de matéria orgânica a leste desta Ilha, região constituída basicamente de lama com areia. A concentração de matéria orgânica encontrada em alguns dos núcleos identificados foram maiores que 9%. No entanto, tal distribuição foi bastante alterada na avaliação dos mesmos autores no ano seguinte (Baptista-Filho *et al.*, 1995), quando não ultrapassou 4% nos núcleos observados. A Figura II.5.1-59, demonstra a distribuição espacial de matéria orgânica nos referidos trabalhos.

Tabela II.5.1-16: Resultados de Carbono, Nitrogênio e Fósforo disponibilizados.

Referência	Período		C _{org}	N _{total}	P _{org}	C _{org}	C/N	C/P	n	Prof. (m)	Data
			(%)	(%)	(%x10-3)	(mol.g-1)	(mol.g-1)	(mol.g-1)			
PAMPO PETROBRAS 2001	verão	Mínimo	0,85	0,12	5,65	708	8,65	174,5	8	100	jan/98
		Máximo	1,58	0,20	19,5	1312	10,3	720,5			
		Média	1,23	0,15	12,46	1024	9,29	329,69			
		Desvio-p	0,26	0,03	5,66	218,38	0,62	185,82			
	inverno	Mínimo	0,97	0,10	5,51	810	8,7	201,7	11	100	jul/98
		Máximo	1,89	0,19	21,22	1575	16,5	538,9			
		Média	1,47	0,13	11,26	1224,4	12,6	387,53			
PARGO PETROBRAS 2001	verão	Mínimo	0,09	0,00	0	0	0	0	11	100	jan/98
		Máximo	0,29	0,04	0,44	240,5	12	6788			
		Média	0,18	0,02	0,13	131,32	7,88	1543,8			
		Desvio-p	0,07	0,01	0,15	82,43	4,03	2049,2			
	inverno	Mínimo	0,12	0,01	1,32	100	9,6	94,5	11	100	jun/98
		Máximo	0,29	0,03	5,39	239	12	295			
		Média	0,20	0,02	3,6	169,18	10,6	172,99			
CABIÚNAS PETROBRAS 2002	verão	Mínimo	<0,06	<0,01	<0,12	<0,06	0	0	15	100	mar/98
		Máximo	2,18	0,25	26,1	1816	10,2	224,45			
		Média	1,00	0,21	20,4	830,5	4,79	65,63			
		Desvio-p	1,11	0,19	23,7	923,78	5,32	77,49			
	inverno	Mínimo	<0,06	<0,01	<0,12	50	9,8	77,2	15	100	jul/98
		Máximo	2,32	0,19	35,7	1933	110	1272,1			
		Média	0,70	0,03	7,13	579,43	12,3	278,7			
SS-06 PETROBRAS 2006	primavera	Mínimo	0,22	0,05	x	x	x	x	4	100	set/05
		Máximo	0,24	0,06	x	x	x	x			
		Média	0,11	0,03	x	x	x	x			
	outono	Mínimo	0,23	0,04	x	x	x	x	4	100	mai/05
		Máximo	0,23	0,04	x	x	x	x			
		Média	0,12	0,18	x	x	x	x			
	primavera	Mínimo	0,26	0,02	x	x	x	x	4	100	set/04
		Máximo	0,27	0,03	x	x	x	x			
		Média	0,13	0,01	x	x	x	x			
	outono	Mínimo	0,23	0,04	x	x	x	x	4	100	mar/04
		Máximo	0,27	0,04	x	x	x	x			
		Média	0,13	0,02	x	x	x	x			
	primavera	Mínimo	0,20	0,02	x	x	x	x	4	100	set/03
		Máximo	0,27	0,04	x	x	x	x			
		Média	0,12	0,02	x	x	x	x			
	outono	Mínimo	0,16	0,01	x	x	x	x	4	100	abr/03
Máximo		0,25	0,02	x	x	x	x				
Média		0,10	0,01	x	x	x	x				
inverno	Mínimo	0,23	0,01	x	x	x	x	4	100	ago/02	
	Máximo	0,27	0,03	x	x	x	x				
	Média	0,13	0,01	x	x	x	x				
primavera	Mínimo	0,34	0,02	x	x	x	x	4	100	nov/01	
	Máximo	0,37	0,02	x	x	x	x				
	Média	0,18	0,01	x	x	x	x				

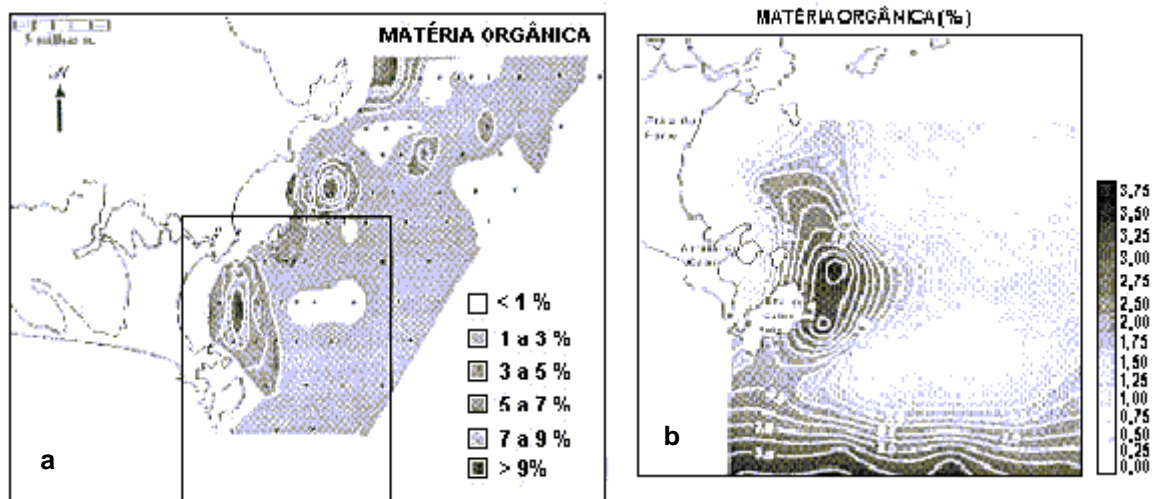


Figura II.5.1-59: Distribuição espacial da matéria orgânica, segundo Baptista-Filho et al. (1994) (a) e Baptista-Filho et al. (1995) (b), (figuras retiradas de Baptista-Filho et al., (1995).

II.5.1.4.3 - Metais

Em PETROBRAS (2001), os dados disponíveis indicaram que na plataforma de Pargo apenas as concentrações de Bário foram ligeiramente elevadas em ambas as campanhas sazonais realizadas. Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de metais, medidas em função do distanciamento das plataformas. Ainda referente à plataforma de Pargo, foi observado um aumento de Cr, Fe e Hg nas estações mais distantes, sugerindo, portanto, a participação de uma fonte continental. Já os maiores valores de Cu, Zn e Ba nas estações mais próximas à plataforma foram associados a descartes relacionados à atividade.

Com relação à plataforma de Pampo, a distribuição dos metais foi influenciada pela distância entre as estações, pela deposição preferencial na direção SW e pela influência do fundo carbonático. Alguns elementos mostraram-se com valores acima dos normalmente observados na literatura, como Al, Fe, Ba, Cr, Cu, Zn e Sn (Tabela II.5.1-17).

Toldo JR et al. (2004) avaliaram os níveis de metais na Bacia de Campos em 54 estações durante três campanhas, em uma profundidade média de 900 m, antes da perfuração, um mês após a perfuração e doze meses após a perfuração (Projeto MAPEM). O Hg não foi detectado, ficando abaixo do limite de detecção ($0,07\mu\text{M/g}$) em todas as campanhas. O Ba foi o único metal que

apresentou um aumento, provavelmente devido à utilização de barita no processo de perfuração. Cr, Cu e Cd apresentaram comportamentos semelhantes, mostrando oscilações nos valores registrados, aumentando na segunda campanha e diminuindo na terceira campanha. Pb, Zn e Ni, tiveram variações muito pequenas, havendo um decréscimo das concentrações de Zn e Ni nas amostras da terceira campanha, em relação à segunda campanha (Tabela II.5.1-17).

Durante o monitoramento da plataforma SS-06 foi observado ao longo das campanhas uma tendência de acúmulo de metais a jusante da plataforma. Os metais com maior acúmulo no estudo foram o Ba e o Pb, corroborando assim as informações dos monitoramentos de outras plataformas.

Tabela II.5.1-17: Síntese dos Dados Disponíveis na sobre as Concentrações de Metais na Área de Influência da Atividade (metais Ba, Fe, Pb, Cr, Cu e As).

Referência	Área - Período		Metais (mg/kg)						n	prof. (m)	data
			Bário	Ferro	Chumbo	Cromo	Cobre	Arsênio			
PETROBRAS, 2001	Pampo verão	Mínimo	67	4,71	3,92	11,1	4,8	NA	8	100	jan/98
		Máximo	402	7,29	18,6	18,6	9,39	NA			
		Média	220,4	5,83	7,33	14,01	6,43	-			
		Desvio-p	120,9	0,84	4,48	2,55	1,59	-			
	Pampo inverno	Mínimo	76,2	4,59	10,9	9,85	3,92	NA	11	100	jul/98
		Máximo	310	6,52	7,58	16,7	7,71	NA			
		Média	146,7	5,98	5,48	13,58	5,95	-			
		Desvio-p	72,14	1,63	1,96	3,86	1,96	-			
	Pampo verão	Mínimo	106	5,69	3,5	13,1	2,39	NA	11	100	jan/98
		Máximo	328	5,94	11,9	20,4	5,91	NA			
		Média	194,2	7,54	6,17	16,86	3,65	-			
		Desvio-p	67,29	1,06	2,36	2,38	1,02	-			
	Pampo inverno	Mínimo	70,4	4,43	3,67	9,36	1,86	NA	11	100	jun/98
		Máximo	260	9,18	8,54	18,3	7,06	NA			
		Média	136	6,3	4,91	13,04	3,11	-			
		Desvio-p	64	1,48	1,54	3,16	1,51	-			
TOLDO JR et al., 2004	Antes da perfuração	Mínimo	135	2,16	17,1	40,1	13	NA	54	900	abr/01
		Máximo	282	4,09	35,5	73,9	19,9	NA			
		Média	207,4	3,19	21,46	57,18	16,91	NA			
		Desvio-p	36,5	0,44	2,69	8,23	1,28	NA			
TOLDO JR et al., 2004	Um mês após a perfuração	Mínimo	228	1,88	14,7	35,7	13,3	NA	54	900	jul/01
		Máximo	4545	5,46	34,6	79,4	26,9	NA			
		Média	670,4	3,03	21,97	64,26	19,78	NA			
		Desvio-p	764,4	0,85	3,79	7,88	3,28	NA			
	Doze meses após a perfuração	Mínimo	162	2,08	17,4	44,8	12,6	NA	54	900	jun/02
		Máximo	4610	4,45	34,5	74,6	24,8	NA			
		Média	754,4	3,11	21,9	60,95	17,31	NA			
		Desvio-p	853,9	0,52	3,31	6,16	2,56	NA			

II.5.1.4.4 - Hidrocarbonetos

A análise de cromatografia gasosa (CG) e a de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), de extratos orgânicos de amostras de água e sedimento, permitem identificar, caracterizar, diferenciar e quantificar os vários tipos de hidrocarbonetos utilizados na avaliação ambiental. Sob tal aspecto, torna-se imperativo separar os hidrocarbonetos de origem antrópica (termogênica) dos biogênicos. Entre os hidrocarbonetos mais estudados, podem ser destacados os hidrocarbonetos alifáticos (ex. n-alcanos, isoprenóides e cicloalcanos) e os aromáticos (ex. naftalenos, benzenos, fenantrenos, etc.).

A maior fonte de hidrocarbonetos no ecossistema marinho é de origem antrópica, que envolve a contribuição de efluentes urbanos e industriais, transporte e acidentes marítimos. Em geral, as fontes naturais de hidrocarbonetos contribuem em menor proporção. Mas, em áreas abertas como os oceanos, onde a influência antrópica é mínima, as fontes naturais têm importância primordial e são as principais responsáveis pelos níveis de background observados. Apesar das diminutas concentrações, o conhecimento dos níveis de *background* é muito importante, porque permite avaliar e monitorar os impactos que as atividades antrópicas exercem no meio ambiente.

Em PETROBRAS (2001), as análises de hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA), realizadas no entorno da plataforma de Pargo indicaram valores na faixa de 3,5 a 53,4µg/g, para a campanha de verão e de 2,2 a 34,8µg/g, para a campanha de inverno do ano de 1998. Quanto aos sedimentos das proximidades de Pampo, foram verificados resultados na faixa de 5,6 a 62,2µg/g para a campanha de verão de 1998 e de 4,3 a 49,6µg/g para a campanha de inverno de 1998 (Tabela II.5.1-18). Já, as concentrações obtidas por CG-EM no sedimento do entorno da plataforma de Pargo apresentaram a soma dos HPA na faixa de 60 a 295ng/g. Para os sedimentos de Pampo, a soma dos HPA individuais se encontrou na faixa de 61 a 207ng/g. Foram observadas diferenças de duas a três ordens de grandezas inferiores para os resultados de CG-EM, quando comparados com as concentrações de HPA encontradas através da metodologia fluorescência de UV. Este fato já era esperado, uma vez que a metodologia de fluorescência mede o total de HPA em um determinado comprimento de onda, e certamente outros compostos

além destes e que respondem na mesma faixa, também influenciam no resultado. As concentrações de HPA por CG-EM dos sedimentos foram inferiores aos níveis citados como causadores de efeito biológico (4000ng/g) (LONG & MORGAN, 1990).

Os resultados dos n-alcenos, dos isoprenóides e da mistura complexa não resolvida (MCNR) para a Plataforma de Pargo ficaram na faixa de 906 a 2241ng/g e para a MCNR, na faixa de 10 a 60µg/g. Para a Plataforma de Pampo estes mesmos parâmetros foram de 742 a 2366 ng/g e de 9 a 72µg/g, respectivamente. Também em relação ao sedimento, as concentrações mais elevadas de hidrocarbonetos foram observadas nas estações próximas às plataformas, até um raio de 1.500m, sendo estes hidrocarbonetos de origem petrogênica. As faixas de concentração de n-alcenos, MCNR (mistura complexa não-resolvida) e HPA (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) para as duas plataformas estudadas foram similares, sendo em alguns casos inferiores às concentrações reportadas na literatura para ambientes próximos às plataformas de produção de petróleo (Tabela II.5.1-19).

No geral, as amostras de sedimentos apresentaram baixas concentrações de hidrocarbonetos provenientes do petróleo; entretanto, em todas as amostras foram observadas evidências da introdução destes compostos na área de estudo. As concentrações mais elevadas situaram-se dentro dos níveis para ambientes costeiros sujeitos à influência antrópica. Outro fator que pode ter contribuído para esta variação foi a lâmina d'água do estudo, em média de 20 m, o que contribui para a modificação do assoalho marinho em função da ação de ventos e correntes.

TOLDO JR *et al.* (2004) analisaram por CG/EM as concentrações de HPA e TPH por cromatografia capilar de alta resolução, e encontraram concentrações variando de 2,02 a 223,83ppb para HPA e de 0,11 a 23,72ppm de TPH, nas três campanhas realizadas. Estes níveis foram considerados muito baixos e com variação não significativa. Os resultados de HPA tiveram uma distribuição homogênea, não sendo identificado aumento deste composto devido à presença de fluido de perfuração, quando comparados os resultados das estações de referência com as estações até 500m do poço.

Tabela II.5.1-18: Síntese dos Dados Disponíveis na Literatura e Dados sobre as Concentrações de TPH e HPA, na Área de Influência da Atividade. (ng/g= μ g/kg=ppb; μ g/g=mg/kg=ppm)

Referência	Período	TPH	HPA	n	Prof. (m)	Data	
PETROBRAS, 2001	Pampo – verão (μ g/g)	Mínimo	–	3,5	8	100	jan/98
		Máximo	–	53,4			
		Média	–	15			
		Desvio-p	–	13,72			
	Pampo - inverno (μ g/g) UV	Mínimo	–	2,2	11	100	jul/98
		Máximo	–	34,8			
		Média	–	16,85			
		Desvio-p	–	11,39			
	Pargo – verão (μ g/g)	Mínimo	–	5,6	11	100	jan/98
		Máximo	–	62,2			
		Média	–	19,89			
		Desvio-p	–	19,65			
	Pargo - inverno HPA (μ g/g) UV	Mínimo	–	4,3	11	100	jun/98
		Máximo	–	49,6			
		Média	–	16,1			
		Desvio-p	–	13,39			

Tabela II.5.1-19: Síntese dos Dados Disponíveis na Literatura e Dados sobre as Concentrações de TPH e HPA, na Área de Influência da Atividade. (ng/g= μ g/kg=ppb; μ g/g=mg/kg=ppm)

Referência	Período		TPH	HPA	n	Prof. (m)	Data			
TOLDO JR et al., 2004	antes da perfuração (<500m) TPH (ppm) HPA (ppb)	Mínimo	0,11	14,86	48	900	abr/01			
		Máximo	5,47	202,91						
		Média	1,78	89,45						
		Desvio-p	1,09	50,11						
	antes da perfuração (<500m) TPH (ppm) HPA (ppb)	Mínimo	0,5	38,43	6			jul/01		
		Máximo	1,85	104,39						
		Média	1,41	79,21						
		Desvio-p	0,55	24,38						
	um mês após a perfuração (<500m) TPH (ppm) HPA (ppb)	Mínimo	0,64	11,84	48		900		jun/02	
		Máximo	14,78	223,83						
		Média	3,43	96,27						
		Desvio-p	3,45	51,37						
	um mês após a perfuração (2500m) TPH (ppm) HPA (ppb)	Mínimo	0,34	64,85	6			900		jun/02
		Máximo	1,37	160,06						
		Média	0,93	114,08						
		Desvio-p	0,37	40,85						
doze meses após a perfuração (<500m) TPH (ppm) HPA (ppb)	Mínimo	0,25	2,02	48	900	jun/02				
	Máximo	23,72	71,07							
	Média	2,79	37,53							
	Desvio-p	4,3	16,23							
doze meses após a perfuração (2500m) TPH (ppm) HPA (ppb)	Mínimo	0,25	27,48	6					900	jun/02
	Máximo	0,72	75,78							
	Média	0,41	47,71							
	Desvio-p	0,2	18,42							

II.5.1.5 - Geologia e Geomorfologia

II.5.1.5.1 – Introdução

A Bacia de Campos esta localizada na porção marinha do estado do Rio de Janeiro, na região sudeste do Brasil, com uma área de cerca de 100.000 km² (Figura II.5.1–60). As espessuras sedimentares na Bacia de Campos aumentam de oeste para leste, de acordo com a extensão ocorrida durante o rifteamento (Guardado *et al.*, 1989).

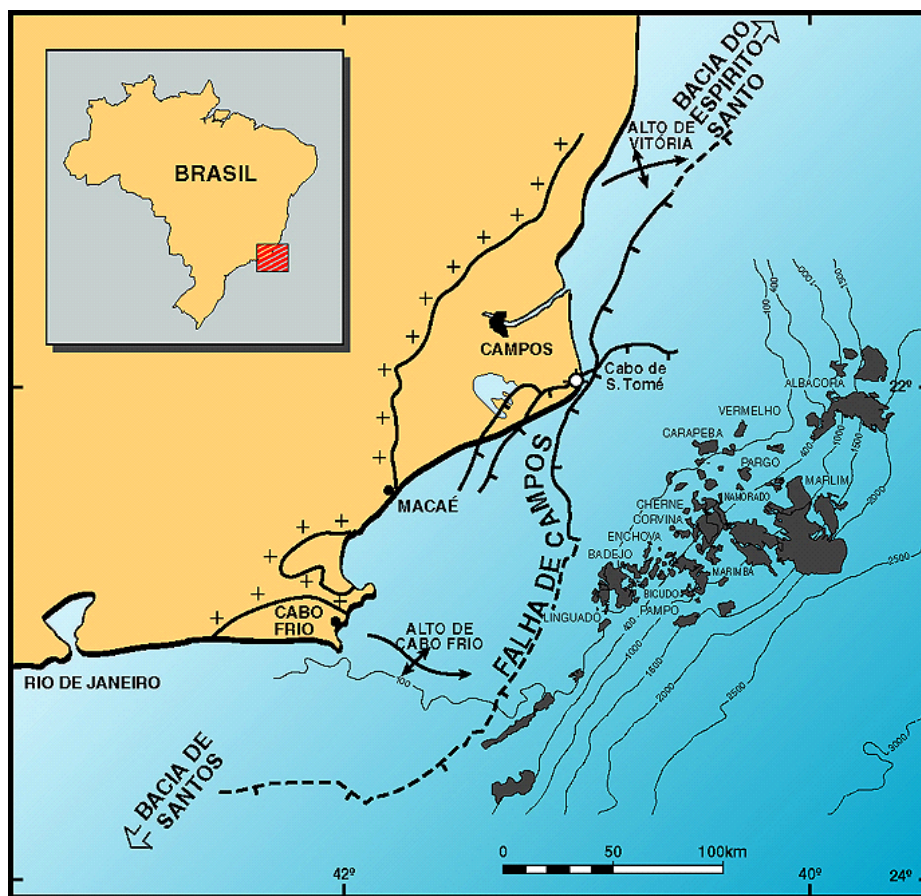


Figura II.5.1–60 – Localização da Bacia de Campos mostrando os campos de petróleo e principais feições estruturais (modificado de Guardado *et al.*, 1989).

Na porção oeste, sedimentos relativamente pouco espessos do Terciário recobrem o embasamento (crosta continental). Na porção leste da bacia (onde as acumulações de óleo ocorrem), um pacote sedimentar mais espesso que abrange unidades desde o Cretáceo inferior até o Holoceno encontra-se depositado sobre o embasamento mais adelgado. A falha de Campos, com direção paralela à costa, divide a bacia em duas metades. A metade mais a

leste é caracterizada por uma série de domos de sal, onde uma delgada crosta continental se encontra com a crosta oceânica.

A sedimentação da bacia foi controlada por uma variedade de fatores começando pela topografia do embasamento. A distensão no Cretáceo inferior gerou uma série de *horsts* e *grabens* como o Alto de Badejo, o Baixo de São João da Barra e o Baixo de Corvina-Parati.

II.5.1.5.2 – Arcabouço Estrutural da Bacia de Campos

A Bacia de Campos é uma dentre uma série de bacias formadas ao longo da margem sudeste brasileira durante a ruptura do Gondwana, que teve início no Cretáceo inferior. Limita-se com o Alto Vitória ao norte, que a separa da Bacia do Espírito Santo e, pelo Alto de Cabo Frio, que a separa da Bacia de Santos, ao sul. A bacia é aberta na direção leste. O preenchimento sedimentar grada na direção leste para uma cunha sedimentar depositada sobre a crosta oceânica do Atlântico Sul. O limite ao oeste é contra rochas metamórficas do embasamento (Guardado *et al.*, 1989).

As modificações que ocorreram no embasamento por reativação tectônica, no Cretáceo Superior foram responsáveis pelo estabelecimento das falhas e, posteriormente, pela estruturação da tectônica adiastrófica, importante na orientação das áreas preferenciais de captação de turbiditos e no controle da migração e acumulação de grande volume de hidrocarbonetos. Conseqüentemente, a Bacia de Campos tem sido alvo de constantes campanhas exploratórias na busca de reservatórios de petróleo e gás.

A seção sedimentar da Bacia de Campos pode ser subdividida em três mega-seqüências: 1) Megasseqüência não marinha da fase *Rift*, depositada durante o Hauteriviano-Barremiano; 2) Megasseqüência da fase transicional, depositada durante o Aptiano; 3) Megasseqüência marinha da fase *Drift*, compreende sedimentos depositados desde o Albiano até o Holoceno (Figura II.5.1–61). Na seção *Rift*, os sistemas principais de falhas normais seguem uma tendência geral de NE-SW, com geometria planar. A maior parte da atividade tectônica dessas falhas cessou antes do desenvolvimento da discordância pre-Aptiana. Na seção post-rift, a atividade tectônica é originada principalmente pela halocinese, que produz sistemas de falhas normais lítricas em uma tendência de NE-SW. Estes sistemas de falhas controlaram o desenvolvimento

da geometria dos principais campos de petróleo na bacia, assim como os padrões da migração (Guardado *et al.*, 1989).

Os exemplos brasileiros de campos petrolíferos são associados geralmente com grandes falhas lítricas ou planas que rompem o sal autóctone. A migração pode ocorrer acima destas falhas e nos reservatórios subjacentes. A migração hidrodinâmica diretamente do *syn-rift* aos reservatórios é possível nas áreas onde não há nenhuma estrutura de sal.

II.5.1.5.3 – Estratigrafia da Bacia de Campos

A Bacia de Campos teve uma evolução típica de bacia de margem passiva, semelhante às demais bacias da costa leste brasileira. A história de sedimentação pode ser descrita a partir dos eventos compreendidos pelas três megassequências apresentadas a seguir.

- **Megassequência Continental**

Megassequência da fase *Rift* (Barremiano). Esta sequência é composta inteiramente por sedimentos não-marinhos (lacustres) e flúvio-deltáicos da Formação Lagoa Feia (Figura II.5.1–61 e Figura II.5.1–62) que podem atingir até cerca de 4.000m de espessura. Os folhelhos negros da Fm. Lagoa Feia são os geradores primários de óleos na bacia. A sequência das coquinas, composta principalmente por fragmentos de conchas de pelecípodes depositados em altos estruturais, são importantes reservatórios, bem como rochas geradoras.

- **Megassequência Transicional**

Megassequência da fase transicional (Aptiano). Constituída por duas sequências: uma inferior de conglomerados de leques aluviais e folhelhos, e uma superior de evaporitos (*sabkha*), predominantemente anidrita e halita.

- **Megassequência Marinha**

Megassequência da fase *Drift*. A fase *Drift* pode ser dividida em duas fases; a fase pré-ocêânica (Albiano a Cenomaniano superior), que começa com a deposição da Formação Macaé, predominantemente carbonática e com cerca de 1.000 m de espessura, que grada para sedimentos silicicláticos depositados numa fácies mais proximal. A fase oceânica se iniciou no Turoniano Superior, quando condições anóxicas favoreceram a deposição e preservação de rochas potencialmente geradoras. A posterior deposição de

folhelhos marinhos e turbiditos (excelentes reservatórios) ocorreu desde o Cretáceo superior até o Holoceno (Figura II.5.1–62).

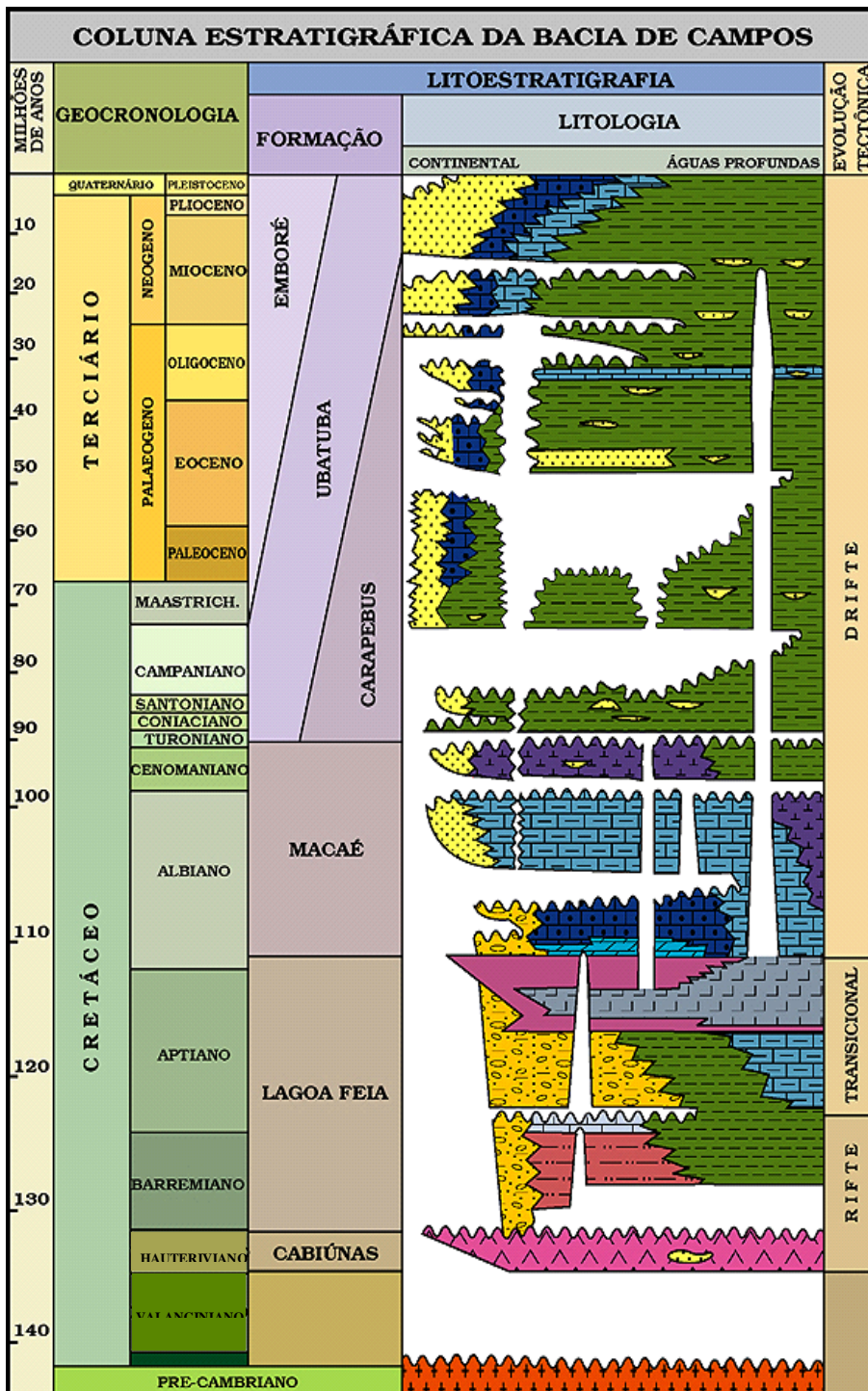


Figura II.5.1–61 – Coluna estratigráfica da Bacia de Campos

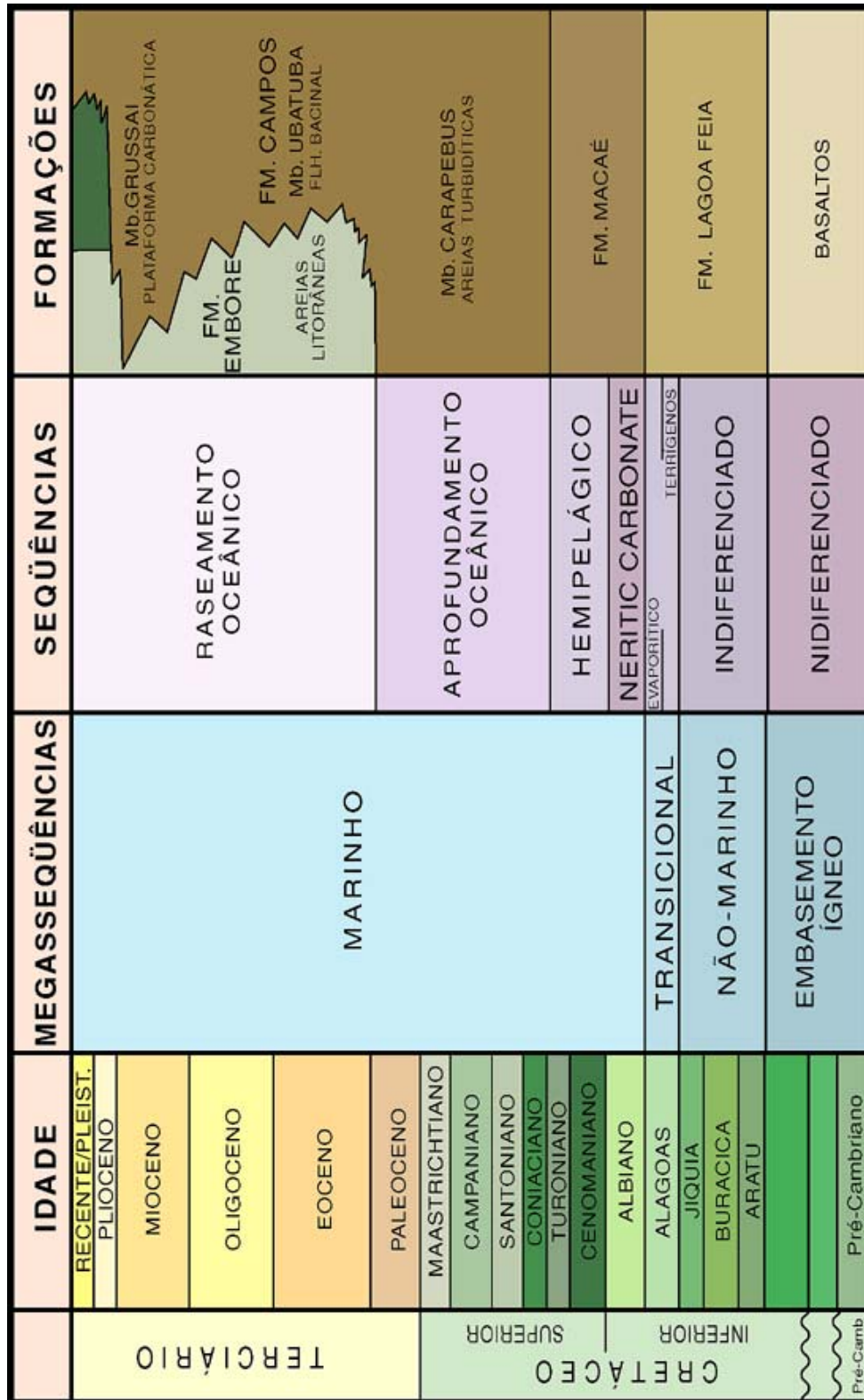


Figura II.5.1-62 – Coluna estratigráfica simplificada para a Bacia de Campos

Reservatórios

Reservatórios de hidrocarbonetos ocorrem ao longo de quase toda a coluna estratigráfica da Bacia de Campos. As principais seqüências de reservatórios compreendem basaltos fraturados (Fm. Cabiúnas), coquinas (Fm. Lagoa Feia), calcários (Fm. Macaé), e turbiditos (Fms Macaé e Carapebus) (Figura II.5.1–63). Os calcários Siri (Fm. Emborê/ Mb. Siri), alvo deste projeto, não se apresentam como reservatórios, até o momento, em nenhuma região da Bacia.

- Formação Cabiúnas

Os reservatórios da Fm. Cabiúnas consistem basicamente em basaltos fraturados e secundariamente de brecha vulcânica. Basaltos fraturados são os reservatórios para os campos de petróleo de Trilha, Badejo e Linguado, localizados no Alto de Badejo. O óleo nos basaltos ocorre em microfraturas e fraturas em zonas vesiculares. A porosidade é constituída por fraturas, vesículas, e pela porosidade da matriz própria, sendo as fraturas o fator mais importante.

- Formação Lagoa Feia

Acima dos basaltos, as coquinas depositadas nos altos estruturais são também importantes reservatórios. Eles estão constituídos por lentes de coquinas de mais de 10m de espessura, formadas por camadas empilhadas relativamente finas (20 a 100 cm de espessura) de calcirruditos ricos em bivalves, que mostram localmente estratificação cruzada, associada com camadas finas de calcarenitos ou folhelhos calcários e sem intercalações de rochas siliciclásticas. A porosidade nas coquinas varia de 06 a 20% e a permeabilidade pode ser de mais de 500mD. Esta seqüência é composta inteiramente por sedimentos flúvio-deltáicos e carbonatos lacustres (coquinas), depositados em um sistema complexo, controlado por condições ambientais e tectônicas locais. Sua espessura varia de 2.400 m em pontos paleo-estruturais baixos a 0 m em altos paleo-estruturais. As características sedimentares sugerem condições de deposição de alta energia e água rasa. A diagênese transformou as coquinas em zonas extremamente heterogêneas, onde podem

ocorrer variações profundas na qualidade dos reservatórios em intervalos verticais relativamente curtos.

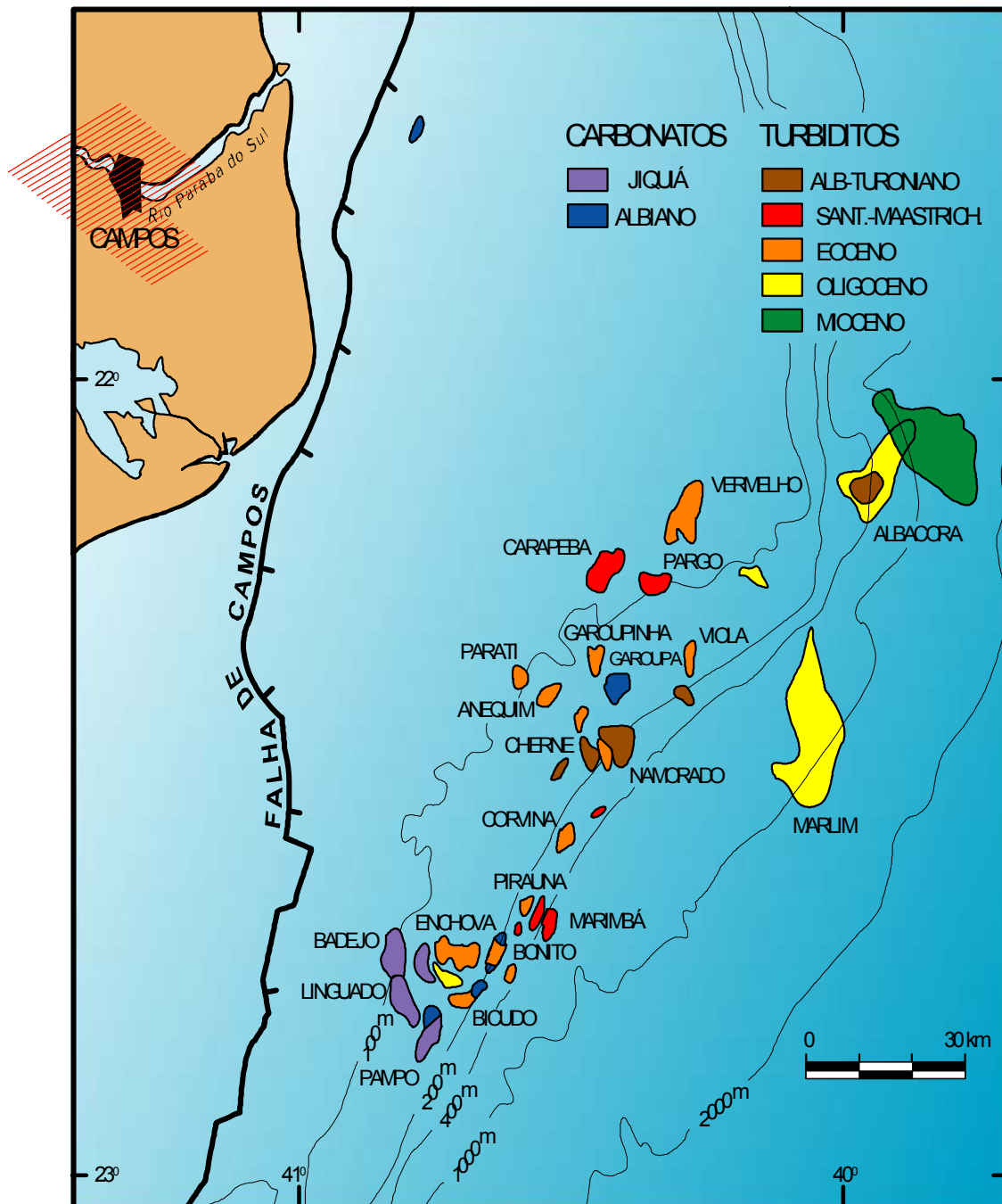


Figura II.5.1-63 – Distribuição dos campos de óleos da Bacia de Campos por reservatórios e idades. (Modificado de Guardado et al., 1989).

- Formação Macaé

Os carbonatos da Formação Macaé (Albiano inferior) são também importantes reservatórios na bacia de Campos. Nestes carbonatos existem ciclos iniciando com pacotes oncolíticos/peloidais que gradam para grãos oolíticos (*oolitic grainstones*). Águas meteóricas são responsáveis pelos processos de dissolução e cimentação nos reservatórios.

- Grupo Campos – Formação Carapebus

Os turbiditos do Grupo Campos (Cretáceo superior - Terciário) contêm a maioria das reservas de petróleo da bacia. Os de idade cretácica consistem principalmente em arenitos arcósicos de grão grosso a médio, com múltiplos corpos empilhados e alta relação areia/folhelho. Também tem arenitos com estratificação cruzada e plana e arenitos argilosos. A cimentação dos arenitos é pobre e com calcita. Os valores médios de porosidade e permeabilidade são 27% e 1700md, respectivamente. A porosidade é principalmente do tipo intragranular secundário.

Os arenitos terciários da Formação Carapebus do Grupo Campos são compostos principalmente de arenitos médios, maciços, com intercalações de arenitos finos a grossos, formando corpos complexos de arenitos empilhados com contato abruptos erosivos. Os valores médios de porosidade e permeabilidade são de 24 % e 700md, respectivamente.

Os intervalos mais espessos do sistema de turbiditos da bacia dos Campos se acumularam nas áreas onde a removimentação gradual de sal ocorreu contemporaneamente com a deposição em resposta à carga sedimentar diferencial.

- Grupo Campos – Fm. Emborê

A Fm. Emborê constitui a unidade litoestratigráfica mais proximal da Bacia de Campos e suas rochas são predominantemente arenitos e carbonatos impuros sobrepostos e lateralmente interdigitados com os pelitos da Fm. Ubatuba. A deposição ocorreu sob a forma de leques costeiros e plataforma carbonática, do Maastrichtiano ao Holoceno sendo o reservatório Siri uma plataforma carbonática, de origem algálica, de idade holigo-miocênica. Seu sistema poroso, bastante heterogêneo, se

caracteriza por porosidades intergranulares e *vugs*, apresentando valores médios de 25% de porosidade e 1500md de permeabilidade.

II.5.1.5.4 – Fisiografia da Bacia de Campos

A margem continental onde está localizada a Bacia de Campos é um domínio fisiográfico de transição entre a parte emersa do continente e a bacia oceânica, sendo dividida de acordo com as suas características morfológicas em três províncias: Plataforma Continental, Talude Continental e Platô de São Paulo (Figura II.5.1–64).

A Plataforma Continental possui relevo suave e monótono, com declividade média em torno de 0,5 graus. É neste contexto geomorfológico em que se dará a instalação do FPSO para a atividade de produção para pesquisa do reservatório Siri, do Concessão de Badejo. O limite externo deste relevo aplainado, da plataforma, é definido pela quebra que se encontra a aproximadamente 180 metros de profundidade. Na Plataforma Continental predominam sedimentos arenosos de composição siliciclástica e sedimentos carbonáticos representados por areias bioclásticas / biodetríticas e bioincrustações. Na porção sudoeste da Plataforma Continental observa-se uma grande concentração de sedimentos lamosos. Também no Platô de São Paulo e no Talude Continental são as lamias (argila+ silte) que predominam.

Já o Talude Continental apresenta variações na sua declividade média de cerca de três graus. As variações morfológicas decorrem da presença de cânions, ravinas e sulcos cujas escarpas podem atingir declividades maiores do que 30 graus. O limite externo do Talude Continental pode chegar a 2000 metros de profundidade. Este compartimento morfológico apresenta mergulho para sudeste, com declividades que variam de 0 a 6 graus.

O Platô de São Paulo é caracterizado por um relevo irregular ocasionado pela movimentação de camadas de sal em subsuperfície (halocinese). Nele ocorrem grandes desníveis localizados e declividades que podem variar de 0,5 graus a valores acima de 20 graus. Seu limite externo coincide com uma grande escarpa que ocorre a uma profundidade aproximada de 3000 metros.

No Mapa II.5.1-2, apresentam-se os sedimentos predominantes e a batimetria da região de interesse, incluindo a plataforma continental e o talude. Ressalta-se que a cobertura sedimentar na faixa em branco, localizada na

Plataforma Interna (0-20m) e Plataforma Média (20-40m), é composta predominantemente por areias e lamas fluviais. Já na faixa em branco localizada no limite entre a Plataforma Externa e a parte superior do Talude Continental (150-1150m) predominam lamas e areias e/ou cascalhos de algas, moluscos e foraminíferos bentônicos.



Figura II.5.1–64 – Mapa fisiográfico e faciológico regional da Bacia de Campos e a área do projeto.

II.5.1.5.5 – Área da Concessão de Badejo

A Figura II.5.1–65 mostra a localização do *ring fence* do Concessão de Badejo, e a área em vermelho corresponde aos limites dos reservatórios de Badejo projetados no mapa, sobre aos quais o FPSO e equipamentos de

produção ficarão instalados. As coordenadas UTM da área em que esse estudo considera, nos limites do Campo, são: 7.490.000 a 7.485.000 N, e 307.000 a 315.000 E.

A Concessão de Badejo encontra-se na porção sul da Bacia de Campos, a cerca de 90 km do Cabo de São Tomé, sob lâmina d'água média de 95 m (Figura II.5.1–66).

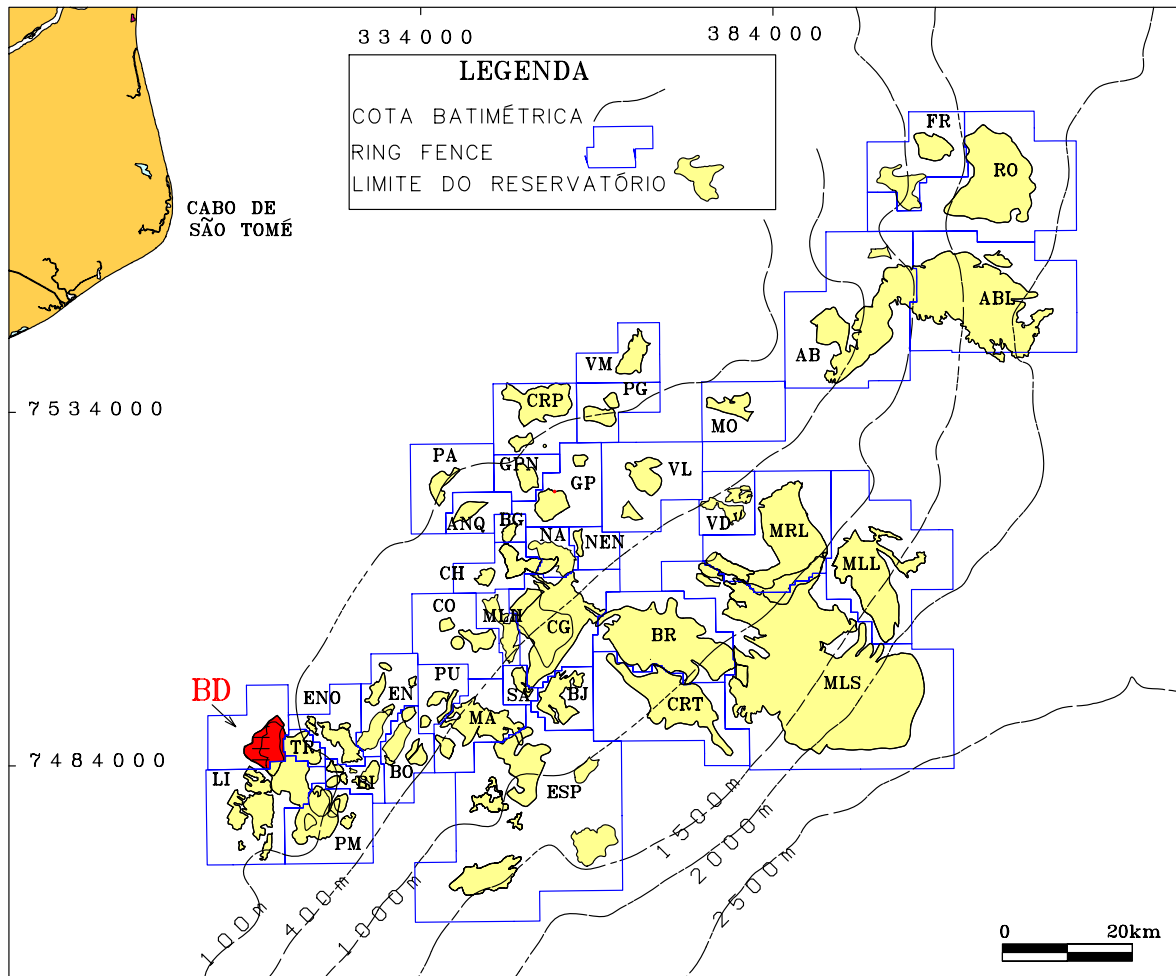


Figura II.5.1–65– Mapa de situação da Concessão de Badejo.

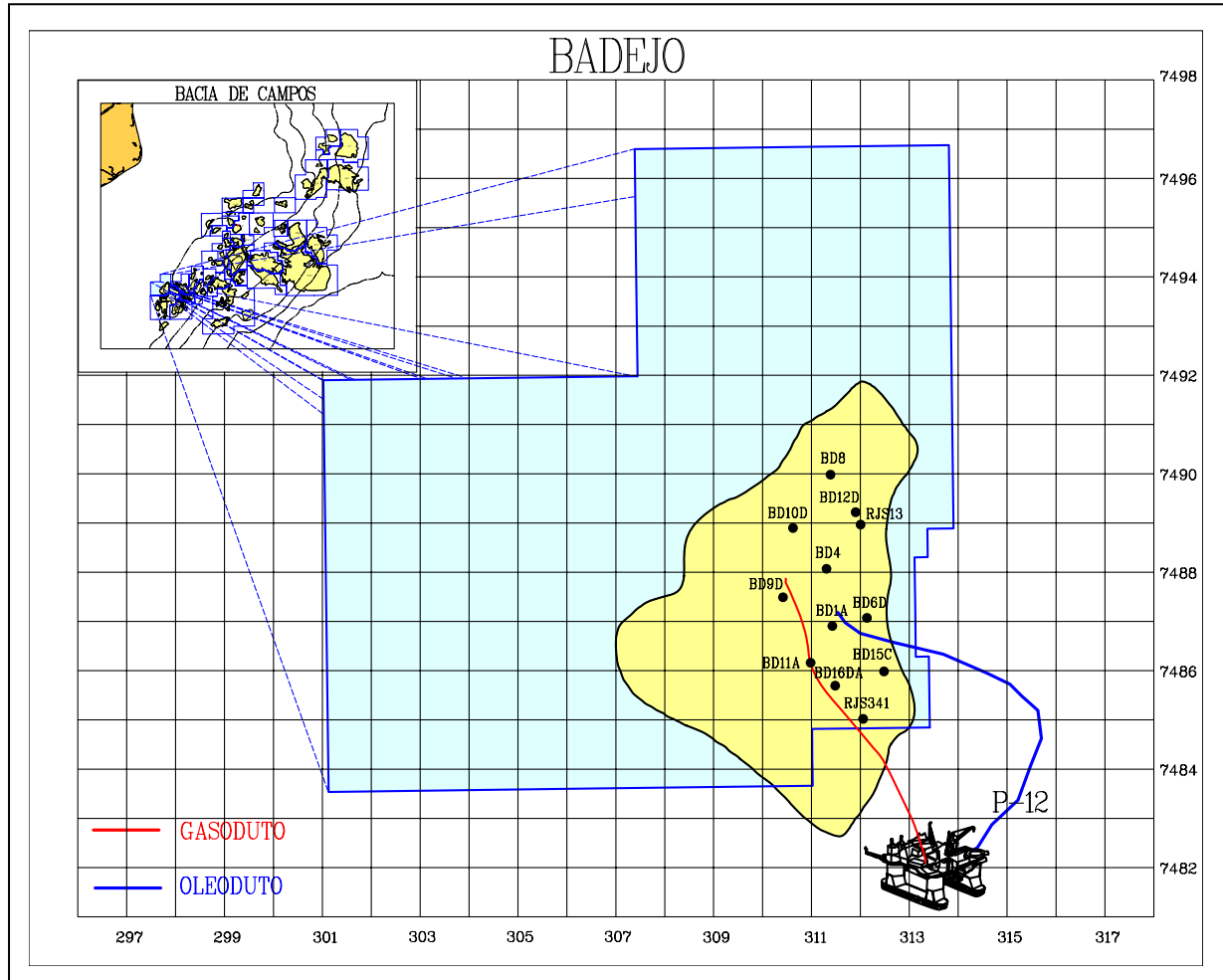


Figura II.5.1-66 – Mapa em detalhe de localização da Concessão de Badejo (UTM em unidade de quilômetro).

II. 5.1.5.5.1 – Arcabouço Estrutural

De forma geral a disposição das camadas que formam a estratigrafia do Concessão de Badejo, apresenta mergulho para leste. Estruturalmente a Concessão de Badejo é cortada por falhas normais de direção geral NNE-SSW. Estas falhas e fraturas são relacionadas às fases de evolução da bacia. Um primeiro conjunto de falhamentos ocorreu na porção basal da Bacia, e são originários da sua fase *rift*, principalmente. Este padrão de falhas afetou as formações Lagoa Feia e Cabiúnas, e constitui um aspecto importante na ocorrência de hidrocarbonetos nos seus respectivos reservatórios, coquinas e os basaltos.

Um segundo grupo de estruturação ocorreu na fase inicial da margem passiva, onde o efeito do basculamento progressivo em direção ao depocentro bacinal (subsidência), provocou a movimentação de camadas de sal (da Fm. Lagoa Feia), vindo a imprimir falhas e fraturas na seqüência sobreposta, principalmente na Fm. Macaé e parte do cretáceo superior.

Na seqüência de rochas do Terciário, onde ocorrem reservatórios da Formação Emborê, pode haver ocorrência de falhas associadas à reativação da tectônica salífera. Entretanto estas feições não são evidentes nos dados sísmicos atuais.

II. 5.1.5.5.2 – Estratigrafia

Na área da Concessão de Badejo ocorrem estratigraficamente, depositados por sobre o embasamento cristalino da Bacia, da base para o topo: Fm. Cabiúnas, Fm. Lagoa Feia (membros Atafona, Itabapoana, Gargaú, Coqueiros e Mb. Retiro), Fm. Macaé (membros Quissamã e Outeiro), Fm. Ubatuba (membros Geribá e Tamoios) e Fm. Emborê (membros Grussaí, Siri e São Tomé). A figura abaixo exemplifica a coluna estratigráfica esquemática da Concessão de Badejo (Figura II.5.1–67).

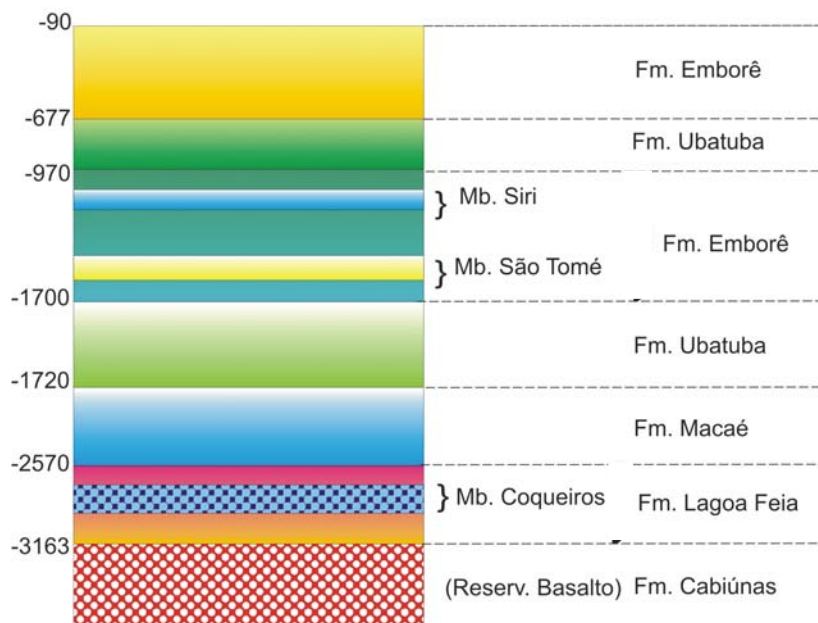


Figura II.5.1–67 – Coluna estratigráfica esquemática do Concessão de Badejo, com base na litoestratigrafia do poço 1-RJS-13-RJS.

Os reservatórios de hidrocarbonetos da Concessão de Badejo ocorrem em quatro diferentes tipos de *plays* (Figuras II.5.1–68 e II.5.1–69).

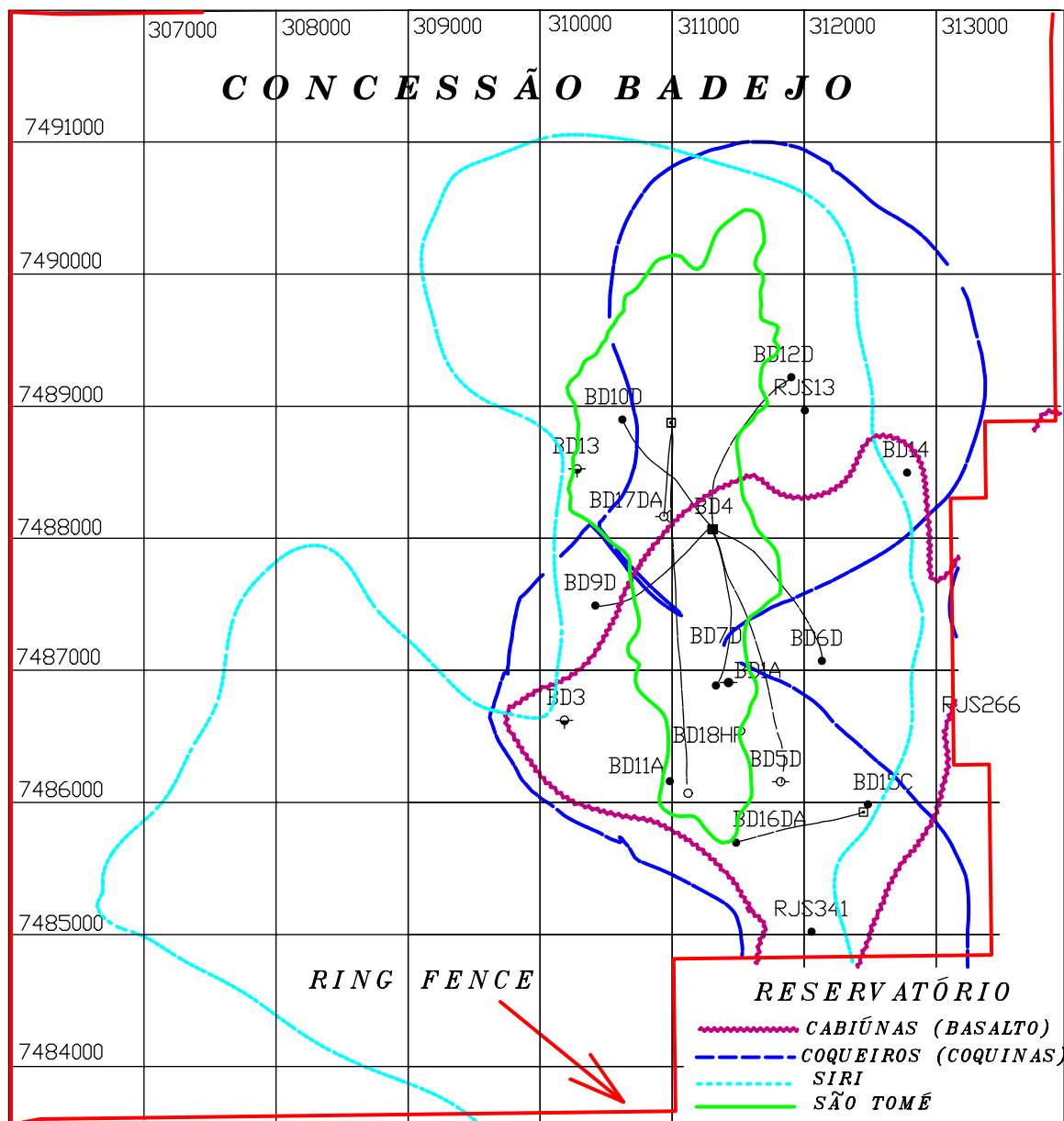


Figura II.5.1–68– Mapa do ring fence da Concessão de Badejo e os limites dos quatro reservatórios existentes na concessão de Badejo.

A seção geológica N-S abaixo, esquematiza as posições relativas de cada um dos reservatórios da Concessão, e de outras formações, mostrando ainda algumas das estruturas presentes, tais como falhas e mergulhos de camadas.

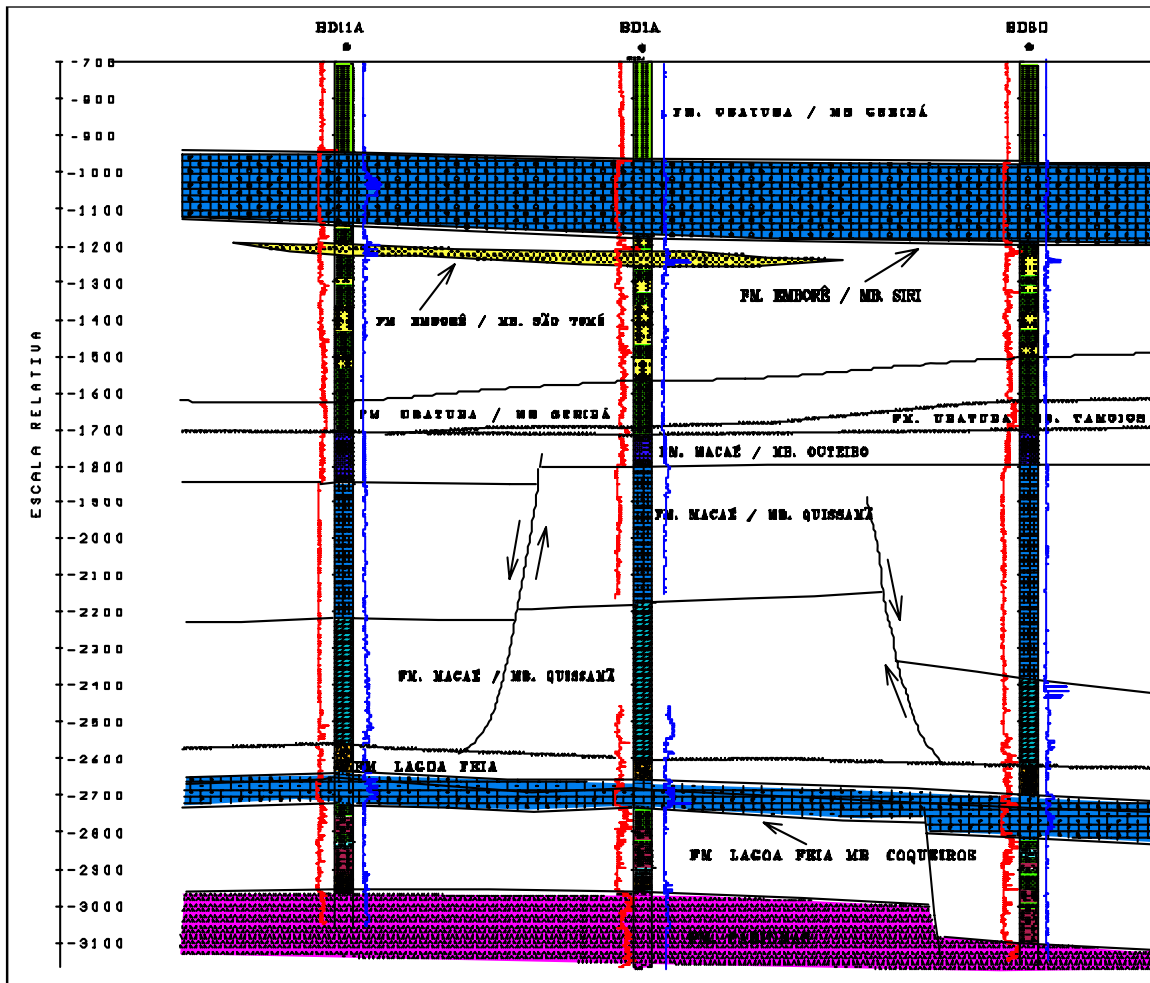


Figura II.5.1-69– Seção estrutural mostrando os quatro reservatórios da Concessão.

O reservatório mais inferior estratigraficamente, datado no Hauteriviano, é o reservatório de rocha basáltica, que corresponde à Fm. Cabiúnas (Figura II.5.1-69). A origem deste reservatório corresponde a extrusão de magma basáltico, ora retrabalhado *in situ*, ora depositado *in situ*, ou mesmo intercalado com fácies conglomeráticas e arenosas de mesma origem, em condições subaérea e/ou subaquática. Este reservatório ocorre na profundidade aproximada de -2950, sendo formado por rochas de porosidades primárias e secundárias, constituídas por microfaturas, vesículas e amígdalas que em conjunto formam um sistema de dupla porosidade: as amígdalas e vesículas constituindo a matriz, e as micro-fraturas os canais de alta permeabilidade.

Os derrames de lavas básicas apresentam, em média, espessuras que variam entre 3 e 4 m, atingindo eventualmente 10 m. Em geral ocorre que derrames individuais estão empilhados, podendo atingir, nestes casos, grandes espessuras. Os derrames individuais são delimitados pelas zonas vesiculares situadas no topo e na base.

Mais acima estratigraficamente, há o reservatório de coquinas, da Fm. Lagoa Feia Membro Coqueiros. Este é constituído por conchas e carapaças fósseis de organismos marinhos principalmente bivalvíos e gastrópodes. As coquinas datam do início do Aptiano, depositaram-se nos altos sindeposicionais resultado do acúmulo sucessivo de lobos amalgamados e retrabalhados, em ambiente de alta energia (Figura II.5.1–70).

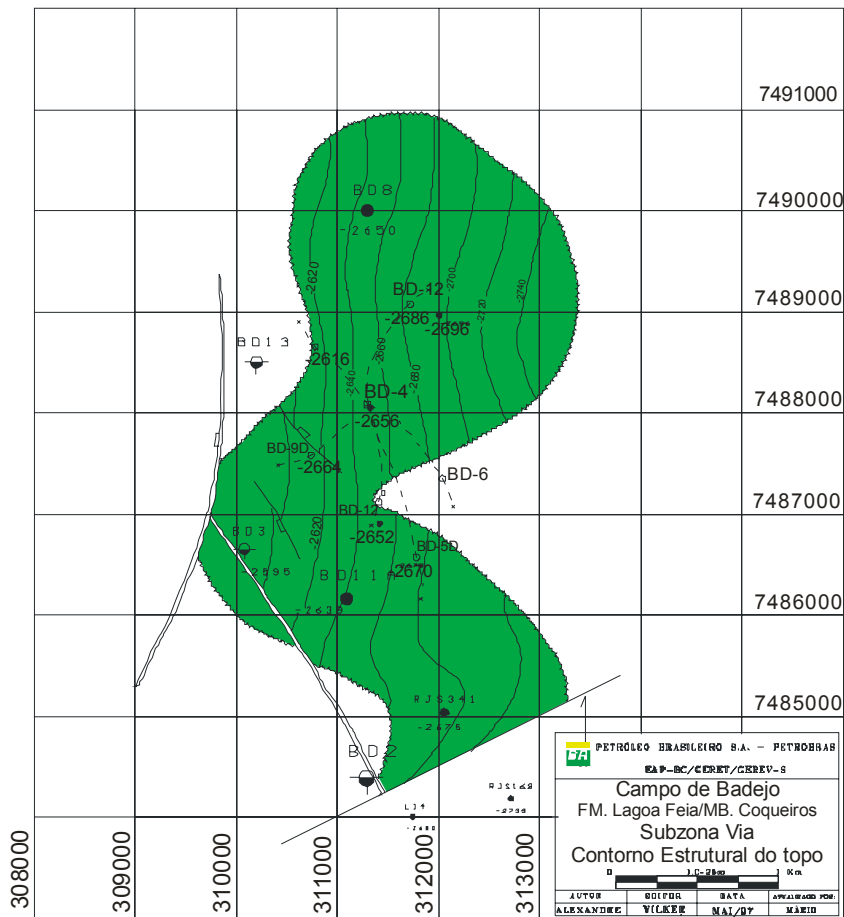


Figura II.5.1–70 – Mapa estrutural do topo do reservatório Coqueiros.

A figura abaixo apresenta alguns dos principais parâmetros dos reservatórios, e seus respectivos fluídos, mencionados acima (Cabiúnas e Coqueiros) (Figura II.5.1–71).

DADOS GERAIS	Reservatórios	
	CABIÚNAS	COQUINAS
ÁREA (Km ²)	9.5	15
Ø (%)	8.0	12
So (%)	85	85
Bo (m ³ /m ³)	1.22	1,53
VOIP (10 ⁶ m ³)	19.435	8,22
Gás (10 ⁹ m ³)	19.6	61,3
VAZÃO MÉDIA (03/98)	203	52
DECLÍNIO (1/ano)	0.14	0,07
NP (10 ⁶ m ³)	2.403	2,66
RGOi	60	156
°API	28/32	30
BSW	0.0	2,0
CONTAO O/A (estimado)	-3112	-2938

Figura II.5.1–71 – Principais parâmetros de reservatório e dos fluídos presentes.

O denominado arenito São Tomé, ocorre na Fm. Emboré/ Mb. São Tomé, e constitui um depósito de barras de plataforma, formado pelo retrabalhamento de material siliciclástico depositado na plataforma externa durante o Oligoceno, próximo ao início do talude (Figura II.5.1–72). O pacote como um todo é formado por uma sucessão de camadas de arenitos, intercaladas por camadas decimétricas de calcilitos e/ou arenitos cimentados.

O reservatório Siri, pertencente ao Membro Siri /Fm. Emboré, com idade Oligoceno Inferior (Figura II.5.1–73) é composto por biomicritos, parcialmente recristalizados, com macroforaminíferos e algas vermelhas. Possui altas permeabilidades, apresentando heterogeneidades verticais e horizontais.

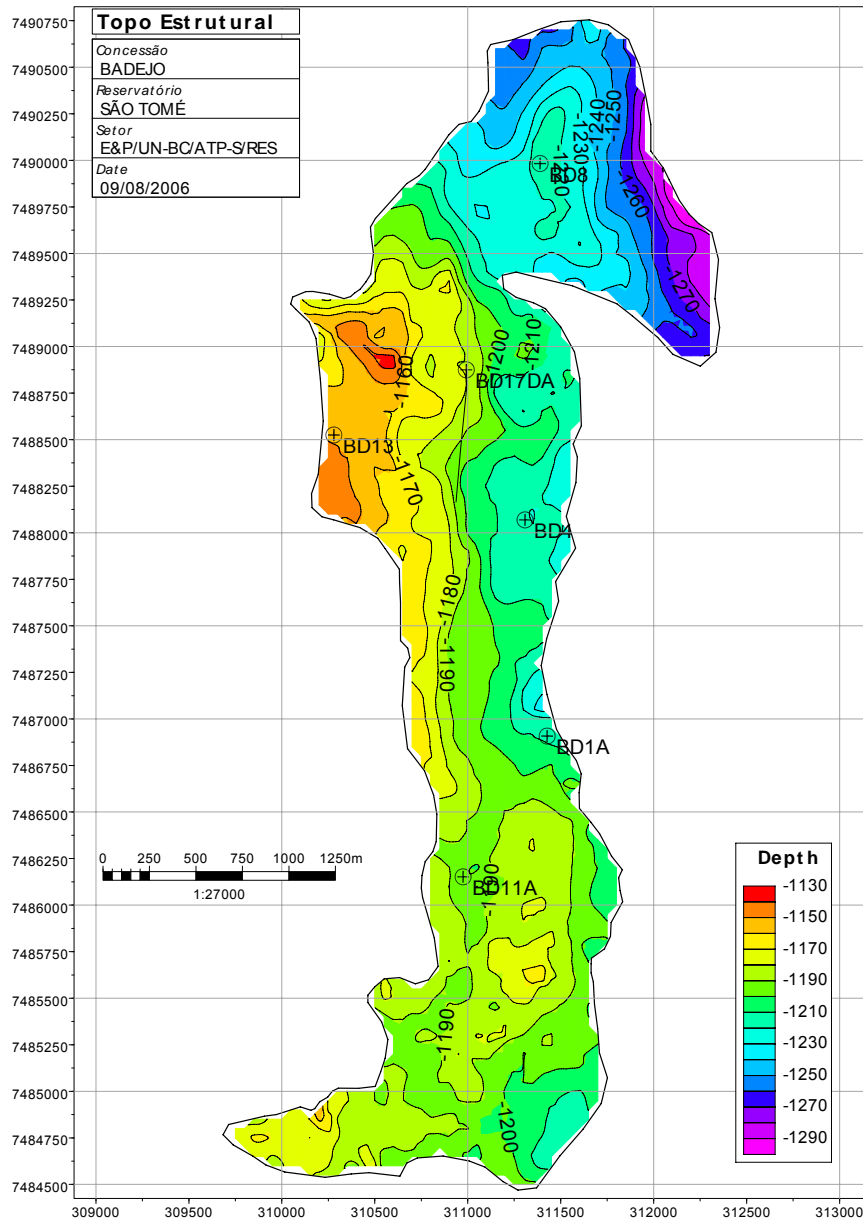


Figura II.5.1-72 – Mapa estrutural do topo do reservatório São Tomé, Fm. Emborê/Mb. São Tomé.

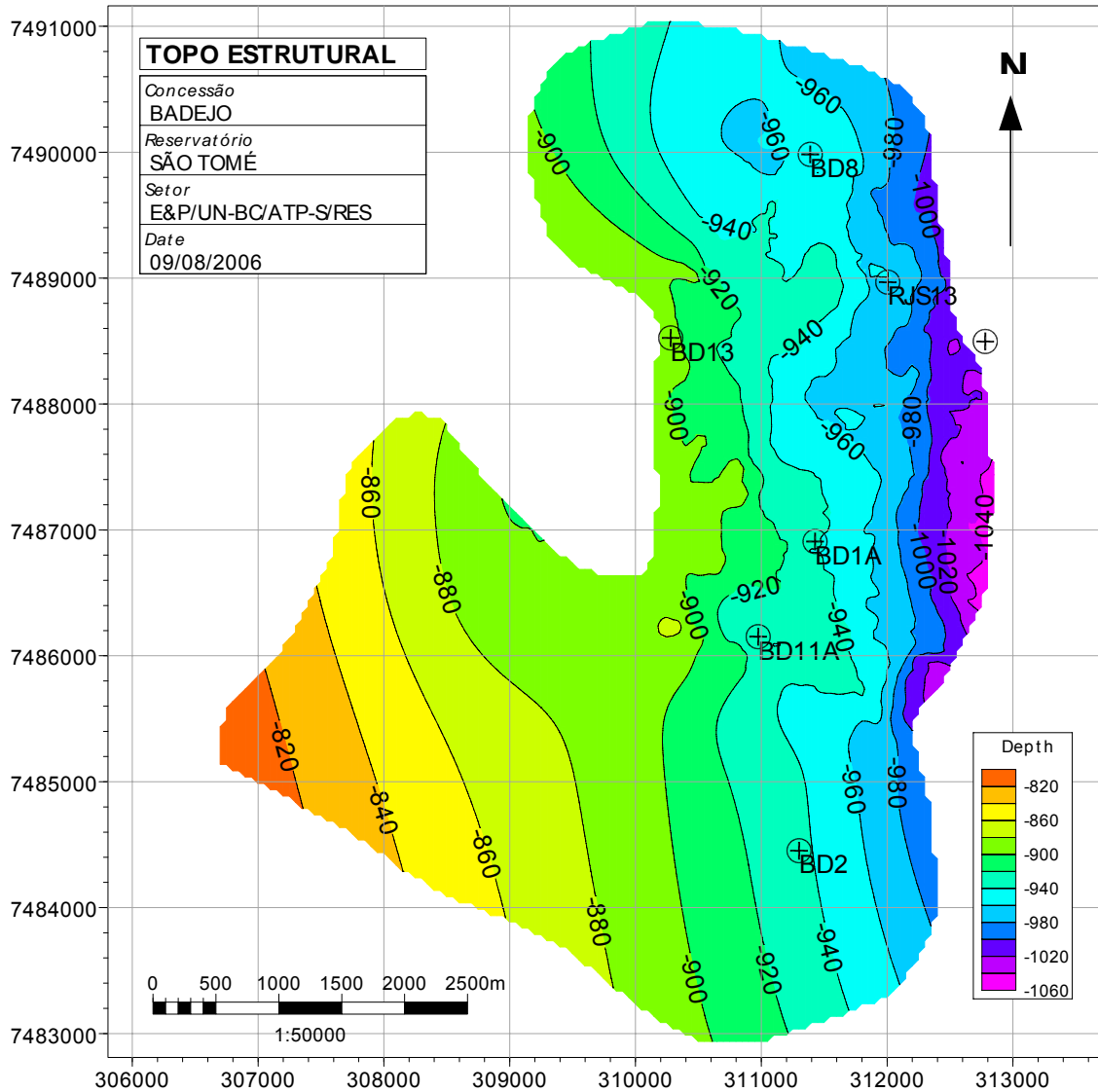


Figura II.5.1-73 – Mapa estrutural do topo do reservatório Siri, Fm. Emborê/Mb. Siri.

II. 5.1.5.5.3 – Fisiografia

A área do projeto está inserida na Plataforma Continental Externa, em uma área com lâmina d’água que varia de -28 a -96 metros de profundidade (Figura II.5.1-74). A declividade predominante, conforme mostra a figura (Figura II.5.1-75) é de 0 a 1 grau.

O relevo observado na área do projeto apresenta morfologia aplainada, monótona e sem irregularidades, com as curvas batimétricas aumentando de forma geral para leste (Figura II.5.1–76).

Na área do projeto não ocorrem canais ou ravinas e não foram identificadas falhas geológicas atingindo o fundo marinho.

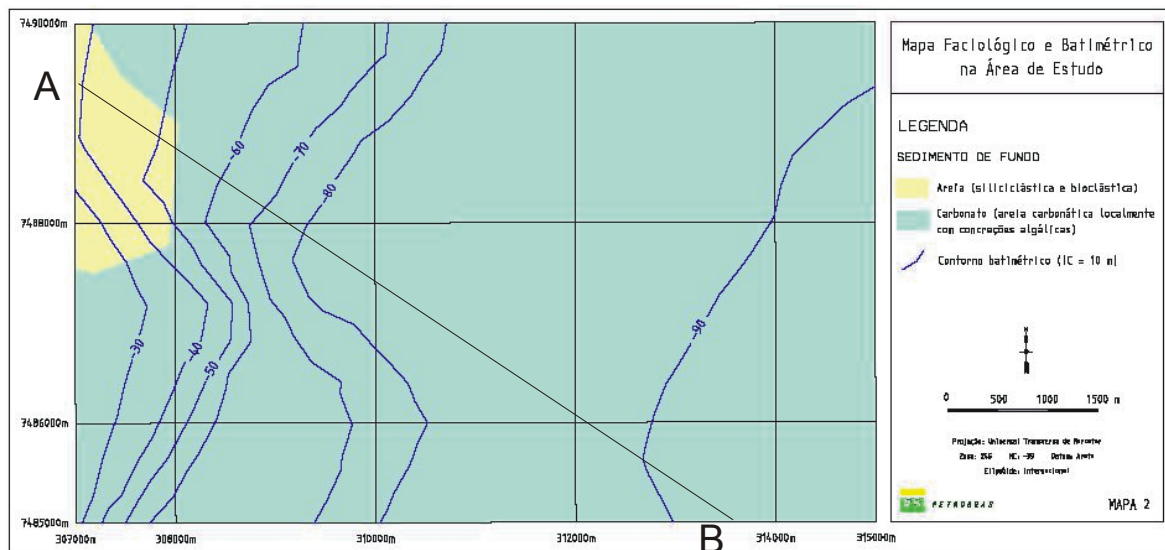


Figura II.5.1–74 – Perfil fisiográfico esquemático de acordo com o Projeto REMAC.

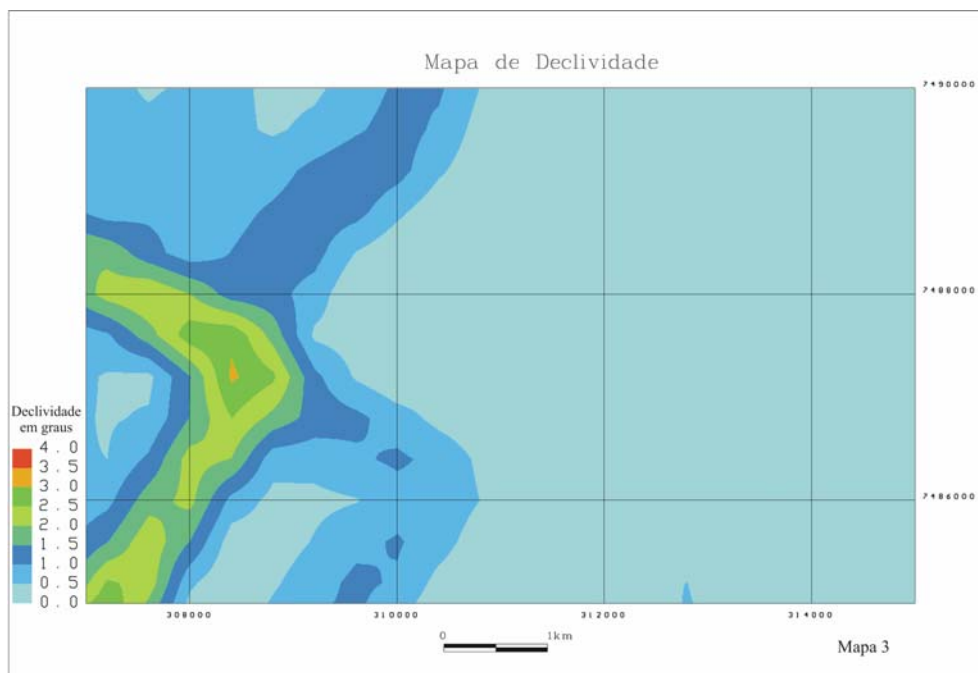


Figura II.5.1–75 – Mapa de declividade da área do projeto.

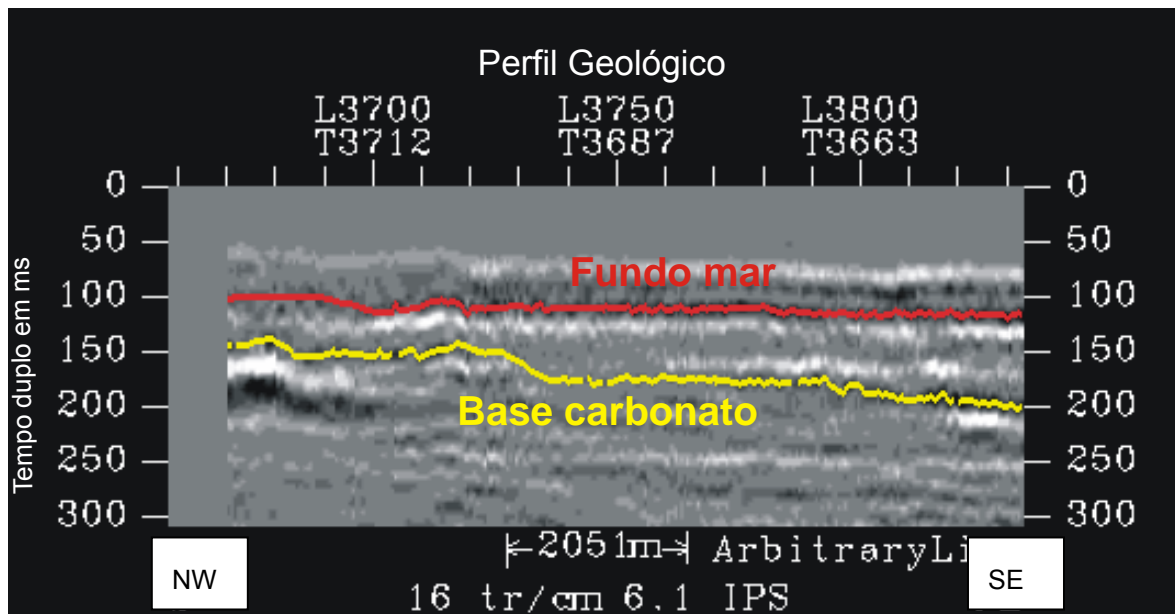


Figura II.5.1–76 – Perfil geológico de sísmica 3D (secção A-B na Figura II.5.1–88). No perfil observa-se o fundo do mar praticamente plano, sem variações na declividade e no relevo.

II. 5.1.5.5.4 – Faciologia dos Sedimentos

No mapa faciológico (Figura II.5.1–64), observa-se um leito marinho composto predominantemente por areia carbonática, localmente contendo concreções algálicas (calcário). Ao noroeste da área ocorre areia siliciclástica e bioclástica.

II. 5.1.5.5.5 – Caracterização Geotécnica

Verificou-se que a área do projeto é plana, sem feições de risco geológico-geotécnico. Está inserida na Plataforma Continental, com uma declividade predominante de 0 a 1 grau, apenas ocorrendo declividades maiores (de 1 a 4 graus) a oeste da área, como se observa na Figura II.5.1–75.

Quanto à composição do solo marinho na área de estudo, observa-se pelo mapa faciológico da Figura II.5.1–64 uma predominância de calcário desde o limite oeste da área (Plataforma Continental) até parte do Talude Continental, a leste da área do projeto. A norte da área, em parte da Plataforma e do Talude

ocorre areia (siliciclástica e bioclástica). Apenas sobre o Talude Continental, a leste da área do projeto, ocorre lama.

Tendo em vista o relevo plano da área de ancoragem do FPSO Petrojarl Cidade de Rio das Ostras, na Concessão de Badejo, sem irregularidades significativas, bem como a composição dos sedimentos depositados em seu leito marinho, caracterizados por suas elevadas resistências ao cisalhamento. Os esforços atuantes e instabilizantes são muitos baixos, principalmente quando comparados a elevada resistência característica da formação geotécnica da área.

Desta forma, é desnecessária a realização de análises detalhadas de estabilidade de taludes via modelagem numérica com *softwares* específicos para o cálculo de fatores de segurança, pois o fator de segurança para esta área resultaria elevado.

Assim, considera-se que a área possui grande estabilidade, com base em dados geológicos e geomorfológicos da Concessão de Badejo, não apresentando feições de riscos geológico-geotécnicos com potencial para provocarem deslizamentos de taludes submarinos, que porventura poderiam comprometer a segurança e/ ou continuidade operacional da futura unidade flutuante de produção (FPSO) a ser instalada neste campo.