

II.5.1.2 Oceanografia

a) Temperatura, Salinidade e Densidade:

Os dados de salinidade e temperatura apresentados a seguir foram obtidos junto ao NODC¹ e são relativos à posição 21,9° S e 39,8° W, na região do Campo d Frade. Estes dados foram combinados em diagramas TS (**Figuras II.5.1.2-1 e II.5.1.2-2**), permitindo algumas inferências sobre o padrão de circulação local.

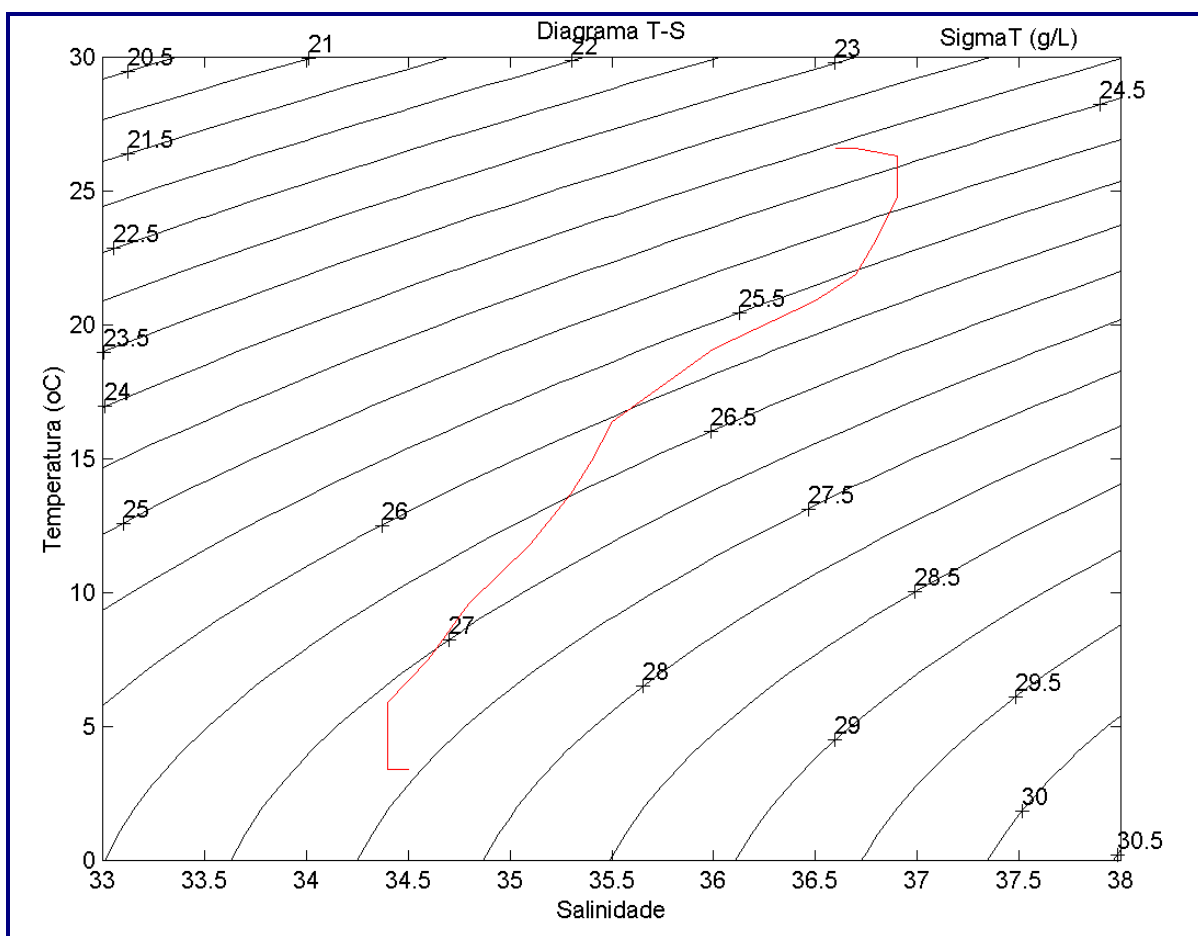


FIGURA II.5.1.2-1: DIAGRAMA TS E SEÇÃO VERTICAL DE DENSIDADE (SIGMAT EM G/L) PARA O PERÍODO DE JANEIRO A MARÇO, CONFORME DADOS DO NODC.

Nota-se na formação da curva TS evidências da presença de massas d'água típicas que caracterizam a circulação da região. As temperaturas mais elevadas (acima que 20°C) e alto grau de salinidade (acima de 36 ups) são características da Água Tropical, que é formada como consequência de intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação, característicos do Atlântico Tropical.

¹ National Oceanographic Data Center, disponibilizados no site <http://www.nodc.noaa.gov>.

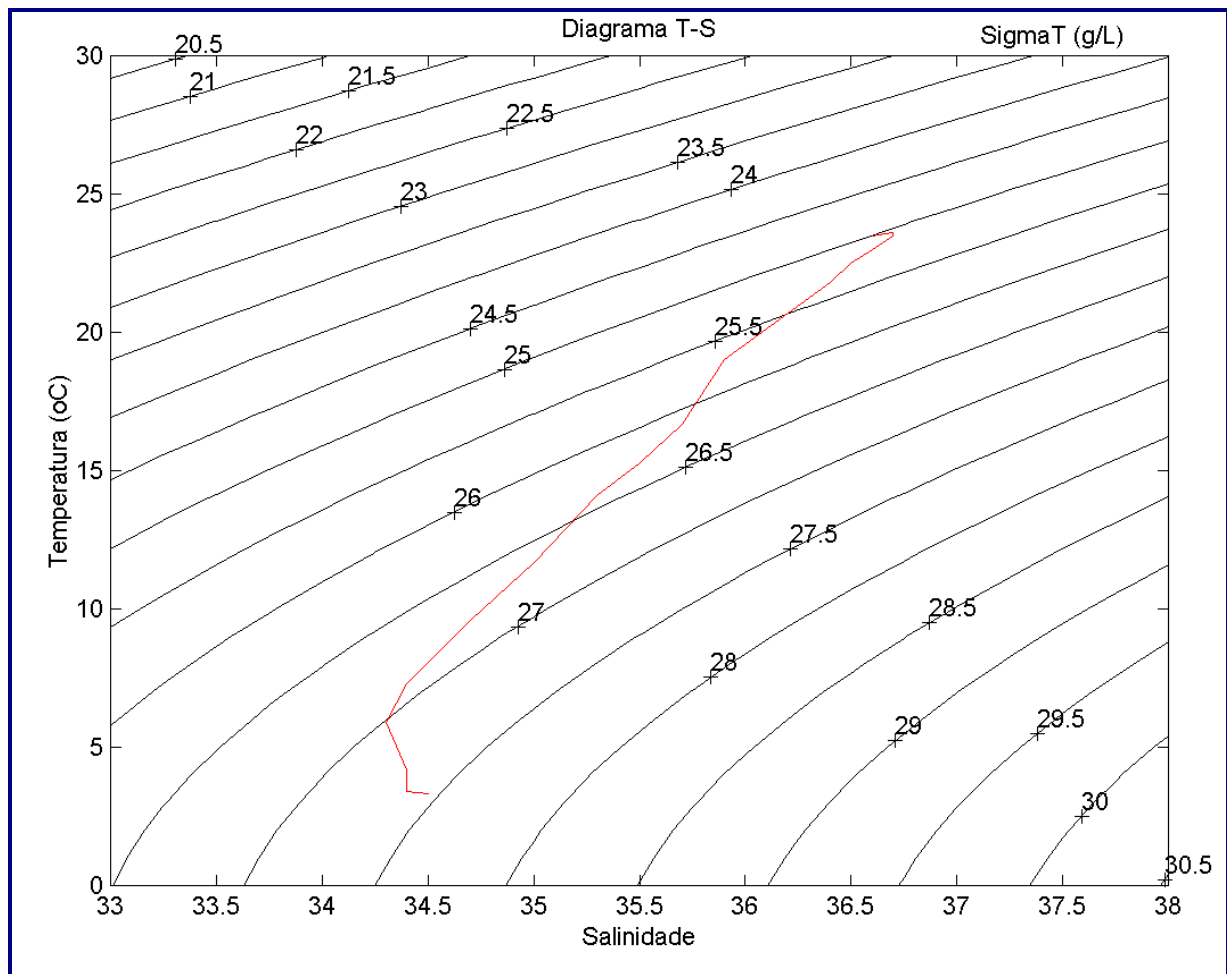


FIGURA II.5.1.2-2: DIAGRAMA TS E SEÇÃO VERTICAL DE DENSIDADE (SIGMAT EM G/L) PARA O PERÍODO DE JULHO A SETEMBRO, CONFORME DADOS DO NODC.

MIRANDA (1985) *apud* MIRANDA (2000) sugere que 20°C e 36,20 ups como índice termohalino da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) no Sudeste brasileiro. SVERDRUP *et al.* (1942) mencionam que a ACAS é formada por afundamento das águas na região da Convergência Subtropical, e subsequente espalhamento ao longo da superfície de densidade adequada ao seu ajustamento hidrostático.

O padrão de fluxo da ACAS, no entanto, não é um simples movimento para Norte em nível picnoclínico em toda bacia do Oceano Atlântico Sul. WÜST (1935) e DEFANT (1941) *apud* MIRANDA (2000) apresentaram as primeiras evidências desse padrão de fluxo, onde ao Sul do Cabo de São Tomé (22°S), a ACAS flui para o Sul ao largo da costa brasileira.

Segundo SVERDRUP *et al.* (1942) *apud* MIRANDA (2000) os limites termohalinos da Água Intermediária Antártica (AIA) são 3° a 6°C para temperatura e 34,2 a 34,6 ups para salinidade, e demarcada pelo mínimo de salinidade no diagrama TS (**Figuras II.5.1.2-1 e II.5.1.2-2**).

Uma comparação entre as **Figuras II.5.1.2-1 e II.5.1.2-2** mostra uma evidente diminuição da atuação da Água Tropical na região.

A seguir, são apresentados os campos de temperatura e salinidade resultantes de um detalhado tratamento, efetuado internamente pela **ASA**, dos dados extraídos do Atlas Eletrônico dos dados do WOCE (World Ocean Circulation Experiment - II), para a região de estudo. Estes dados foram analisados, filtrados e interpolados no espaço. As **Figuras II.5.1.2-3** ilustram os padrões obtidos para a superfície, nos períodos de inverno e verão, enquanto que as **Figuras II.5.1.2-4** mostram secções (cortes) verticais ao longo da Latitude de 21,95°S (ao longo da região do Campo de Frade), para estes mesmos períodos

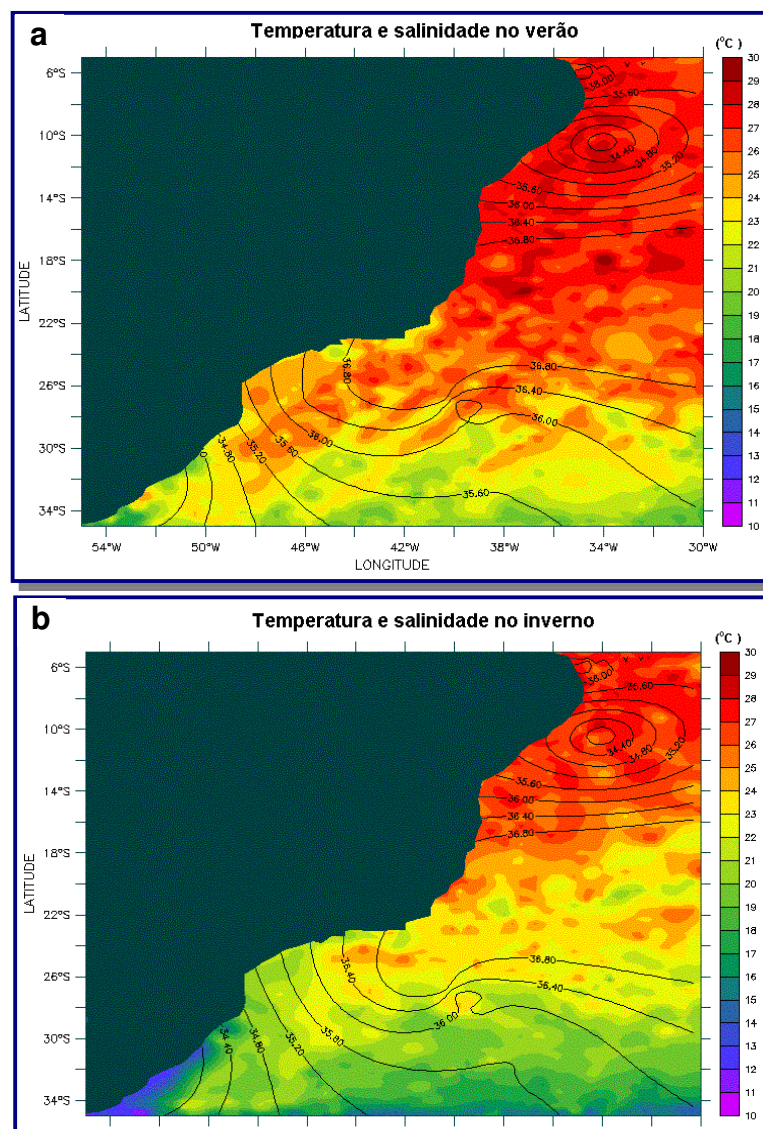


FIGURA II.5.1.2-3: TEMPERATURA (°C) COM ISOLINHAS DE SALINIDADE (PSU) SOBREPOSTAS, NA SUPERFÍCIE, PARA O VERÃO (A) E O INVERNO (B). DADOS PROVENIENTES DO ATLAS DO WOCE.

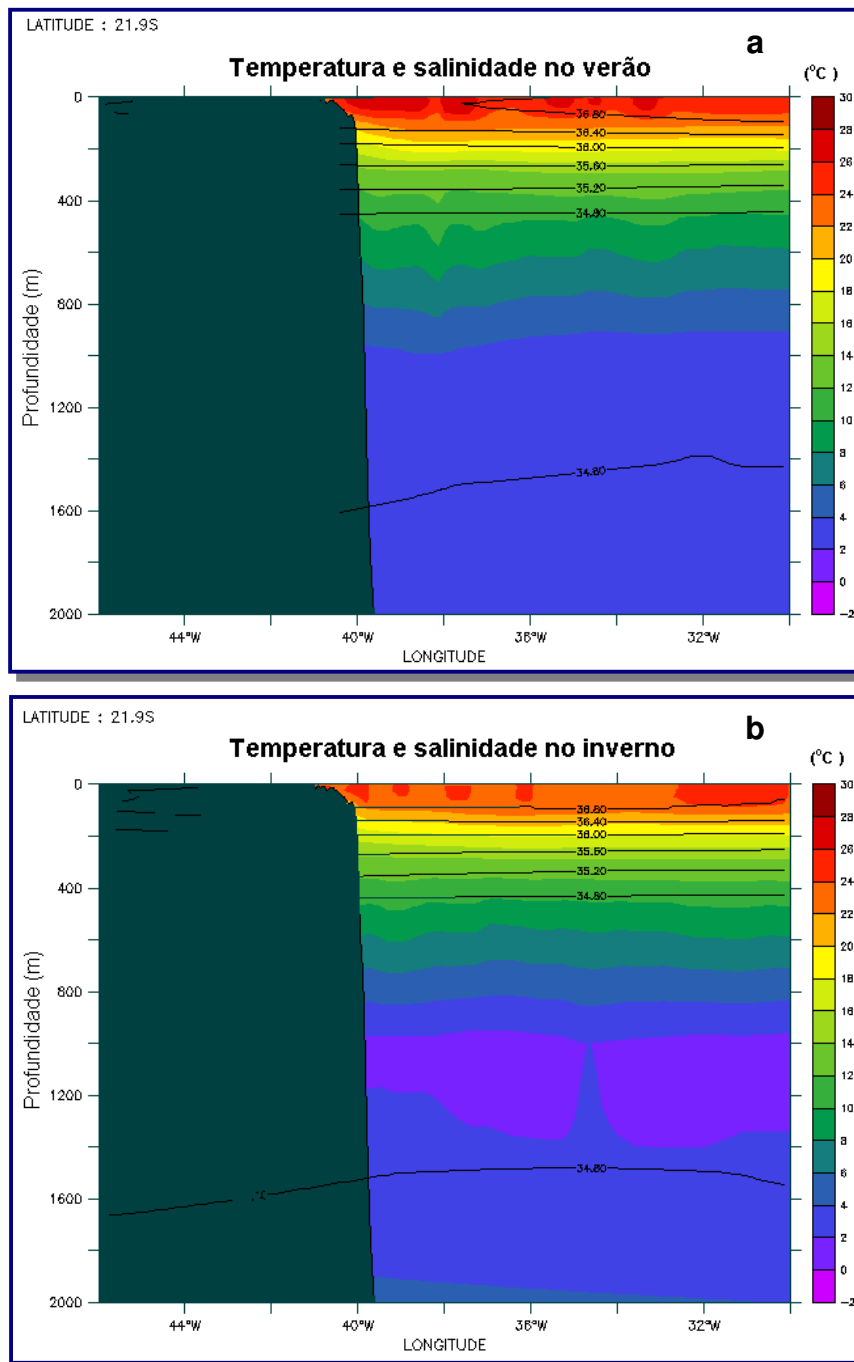


FIGURA II.5.1.2-4: SECÇÕES VERTICAIS DE TEMPERATURA (°C) COM ISOLINHAS DE SALINIDADE (PSU) SOBREPOSTAS, AO LONGO DE 21,95°S, PARA O VERÃO (a) E O INVERNO (b). DADOS PROVENIENTES DO ATLAS DO WOCE.

b) Distribuição das Massas d'água e Regime de Correntes:

A **Figura II.5.1.2-5** 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).

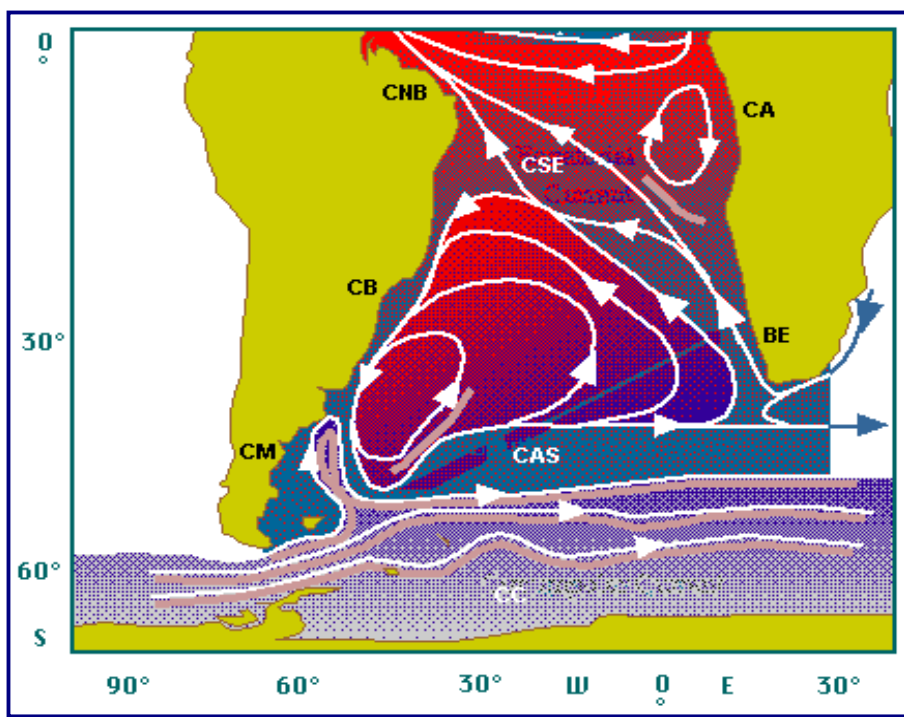


FIGURA II.5.1.2-5: REPRESENTAÇÃO DA CIRCULAÇÃO NO OCEANO ATLÂNTICO SUL, INDICANDO AS SEGUINTE CORRENTES OCEÂNICAS: CORRENTE CIRCUMPOLAR (CC), CORRENTE DO ATLÂNTICO SUL (CAS), CORRENTE DE BENGUELA (BE), CORRENTE DE ANGOLA (CA), CORRENTE SUL EQUATORIAL (CSE), CORRENTE DO BRASIL (CB) E CORRENTE DAS MALVINAS (CM).
ADAPTADO DE TOMCZAK & GODFREY (1994).

A circulação oceânica na região do Campo de Frade é determinada por forçantes variadas, que se sobrepõem de modo diferenciado, dependendo de fatores morfológicos e dinâmicos da área. Sobre a plataforma há amplificação natural do sinal de maré e intensificação dos padrões meteorológicos locais, *i.e.* brisa marinha e efeitos orográficos no vento. Sobreposto a estes sinais existe a presença energética da passagem de frentes. Em região de oceano profundo, a composição da passagem de frentes e do fluxo determinado pela Corrente do Brasil é preponderante.

As primeiras medições diretas da Corrente do Brasil foram feitas por EVANS & SIGNORINI (1985), nas latitudes de 20°30'S e 23°S, as quais apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contracorrente no sentido Norte, abaixo destes 400 m iniciais. Na parte Norte da área, acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Esta mudança afeta significativamente a CB, induzindo à formação de vórtices e meandros, como ilustrado na **Figura II.5.1.2-6**.

Este meandramento da CB foi capturado por SIGNORINI (1978), em sua análise de topografia dinâmica, e por MIRANDA & CASTRO (1979) em suas observações hidrográficas na região adjacente à Cabo Frio (23°S), ao longo de duas secções meridionais.

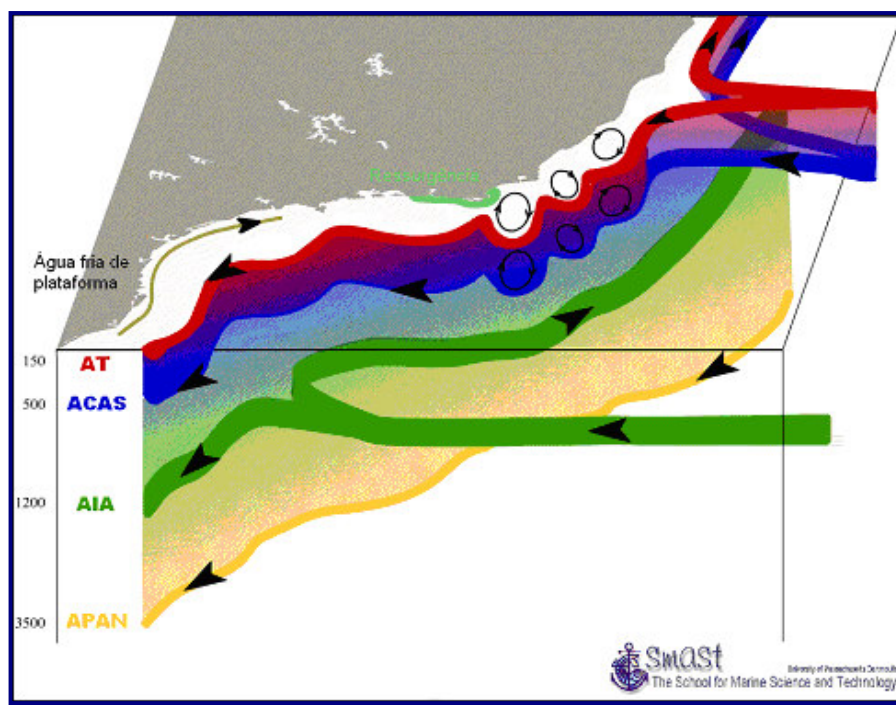


FIGURA II.5.1.2-6: ESQUEMA TRIDIMENSIONAL DA CIRCULAÇÃO OCEÂNICA NA COSTA BRASILEIRA (ADAPTADO DE <http://www.smast.umassd.edu/modeling>).

A região da CB é formada pelo empilhamento das massas de água características do Atlântico Sul (**Figura II.5.1.2-6**). Nos primeiros três quilômetros de coluna d'água encontram-se Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).

Algumas regiões sobre o talude continental podem apresentar velocidades de correntes maiores que 1,0 m/s (CASTRO & MIRANDA, 1998).

O volume estimado transportado pela CB na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S (região do Campo de Frade) é de $5,5 \pm 2,6$ Sv (LIMA, 1997).

O **Quadro II.5.1.2-1** apresenta alguns dos resultados para o cálculo do transporte de volume da CB encontrados na literatura.

Parte significativa do fluxo da CB passa através dos canais dos Bancos de Abrolhos e divide-se em dois ramos. Um deles flui afastado da costa, além da isóbata de 3.000 m (STRAMMA et al., 1990), enquanto o outro flui seguindo a linha de quebra da plataforma (SIGNORINI, 1978).

QUADRO II.5.1.2-1: ESTIMATIVAS PARA O TRANSPORTE DE VOLUME GEOSTRÓFICO DA CORRENTE DO BRASIL ENTRE 19° E 23°S.

Latitude (S)	Profundidade de Referência (m)	Transporte ($10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Velocidade máxima (ms^{-1})	Referência Bibliográfica
19°	560 - 670	3,7*	0,612	STRAMMA ET.AL. (1990)
19°	500	5,5	0,72	MIRANDA & CASTRO (1982)
19°	500	5,3	0,50	EVANS ET.AL. (1983)
19°25'	470 - 640	5,7*	0,188	STRAMMA ET.AL. (1990)
19°30'	480 - 560	1,0*	0,108	STRAMMA ET.AL. (1990)
20°15'	570 - 630	1,9*	0,187	STRAMMA ET.AL. (1990)
20°28'	500	3,8	0,52	EVANS ET.AL. (1983)
20°28'	1000	6,8	0,52	EVANS ET.AL. (1983)
20°3'	590 - 630	1,6*	0,239	STRAMMA ET.AL. (1990)
21°40'	500	4,4	0,61	EVANS ET.AL. (1983)
23°	400	11**	0,5	EVANS & SIGNORINI (1985)

(*) VALORES OBTIDOS A PARTIR DE DADOS HISTÓRICOS.

(**) VALORES OBTIDOS A PARTIR DE MEDIDAS DIRETAS DA CORRENTE.

A corrente que flui para Sudoeste durante o verão é reforçada pelos ventos que provêm principalmente de Nordeste nessa estação devido à influência da ASAS. Outra consequência do predomínio dos ventos de NE é a ressurgência de águas frias (Água Central do Atlântico Sul – ACAS) em regiões costeiras. Esses eventos são muito comuns na região de Cabo Frio. No inverno, entretanto, a alta incidência de sistemas frontais induz a ocorrência de correntes com direção Nordeste nas porções interna e média da plataforma (CASTRO & MIRANDA, 1998).

Vários modelos numéricos globais reproduzem o sistema de correntes em larga escala nesta região. A **Figura II.5.1.2-7** ilustra uma média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM², conforme uma simulação de 14 anos disponibilizada pela UNIVERSIDADE de SOUTHAMPTON. De acordo com estes resultados o ramo Sul da Corrente Sul Equatorial atinge a costa do

² Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project - Southampton Oceanography Centre

Brasil em torno de 15°S, bifurcando-se e originando a CNB, fluindo para Norte, e a CB, fluindo para Sul.

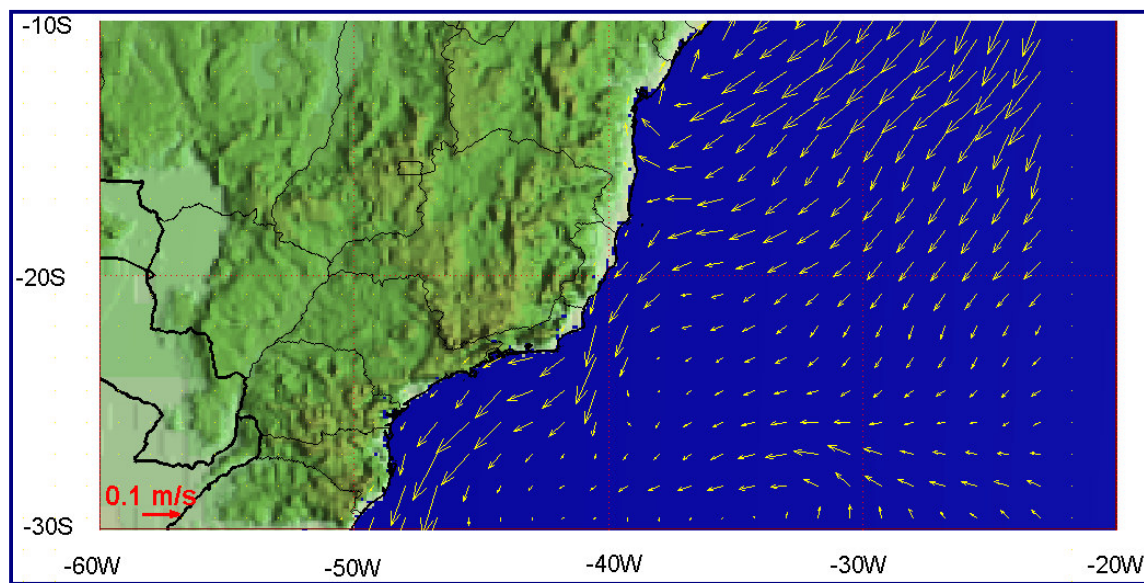


FIGURA II.5.1.2-7: VELOCIDADE BAROCLÍNICA CALCULADA PELO OCCAM - MÉDIA CLIMATOLÓGICA.

A circulação hidrodinâmica predominante na região do Campo de Frade é dominada pela presença da Corrente do Brasil. As principais variabilidades observadas sobre este padrão são determinadas pela incidência de sistemas frontais. Esses fenômenos possuem um padrão sazonal bastante definido, sendo mais intenso e freqüentes no inverno, em oposição ao observado no verão, como foi discutido na **Seção II.5.1.1 - Meteorologia** (Condições Extremas do Regime de Ventos). Como este é um fenômeno físico existente em todas as situações do ano, diferindo em primeira ordem apenas na sua freqüência de ocorrência e intensidade média, ilustra-se os mesmos nas **Figuras II.5.1.2-8 e II.5.1.2-9**. Nestas figuras, observa-se o padrão médio da CB e o campo instantâneo gerado pela interação com o vento numa situação com a presença de frente na área e sem a presença de sistemas frontais, respectivamente.

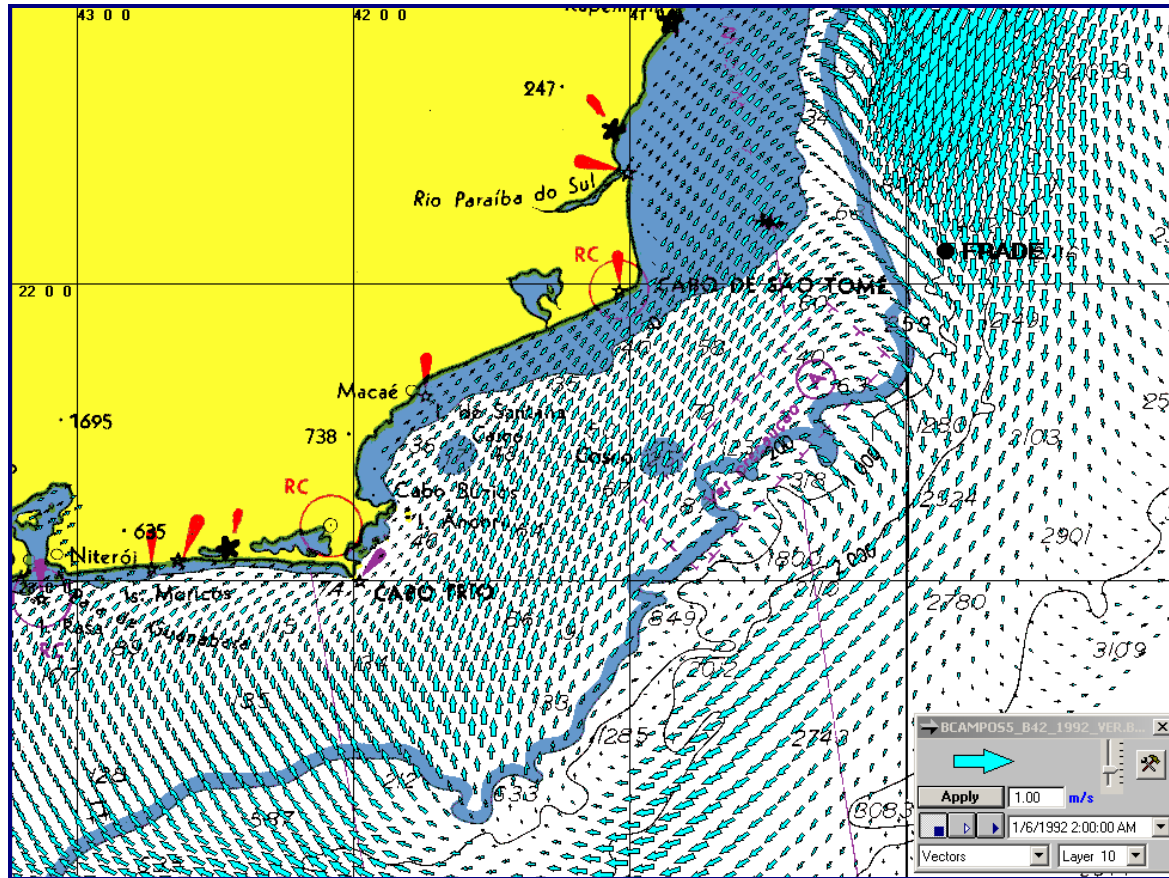


FIGURA II.5.1.2-8: CAMPO DE VELOCIDADES DE CORRENTE NA ÁREA DA BACIA DE CAMPOS. INVERSÃO DA CORRENTE COSTEIRA, EM DECORRÊNCIA DA ENTRADA DE UM SISTEMA FRONTAL.

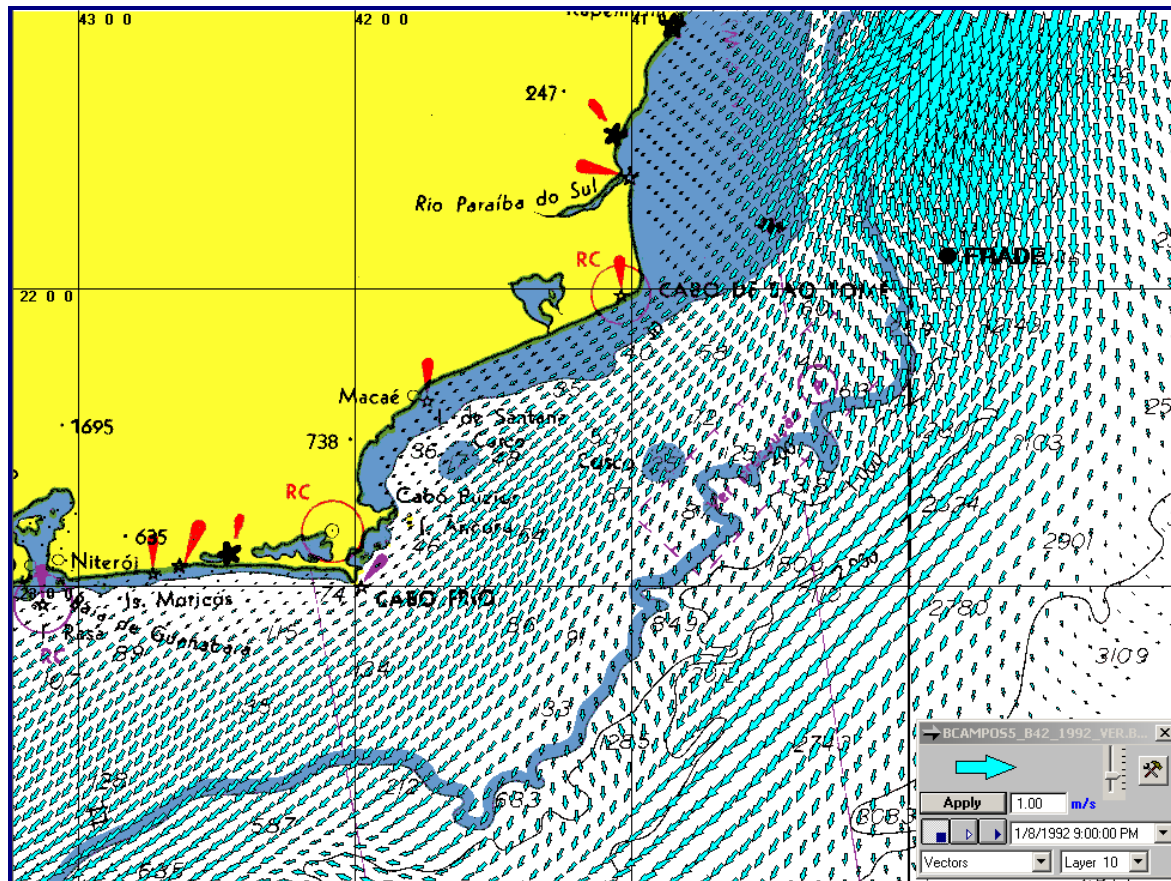


FIGURA II.5.1.2-9: CAMPO DE VELOCIDADES DE CORRENTES NA ÁREA DA BACIA DE CAMPOS, SEM A PRESENÇA DE SISTEMAS FRONTAIS.

c) Regime de Ondas:

As condições atmosféricas no Atlântico Sul, especialmente nas latitudes menores que 40º não são tão severas quanto no mar do Norte ou mesmo no Pacífico, onde ocorrem grandes tempestades e furacões. As maiores ondas que atingem a costa Sul-sudeste brasileira são do tipo marulho. As principais zonas de geração estão abaixo do paralelo 40º S e lá não são raras as tempestades com ventos de 60 nós (30 m/s) e ondas de 9 m, com períodos próximos a 20 segundos, como a descrita por FREIRE (1960). As principais ondas presentes no Atlântico Sul são geradas nas médias e altas latitudes, por tempestades originadas nos centros de baixa pressão que vêm da Antártica, associados às frentes frias (CANDELLA, 1997).

As ondas geradas pelas frentes frias têm direção que varia entre SW e SE, atingindo toda a costa Sul do país, até Arraial do Cabo, RJ. Embora as tempestades mais intensas estejam geralmente relacionadas com ondas das direções SSW e S, algumas delas, vindas de SE, chegam à costa, com periodicidade aproximada de 10 anos.

ALVES (1991) mostrou que não há possibilidade das grandes ondas geradas no Pacífico atingirem o lado Oeste do Atlântico, como ocorre na costa Oeste do continente. MELO FILHO *et al.* (1991) afirmam que embora a costa brasileira e, em consequência, o lado Oeste do Atlântico, esteja totalmente exposta a ondas de Sudeste, a chegada de ondulações longínquas geradas no oceano Índico é pouco provável, pelas condições adversas de vento e corrente para a propagação.

No entanto, em algumas situações, ressacas de razoável atividade atingem o litoral brasileiro provocando estragos consideráveis, como no caso descrito por INNOCENTINI & PELLEGATTI FRANCO (1992), CANDELLA *et al.* (1993), CAETANO NETO *et al.* (1996) e INNOCENTINI & CAETANO NETO (1996).

As tempestades ocorridas entre os paralelos 35 e 55, tipicamente, são, portanto, as causadoras das maiores ondas no Atlântico Sul, e quando atingem o litoral Sul-sudeste brasileiro tais ondas têm direções entre SW e SE. Porém, é possível que ocorram algumas ondas de amplitudes significativas vindas do quadrante Nordeste (SEIXAS, 1997).

As ondas de NE, em geral, estão associadas à circulação induzida pelo centro de alta pressão semi-permanente do Atlântico e são predominantes, em termos de persistência, no litoral ao Norte de Arraial do Cabo, RJ. O vento na região é quase constante, chegando a atingir 10 m/s à superfície, durante vários dias consecutivos, nas estações de inverno e primavera. O desenvolvimento das ondas nesse caso é limitado pela pista.

Os dados coletados entre os anos de 1964 e 1993 e armazenados no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) indicam que, embora o vento Leste possa ser até mais

freqüente em alguns casos que o Nordeste, a energia cinética deste último é predominante, tendo como ápice o mês de setembro. O total da energia devida ao vento Nordeste é superior, inclusive, à do vento Sudoeste, pelo menos localmente, devido à persistência do vento NE. Conforme ODA (1997), a alteração da direção do vento para a direção Leste está relacionado com o efeito de brisa.

Com base em dados ambientais do SIMO (banco de dados da PETROBRÁS, que possui informações meteorológicas e oceanográficas coletadas no período de 1991 a 1995 dentro do Projeto de Capacitação em Águas Profundas – PROCAP), NUNES *et al.* (2001) classificaram o regime de ondas na Bacia de Campos. Dependendo dos forçantes meteorológicos, podem ser geradas condições de mar bi-modais, tri-modais e tri-direcionais cada um dos modos com freqüência e direção característica independente dos demais.

Conforme descrito em NUNES *et al.* (2001) as ondas na Bacia de Campos podem ser divididas por octantes conforme apresentado na **Figura II.5.1.2-10**, pelo número e direções de modos conforme apresentada nas **Figuras II.5.1.2-11 e II.5.1.2-12**.

Na **Figura II.5.1.2-13** estão ilustradas as alturas significativas, onde foi desprezado o terceiro pico de onda (onda com menor energia).

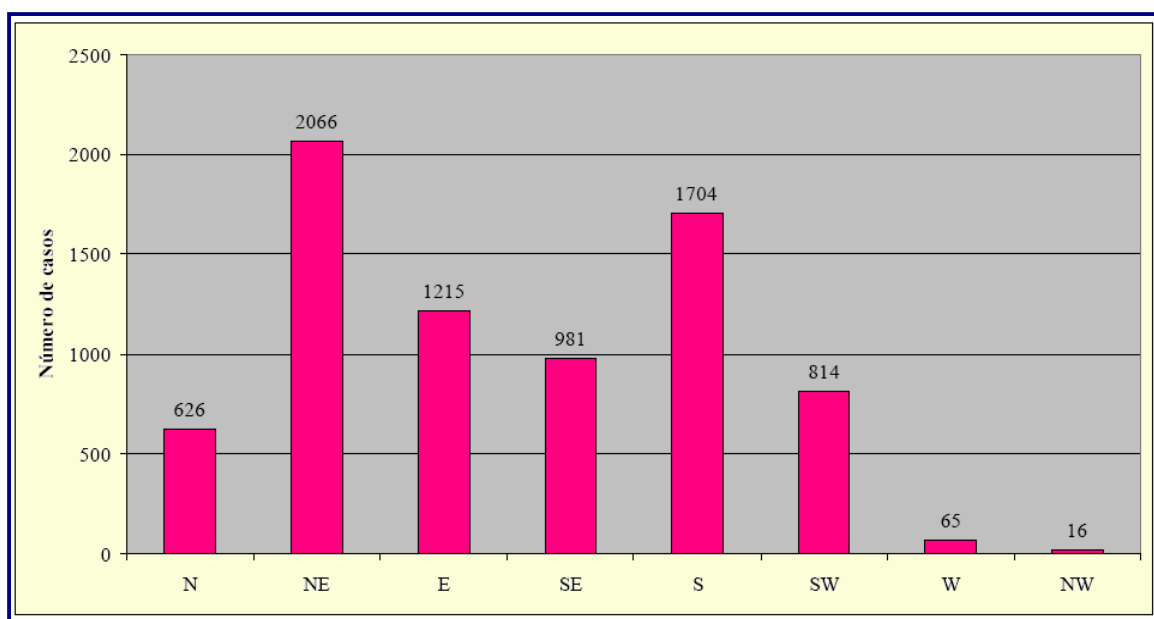


FIGURA II.5.1.2-10: DISTRIBUIÇÃO DAS ONDAS COM MAIOR ENERGIA POR OCTANTES DE DIREÇÃO.

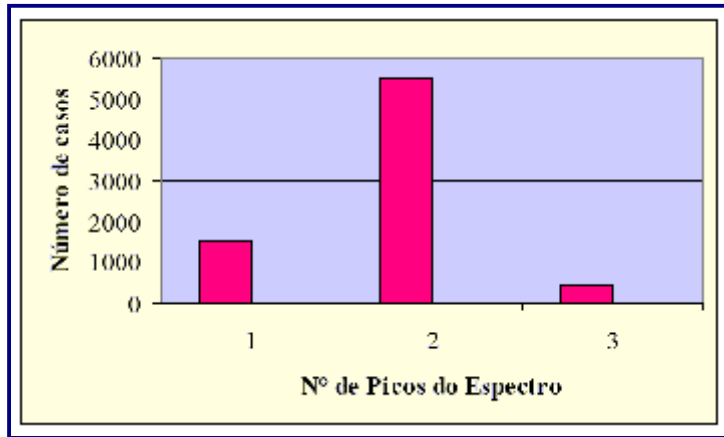


FIGURA II.5.1.2-11: DISTRIBUIÇÃO DOS NÚMEROS DE MODOS.

FIGURA II.5.1.2-12: DISTRIBUIÇÃO DA DIREÇÃO DOS MARES.

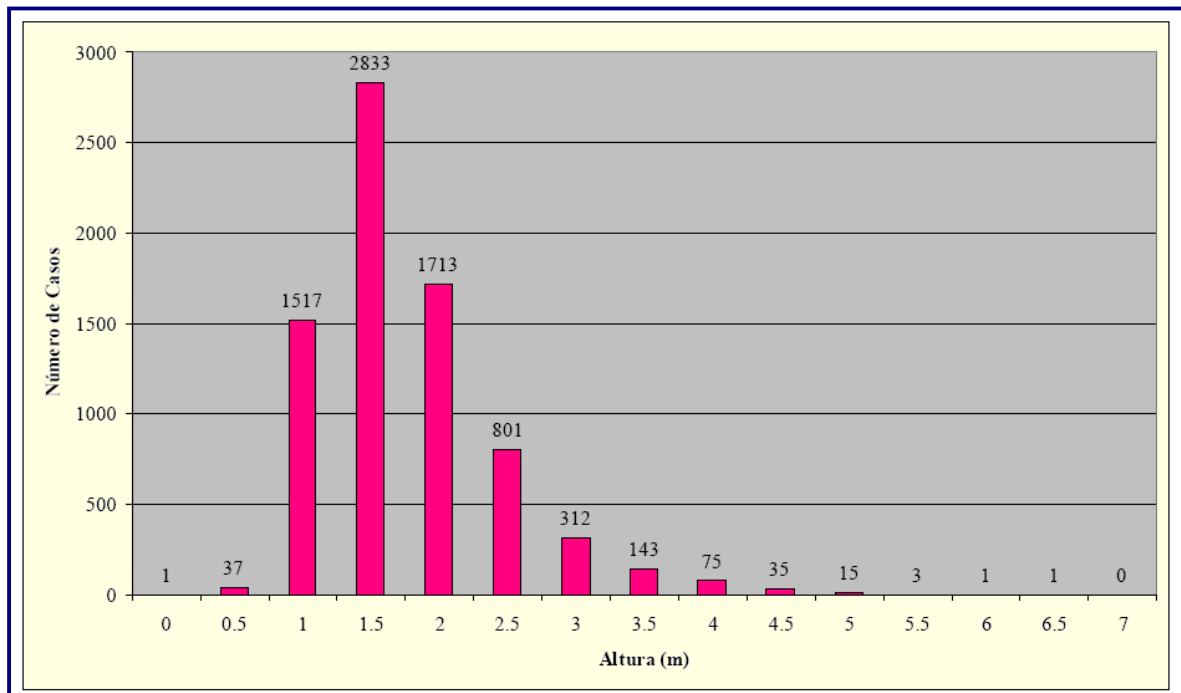
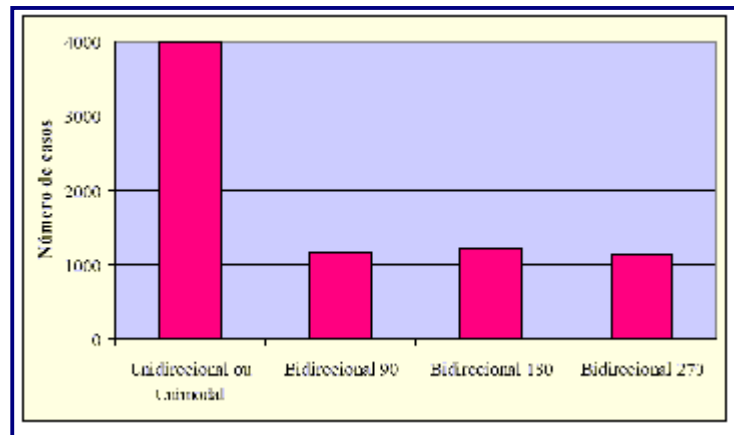


FIGURA II.5.1.2-13: DISPERSÃO DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDAS DE MAIOR ENERGIA.

PINHO (2003), em um estudo mais elaborado, apresentou e quantificou as situações que cobrem todos os estados de mar que ocorrem na região da Bacia de Campos. De acordo com o sistema meteorológico dominante na região, o autor classificou quatro tipos de condições de mar: Situação de Bom Tempo, caracterizado por mares de N, NE e E (principalmente NE) que ocorre quando o sistema de alta pressão da Alta Subtropical do Atlântico Sul domina a circulação; situação de Bom Tempo com marulhos de Sul; situação de Mau Tempo de SW, caracterizado por mares de SW e S gerados sempre que há a passagem de uma frente fria seguida de um ciclone extratropical; e situação de Mau Tempo de SE, quando após a passagem de uma frente fria, um anticiclone polar domina a circulação na região.

Bom Tempo

A situação de Bom Tempo é o cenário de mar e ventos mais comum, caracterizada por ventos do quadrante Norte que podem atingir grandes intensidades e mares não muito severos. Ocorrendo quando há o domínio do ASAS na circulação atmosférica da região.

Dentre os ventos típicos da situação de bom tempo, ou seja, N, NE e E, 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 15º e 45º. Com relação às intensidades dos ventos, 40% está 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 tinham direção aproximada de 20º.

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. As maiores alturas individuais tinham valores entre 5 m e 6 m com períodos correspondentes entre 6 e 9 segundos. 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 2,0 metros..

Estas ondas estão associadas às situações mais severas para condição de bom tempo, caracterizadas por mares e ventos com direções tipicamente de Norte. A época do ano de maior freqüência desta configuração são os meses de verão, especificamente em dezembro e janeiro, embora tenham ocorrido em outras estações do ano.

Bom Tempo com Marulhos

A situação de Bom Tempo com Marulhos tem características de ventos e de mar local iguais à descrita para bom tempo sem marulhos. Serão abordadas principalmente as diferenças com relação à situação anterior devidas ao marulho.

Com relação as freqüência de alturas individuais, houve um pequeno aumento na faixa de 0 a 1 m, sendo que a maior ocorrência está entre 0,5 m e 1 m. Ondas maiores que 5 m 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 freqüentes estão entre 4 e 6 segundos e os maiores períodos observados, que são associados a marulhos, têm de 18 a 20 segundos.

A análise no domínio da freqüência 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 5 e 6 segundos e alturas na faixa de 1,5 m a 2 m. O marulho tem períodos mais freqüentes entre 11 e 12 segundos e alturas significativas também entre 1,5 e 2 m. Os maiores períodos significativos observados estão entre 16s e 18s e as maiores alturas significativas entre 2,5 m e 3,5 m. Esta é uma situação que pode ser crítica em algumas operações, pois onda e vento podem ser severos e em direções opostas.

Mau Tempo de SW

As situações de Mau Tempo de SW são as mais severas de mar. Ocorrem quando ciclones extratropicais passam sobre a região. Os ventos observados com maior freqüência nesta situação tem direção entre 200º e 220º e a faixa de intensidade de maior ocorrência está entre 5 e 7 m/s e maiores valores superando 20 m/s.

A maior altura individual observada em todo conjunto de dados tinha 11,7 m e sua direção era de 211º. Cerca de 40% das ondas tiveram alturas entre 1 e 2 m. As ondas individuais mais freqüentes tinham cerca de 6 segundos de período e aproximadamente 1 m de altura. O maior período individual observado foi de 23,9 segundos. Quando analisadas em conjunto, as maiores alturas (maiores que 8 m) estão associadas a períodos entre 10 e 15 segundos, e os maiores períodos (maiores que 20 s) à alturas entre 1,5 e 3,5 m. As ondas significativas têm alturas mais freqüentes entre 1,5 e 2 m, e períodos de pico mais freqüente na faixa de 8 e 12 segundos. Os maiores valores de altura e período significativos são de aproximadamente 6 m e 16 segundos, respectivamente e estão associados à direção de pico espectral de 210º.

Mau Tempo de SE

Mau Tempo de SE é uma situação caracterizada pelo domínio da circulação de ventos dominada por um anticiclone polar que se desloca atrás de uma frente fria. Durante esta situação houve maior ocorrência de ventos com direções entre 120º e 135º e intensidades entre 6 m/s e 8 m/s.

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

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

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. Sendo a velocidade de propagação da onda, 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 Leste, que são as ondas mais freqüentes durante o inverno. A inversão do sentido de propagação da componente de direção Norte-sul de ondas provenientes de Sul 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. 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 22º22'24"S e longitude 40º25'06"W. A batimetria foi obtida em 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 o rumo, 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.5.1.2-14 a II.5.1.2-16** correspondem a ondas com origem na direção Nordeste, que foi a direção com mais ocorrência no ano. Estas ondas apresentaram períodos abaixo de 14 segundos e alturas significativas que chegam a 4 m.

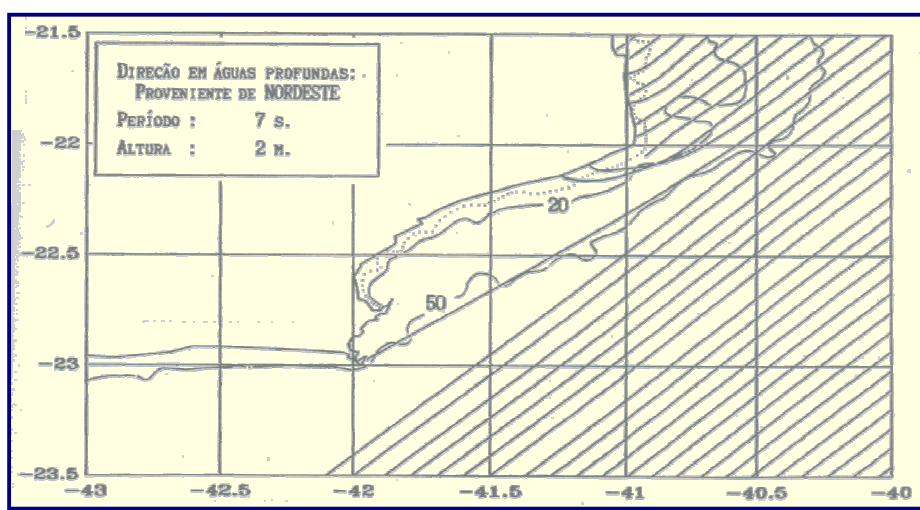


FIGURA II.5.1.2-14: REFRAÇÃO A LESTE DO RIO DE JANEIRO DE ONDAS PROVENIENTES DE NE COM PERÍODO DE 7 SEGUNDOS E ALTURA DE 2 M (GUERRA, 1994).

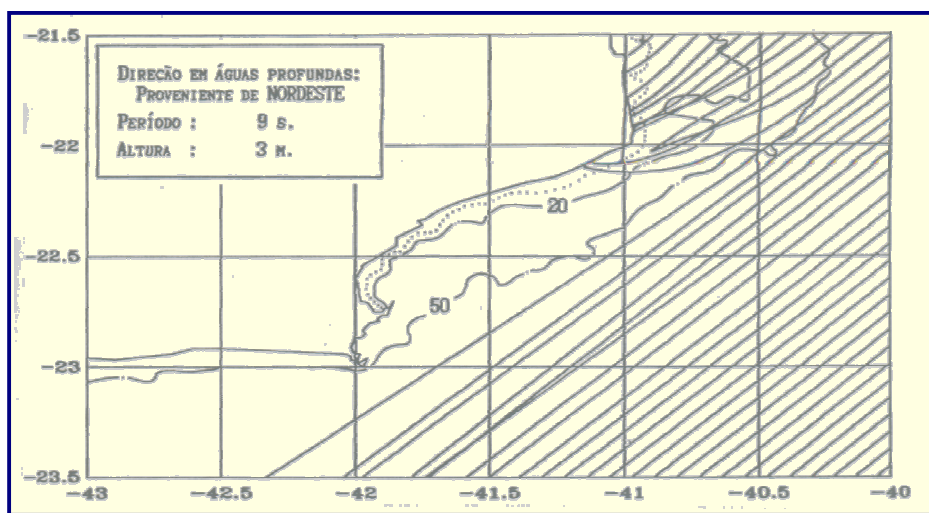


FIGURA II.5.1.2-15: REFRAÇÃO A LESTE DO RIO DE JANEIRO DE ONDAS PROVENIENTES DE NE COM PERÍODO DE 9 SEGUNDOS E ALTURA DE 3 M (GUERRA, 1994).

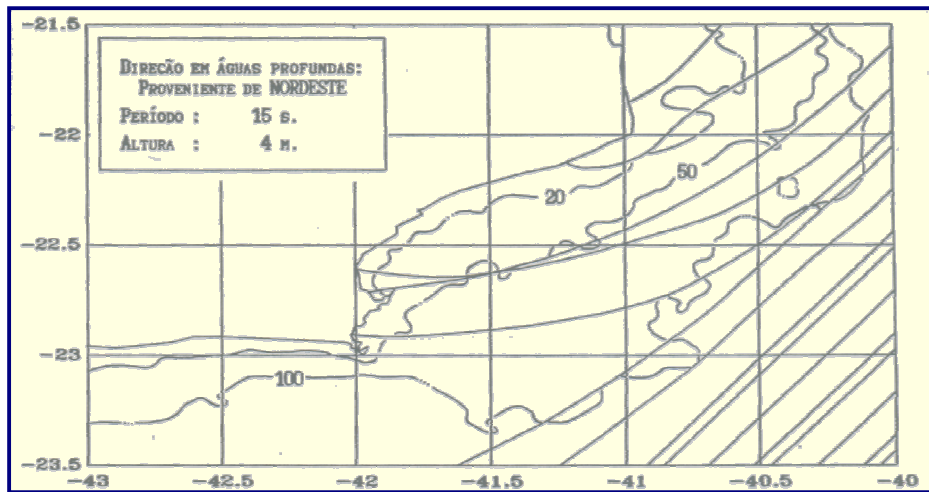


FIGURA II.5.1.2-16: REFRAÇÃO A LESTE DO RIO DE JANEIRO DE ONDAS PROVENIENTES DE NE COM PERÍODO DE 15 SEGUNDOS E ALTURA DE 4 M (GUERRA, 1994).

Nas **Figuras II.5.1.2-15 e II.5.1.2-16** 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 pequena convergência, com o encurvamento das ortogonais sobre os baixios. E é possível constatar ainda 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.5.1.2-17** mostra um comportamento similar ao das ondas anteriores, mas a convergência ao largo do Cabo de São Tomé acentua-se fortemente. No Cabo de Búzios o mar pode ficar agitado, em decorrência de ortogonais que se desviam sobre elevação submarina nas proximidades da plataforma de Garoupa.

Uma comparação entre as **Figuras II.5.1.2-15 a II.5.1.2-16** nos mostra a evolução da refração das ondas de Nordeste 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.5.1.2-17 e II.5.1.2-18** mostram diversos aspectos do comportamento das ortogonais nos planos de refração das ondas provenientes de Sudeste.

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.5.1.2-18**, onde as ondas com períodos grandes convergem nas proximidades de Nordeste e Leste do Cabo Frio. Observa-se também, o

encurvamento das ortogonais no sentido horário, ao se aproximarem do litoral a Oeste de Cabo Frio.

Na **Figura II.5.1.2-17** podem ser observados uma suave convergência a Nordeste do Cabo de São Tomé e o cruzamento de ortogonais a Leste de Atafona, devido à proeminência do banco de areia demarcado pela isóbata de 20 m.

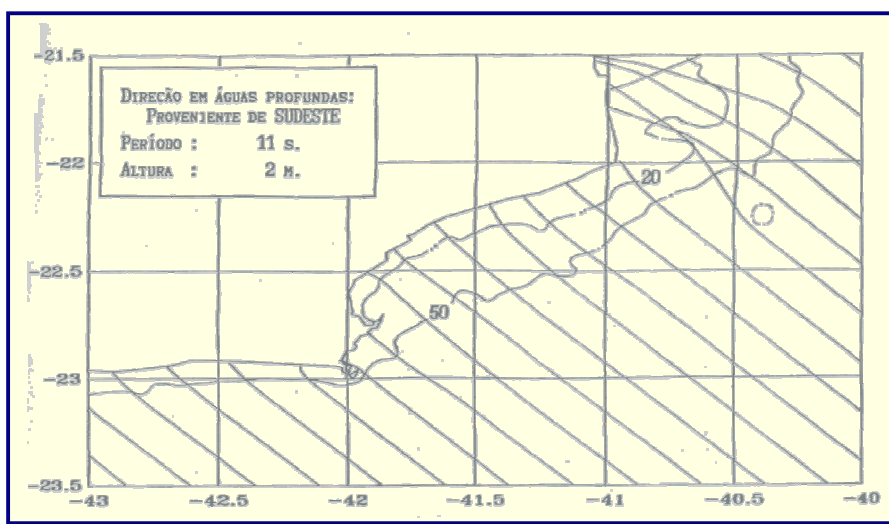


FIGURA II.5.1.2-17: REFRAÇÃO A LESTE DO RIO DE JANEIRO DE ONDAS PROVENIENTES DE SUDESTE COM PERÍODO DE 11 SEGUNDOS E ALTURA DE 2 M. (GUERRA, 1994).

Enquanto que na **Figura II.5.1.2-18** é possível notar a convergência no plano de refração ao passar sobre o fundo proeminente, que esse eleva a 56 m de profundidade, em torno da latitude 23,2°S e 41,6°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 40,8°W, onde a isóbata de 100 m avança em forma de ponta em direção à isóbata de 200 m; a divergência sobre depressão do fundo, provável *canyon* pretérito do Rio Paraíba do Sul, em 22,°S e 40,8°W; a convergência na posição 22,4°S e 41,1°W sobre a forma em cunha das isóbatas de 100 e 80 m; a divergência a Nordeste do Cabo de São Tomé, sobre canal submerso na profundidade de 20 m; a forte convergência ao largo de Atafona, demonstrada no cruzamento de diversas ortogonais; 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.

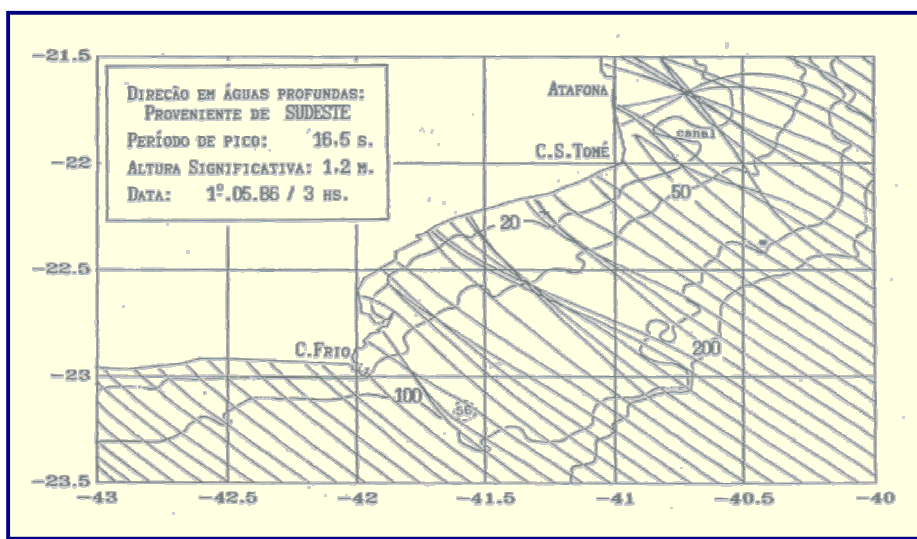


FIGURA II.5.1.2-18: REFRAÇÃO A LESTE DO RIO DE JANEIRO DE ONDAS PROVENIENTES DE SUDESTE COM PERÍODO DE 16,5 SEGUNDOS E ALTURA DE 1,2 M. (GUERRA, 1994).

Nas **Figuras II.5.1.2-19** a **II.5.1.2-21** estão apresentadas as ondas características de Sudoeste e Sul-Sudoeste. A **Figura II.5.1.2-19** é relativa a ondas com origem na direção Sul-sudoeste 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 Leste 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 Nordeste do Cabo de São Tomé.

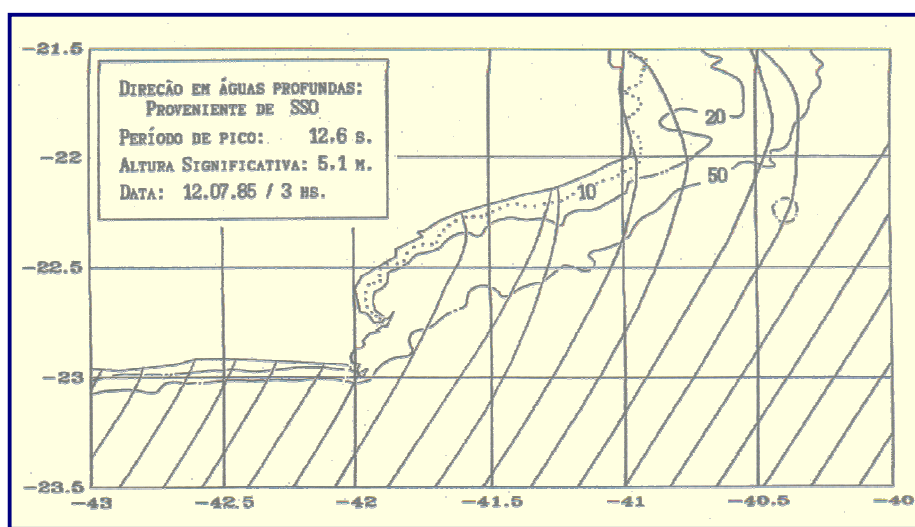


FIGURA II.5.1.2-19: REFRAÇÃO A LESTE DO RIO DE JANEIRO DE ONDAS PROVENIENTES DE SUL-SUDOESTE COM PERÍODO DE 12,6 SEGUNDOS E ALTURA DE 5,1 M. (GUERRA, 1994).

Na **Figura II.5.1.2-20** é mostrado ondas provenientes de Sudoeste com período de 9,5 segundos, mostrando ortogonais retilíneas. O embate direto na costa a Oeste do Cabo Frio é intenso. Todo o litoral a Norte deste cabo encontra-se abrigado quanto às ondas refratadas.

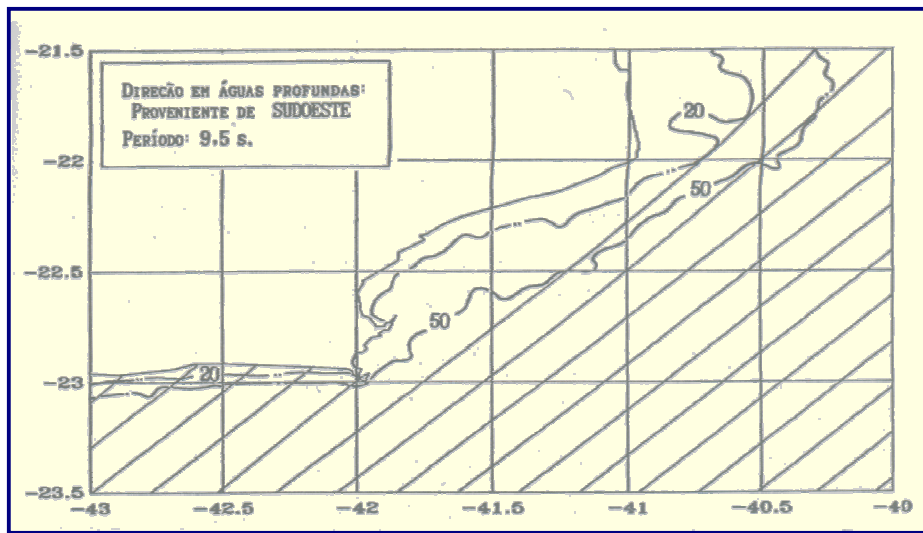


FIGURA II.5.1.2-20: REFRAÇÃO A LESTE DO RIO DE JANEIRO DE ONDAS PROVENIENTES DE SUDOESTE COM PERÍODO DE 9,5 SEGUNDOS. (GUERRA, 1994).

A **Figura II.5.1.2-21** apresenta onda com origem na direção Sudoeste 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 Sudoeste refratados, mesmo com períodos grandes, quando a onda é suficientemente alta deve ocorrer batimento de ondas no litoral devido à difração.

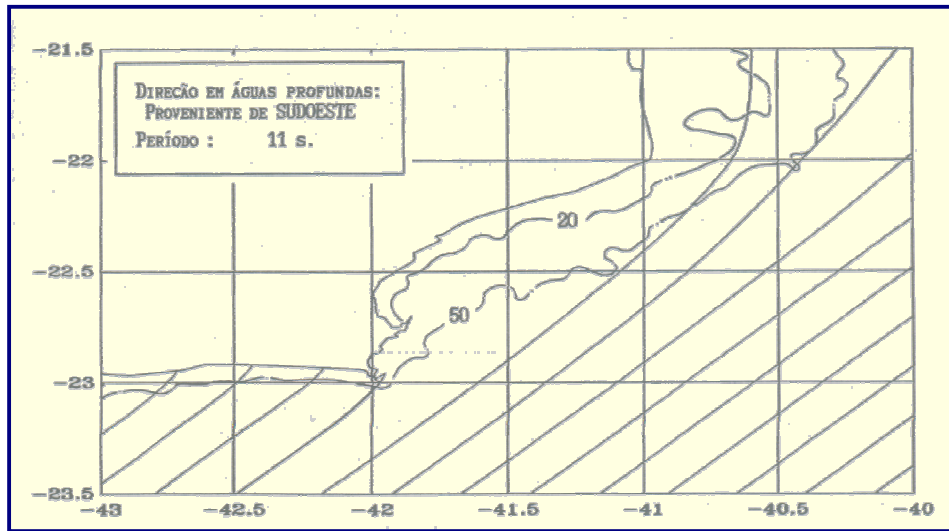


FIGURA II.5.1.2-21: REFRAÇÃO A LESTE DO RIO DE JANEIRO DE ONDAS PROVENIENTES DE SUDOESTE COM PERÍODO DE 11 SEGUNDOS. (GUERRA, 1994).

d) Regime de Marés:

As constantes harmônicas apresentadas a seguir (**Quadro II.5.1.2-2**), foram obtidas a partir dos dados da FEMAR3 para a estação Fundeio 2 Norte – Oceânica (RJ), localizada nas coordenadas 22° 02'S e 39° 52,0'W (**Figura II.5.1.2-22**).

³ Fundação de Estudos do Mar.

QUADRO II.5.1.2-2: Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas de maré para a estação maregráfica FUNDEIO 2 NORTE – OCEÂNICA (RJ) da FEMAR (22° 02'S; 39° 52,0'W).

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

Nome da Estação : FUNDEIO 2 NORTE – OCEÂNICA					
Localização : Bacia Petrolífera de Campos - RJ					
Organ. Responsável : PETROBRÁS / CENPES					
Latitude : 22° 02,0' S		Longitude : 39° 52,0' W			
Período Analisado : —		Nº de Componentes : 29			
Análise Harmônica : Metodo do Almirante Santos Franco					
Classificação : Maré de Desigualdades Diurnas					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		— H — min		Nível Médio (Zo): — cm acima do NR.	
Médias das Preamares de Sizígia (MHWS) :		— cm acima do NR.		Média das Preamares de Quadratura (MHWN) : — cm acima do NR.	
Média das Baixa-mares de Sizígia (MLWS) :		— cm acima do NR.		Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) : — cm acima do NR.	
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) Graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	-	-
Ssa	-	-	N ₂	6,2	104
Mm	-	-	NU ₂	2,4	090
Mf	-	-	M ₂	42,0	098
MTM	-	-	L ₂	-	-
Msf	-	-	T ₂	-	-
Q ₁	2,7	077	S ₂	19,0	111
O ₁	10,9	116	K ₂	4,6	084
M ₁	-	-	MO ₃	-	-
P ₁	2,1	169	M ₃	0,6	106
K ₁	6,5	177	MK ₃	0,4	172
J ₁	-	-	MN ₄	0,8	054
OO ₁	-	-	M ₄	1,6	091
MNS ₂	-	-	SN ₄	-	-
2N ₂	-	-	MS ₄	0,8	126
Referências de Nível: Não foram colocadas					
Obs: Maré oceânica observada de plataforma de petróleo com sensor de pressão, em lâmina d'água de 1.000 m, no período de janeiro/94 a maio/95. Não disponíveis outras informações					

Código BNDO: NC

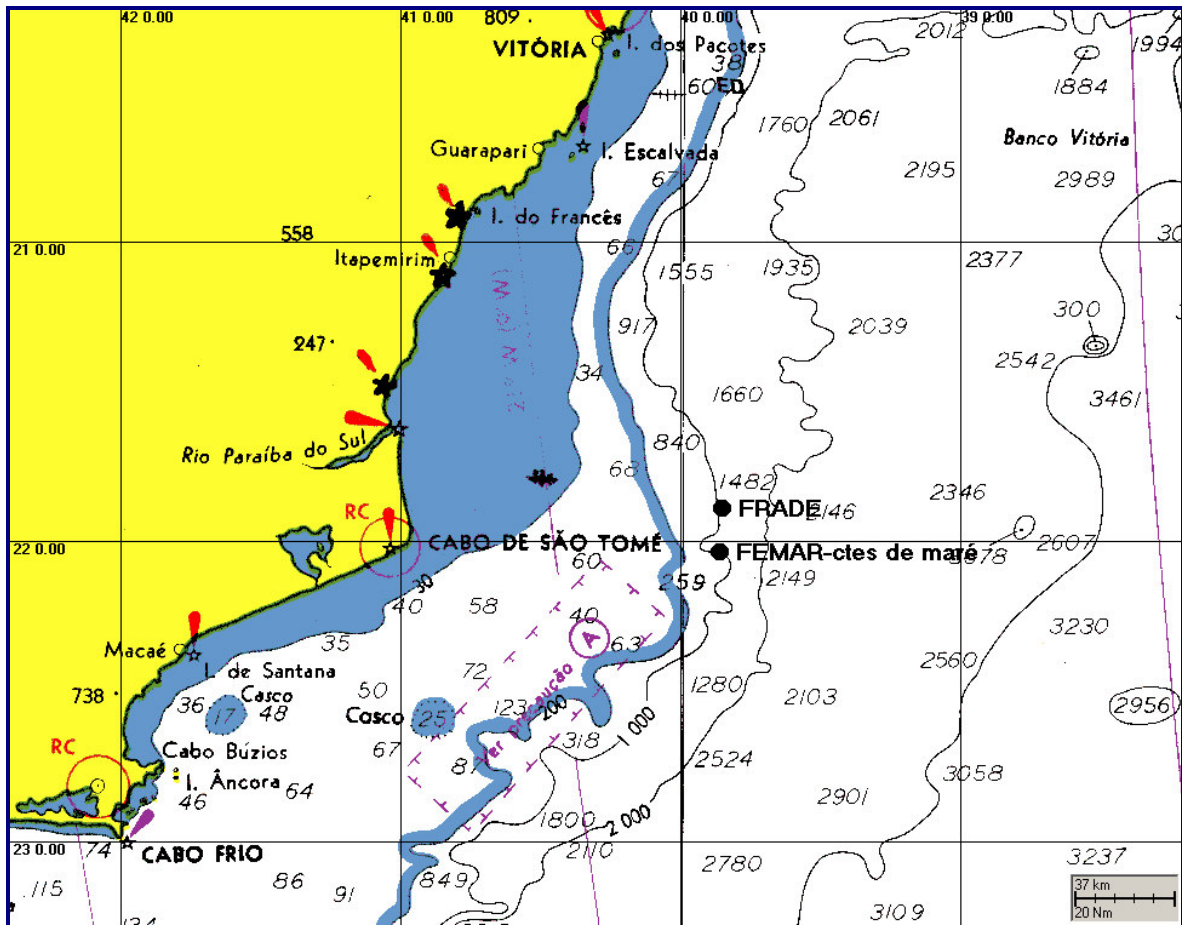


FIGURA II.5.1.2-22: POSIÇÃO DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA - FEMAR

De acordo com os dados do **Quadro II.5.1.2-2**, 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.5.1.2-23** apresenta o mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré de acordo com o modelo CSR3⁴, 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.

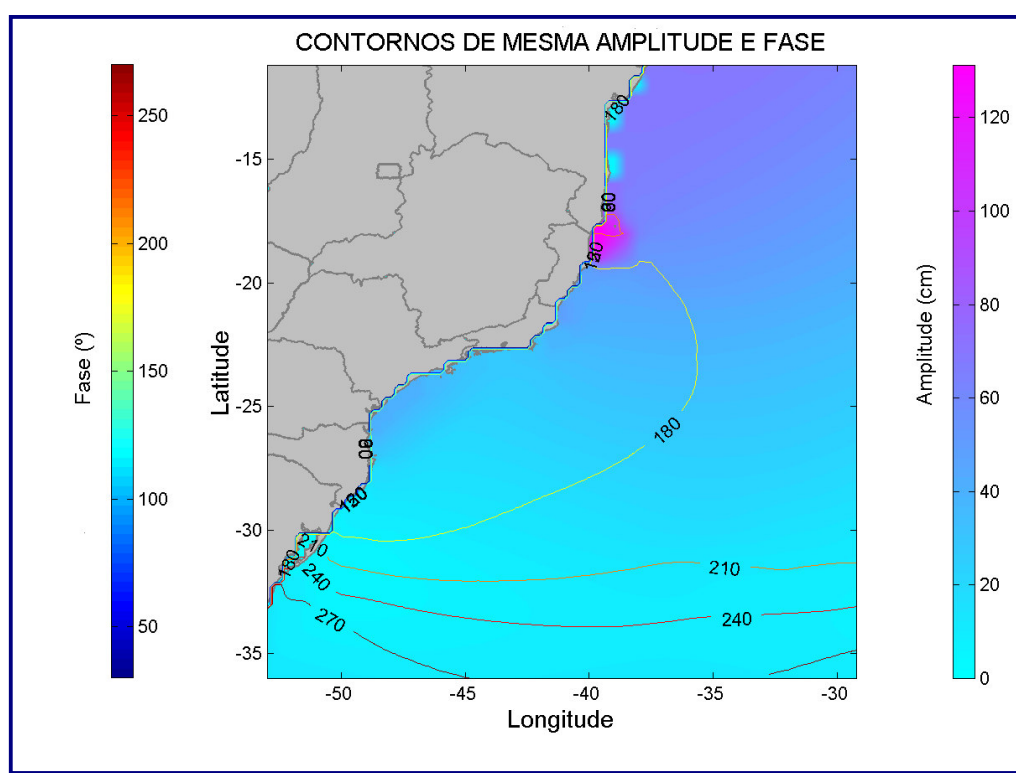


FIGURA II.5.1.2-23: MAPA COTIDAL DE AMPLITUDE (CORES) E FASE (LINHAS) PARA A COMPONENTE M_2 .

II.5.1.2.1 Considerações Finais

A análise de dados pretéritos e pesquisa bibliográfica realizadas permitem as seguintes afirmações sobre a dinâmica meteorológica e oceanográfica para região do Campo de Frade localizado na Bacia de Campos (RJ).

O estudo da variabilidade climatológica do campo de temperatura atmosférica indica a existência de um ciclo anual bem definido com a temperatura máxima

⁴ Modelo global de maré do *Center for Space Research* da Universidade do Texas.

mensal ocorrendo em fevereiro (final do verão) e a mínima ocorrendo em julho (meio do inverno). A diferença entre a temperatura máxima ($\pm 27\text{ }^{\circ}\text{C}$) e a mínima ($\pm 21\text{ }^{\circ}\text{C}$) é pequena ($6\text{ }^{\circ}\text{C}$), sendo o valor da temperatura mínima bastante elevado. O valor da média mensal máxima de pressão é em torno de 1020 hPa e ocorre em julho e o valor da mínima é em torno de 1011 hPa e ocorre em janeiro.

A precipitação e a evaporação apresentam um ciclo anual muito tênue e uma ausência de grandes intensidades mensais. A umidade relativa do ar possui altas intensidades ao longo de todo o ano, com os seus máximos em torno de 80% e mínimas em torno de 77%.

A circulação atmosférica de baixos níveis na região sudeste é dominada pela ação da ASAS, pela passagem de sistemas frontais, por circulações locais e efeitos orográficos. A variabilidade sazonal do padrão de ventos está associada ao deslocamento da ASAS, sendo caracterizada pelo predomínio de ventos de Nordeste no verão e ventos de Leste-nordeste no inverno..

As análises de registros de vento para a região indicam que: no verão os ventos mais freqüentes e mais intensos são provenientes de NE e NNE, respectivamente. No inverno os ventos mais freqüentes são provenientes de NE e os mais intensos registrados são de NNE e ENE. A análise de eventos extremos ocorrendo no campo de vento para uma posição específica na Bacia de Campos e durante um período de 26 anos indicou que o número de passagem de sistemas frontais no verão é de 4,6 frentes e no inverno de 6,9. A duração média das frentes é de 46,1 horas e no inverno é de 92,6 horas.

A análise dos campos de salinidade e temperatura da água do mar na região indica a presença de três massas d'águas típicas. A Água Tropical, com índices termohalinos mais elevados, a temperatura acima de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a salinidade acima de 36 ups. A Água Central do Atlântico Sul, com índices termohalinos de aproximadamente $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 36,20 ups. E a Água Intermediária Antártica com limites termohalinos entre 3° a $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ para temperatura e entre 34,2 a 34,6 ups para salinidade. No inverno observa-se uma diminuição na atuação da Água Tropical na região.

A circulação oceânica na região da Bacia de Campos é determinada por forçantes variadas, que se sobrepõem de modo diferenciado, dependendo de fatores morfológicos e dinâmicos da área. Sobre a plataforma há amplificação natural do sinal de maré e intensificação dos padrões meteorológicos locais, i.e., brisa marinha e efeitos orográficos no vento. Sobreposto a estes sinais existe a presença energética da passagem de frentes. Em região de oceano profundo, a composição da passagem de frentes e do fluxo determinado pela Corrente do Brasil é preponderante. O transporte de volume da Corrente do Brasil na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S é de $5,5 \pm 2,6\text{ Sv}$. Algumas regiões sobre o talude continental podem apresentar velocidades de correntes superiores a 1,0 m/s.



Com relação à análise de ondas para a região, tem-se que para a situação de Bom Tempo, com os ventos mais comum de NE, as ondas mais freqüentes têm altura entre 0,5 a 1 m e períodos na faixa de 4 a 5 segundos. As maiores alturas individuais de ondas têm valores entre 5 m e 6 m com períodos entre 6 e 9 segundos, respectivamente. E nas situações mais extremas, caracterizadas como Mau Tempo, com ventos de SW, a maior altura individual observada é de 11,7 m e sua direção é de 211°. Cerca de 40% das ondas observadas têm alturas entre 1 e 2 m.

Quanto à maré astronômica, as principais componentes de maré para a região do Campo de Frade são M2 e S2, com amplitudes de 42,0 cm e 19,0 cm, respectivamente. A componente O1 tem amplitude de 10,9 cm e todas as demais componentes apresentam amplitudes inferiores a 10 cm.