



II.5.1.3 OCEANOGRAFIA

II.5.1.3.1 OCEANOGRAFIA FÍSICA

A. Regime de Correntes

A circulação na área de interesse é determinada pela interação entre o regime de ventos, as oscilações de maré e as variações termohalinas. Essas três forçantes atuam em escalas temporais distintas. Desse modo, seus efeitos isolados e/ou conjuntos produzem variações semi-diurnas, diárias, semanais, mensais e sazonais.

Este fato, somado a algumas peculiaridades fisiográficas da região, como a brusca mudança na orientação da linha de costa, faz com que o regime de correntes tenha um comportamento bastante complexo.

Em termos gerais, a circulação na Bacia de Campos apresenta as seguintes características:

- Circulação termohalina, que faz as águas de fundo e superfície circularem por efeitos de densidade, estando associada a eventos de maior período, de escala sazonal;
- Corrente do Brasil (CB), originada da circulação forçada por vento em larga escala, controla a dinâmica da plataforma externa e do talude;
- Deriva de Ekman, originadas pela ação dos ventos regionais nas águas superficiais da plataforma, têm uma escala temporal de dias ou até semanas e estão diretamente associadas à passagem de sistemas frontais atmosféricos;
- Correntes de maré, com períodos diurno e semi-diurno dominantes, influenciam principalmente a área costeira.
- Corrente litorânea gerada pela resultante do embate das ondas na praia.

Para uma caracterização mais detalhada da circulação, dividiu-se a região em 2 segmentos: (1) Plataforma Continental, onde se encontra a área de interesse, e (2) Plataforma Externa e Talude.



Plataforma Continental

A circulação devido à maré não é predominante. A análise do espectro de séries temporais de corrente indica o efeito de maré semi-diurno (com 12,41 h) principalmente na componente N-S, com valores entre 2 e 3 cm/s (Harari *et al.*, 1994).

As perturbações no campo de vento devido aos sistemas meteorológicos frontais são as principais forçantes da circulação costeira e estão associadas a variações diárias e semanais. Os ventos predominantes na região são os de NE, associados ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, e os de SW, associados às frentes frias.

Ventos do quadrante Sul forçam correntes superficiais para NE, enquanto ventos do quadrante Norte forçam correntes para SW (FUNDESPA, 1994). Isto pode ser comprovado pelos picos dos espectros das correntes de superfície, que se localizam nos períodos de 9,48 e 5,7 dias, evidenciando a influência das variações do campo de vento, que apresentam períodos dessa ordem, como a principal determinante da circulação superficial costeira (Harari *et al.*, 1994).

A partir de medições realizadas na Bacia de Campos, Souza *et al.* (1999) constataram que as correntes de superfície obedeceram, com algum desvio, ao regime de ventos, apresentando velocidades entre 2 e 24 cm/s.

Harari *et al.* (1994) analisaram séries temporais de correntes na plataforma continental da Bacia de Campos, entre fevereiro de 1992 e março de 1993, em 4 estações e em três profundidades (superfície, meio e fundo), de acordo com a Tabela 5.1.3-1 e a Figura II.5.1.3-1, ao final desta Seção.

Tabela 5.1.3-1: Localização das estações e profundidades das medições

| Estações | Localização | | Profundidade | | |
|----------|-------------|-------------|--------------|------|-------|
| | Latitude S | Longitude W | Superfície | Meio | Fundo |
| A | 22°13'30" | 40°59'36" | 15 | 25 | 35 |
| B | 22°33'12" | 41°41'42" | 15 | 25 | 35 |
| C | 22°43'00" | 41°16'00" | 15 | 35 | 55 |
| D | 22°57'53" | 41°37'39" | 15 | 35 | 55 |

Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 5.1.3-2, que contém estatísticas das séries de correntes. As intensidades estão em cm/s e a direção em graus (origem a Norte e sentido horário positivo).

Tabela 5.1.3-2: Estatística básica das séries de corrente (Harari *et al.*, 1994)

| | Média da comp. EW (cm/s) | Desvio Padrão | Média da comp. NS (cm/s) | Desvio padrão | Intensidade média (cm/s) | Direção média (graus) |
|----------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------|
| VERÃO | | | | | | |
| Superfície | | | | | | |
| A | -18,63 | 13,38 | -9,83 | 7,83 | 21,06 | 242,18 |
| B | 0,62 | 4,65 | 3,39 | 5,08 | 3,44 | 10,38 |
| C | -7,03 | 5,94 | -14,94 | 12,46 | 16,51 | 205,19 |
| D | -1,15 | 3,72 | -1,10 | 6,43 | 1,59 | 226,34 |
| Meio | | | | | | |
| A | -11,96 | 10,03 | -1,78 | 4,34 | 12,09 | 261,53 |
| B | -0,01 | 5,36 | 1,33 | 5,47 | 1,33 | 359,47 |
| C | -8,42 | 6,45 | -8,26 | 7,71 | 11,80 | 225,56 |
| D | -1,09 | 4,17 | -0,18 | 5,38 | 1,11 | 260,69 |
| Fundo | | | | | | |
| A | -9,45 | 7,98 | -2,54 | 4,16 | 9,78 | 254,97 |
| C | -6,27 | 6,22 | -6,01 | 5,77 | 8,69 | 226,23 |
| INVERNO | | | | | | |
| Superfície | | | | | | |
| A | -2,16 | 26,55 | -2,65 | 14,33 | 3,42 | 219,15 |
| C | -1,99 | 8,60 | 3,54 | 14,90 | 4,06 | 330,62 |
| Meio | | | | | | |
| A | -1,80 | 20,16 | 0,03 | 13,03 | 1,80 | 271,00 |
| C | -1,60 | 10,62 | 2,27 | 15,09 | 2,78 | 324,90 |
| Fundo | | | | | | |
| C | -2,81 | 12,23 | -0,80 | 9,86 | 2,92 | 254,07 |
| D | 2,03 | 13,08 | -6,66 | 11,07 | 6,96 | 163,05 |

As estações A e C (Figura II.5.1.3-1, ao final desta Seção), de maior interesse para o presente estudo, apresentam comportamentos semelhantes. No verão, há uma nítida predominância de correntes para W-SW, em toda a coluna d'água, indicando a influência dos ventos predominantes (NE) e da Corrente do Brasil. No inverno, destacam-se os altos valores de desvio padrão, sugerindo a alternância de correntes entre W-SW e E-NE, devido ao aumento da frequência de ventos de SW. Esta alternância explicaria os baixos valores de intensidade média obtidos para o inverno.



Devido a estas possíveis interpretações errôneas dos valores médios e, ainda, com objetivo de fornecer informações sobre intensidades extremas na região foi feita uma consulta aos histogramas elaborados pelos autores a fim de obter as velocidades máximas para as estações A e C, no verão e no inverno, considerando as duas principais direções encontradas (NE e SW).

Os valores (em cm/s) podem ser vistos na Tabela 5.1.3-3.

Tabela 5.1.3-3: Velocidades máximas (cm/s) em A e C.

| Estações | | A | | | C | | |
|----------|---------|------|------|-------|------|------|-------|
| | Direção | sup. | meio | fundo | sup. | meio | fundo |
| Verão | NE | 22 | 18 | 16 | 28 | 23 | 13 |
| | SW | 43 | 20 | 18 | 65 | 40 | 30 |
| Inverno | NE | 37 | 37 | 16 | 60 | 70 | 40 |
| | SW | 66 | 35 | 16 | 70 | 55 | 27 |

De uma forma geral, as correntes mais intensas são para SW, tanto no verão quanto no inverno, podendo chegar a 70 cm/s. As correntes para NE são mais intensas no inverno, como previsto, ficando em torno de 40 e 60 cm/s, na superfície das estações A e C, respectivamente. O regime de correntes na área de estudo pode ser observado na Figura II.5.1.3-2, ao final desta Seção.

Para a área costeira, a PETROBRAS (2000) realizou campanhas de correntometria para o verão (entre os dias 23 e 28 de março) e o inverno (entre 9 e 14 de julho de 1998), na região da plataforma interna entre as isóbatas de 5 e 20 metros localizada entre 3 e 5 km da costa no município de Carapebus, RJ (Figura II.5.1.3-1 – Estação E).

No verão, as velocidades variaram entre 0,02 e 0,12 m/s na superfície, e entre 0,01 e 0,13 m/s no fundo, enquanto no Inverno foram obtidas velocidades entre 0,03 e 0,24 m/s na superfície, e 0,02 e 0,20 m/s no fundo. As direções foram coerentes com o vento. Neste sentido, verificou-se que a partir do estabelecimento de um sistema frontal com intensidade média de 11 m/s e direção preponderante de Sudoeste, sua influência sobre a circulação superficial local é percebida em cerca de 48 horas através de fluxos resultantes superiores a 0,10 m/s na mesma direção (para Nordeste), e aproximadamente em 60 horas sobre a circulação de fundo.

Além das correntes geradas pelo cisalhamento do vento, há também na Plataforma, em subsuperfície, a contribuição de uma componente sazonal,



com movimentos mais significativos para E-NE, principalmente no inverno, sugerindo a provável existência de uma corrente subsuperficial (FUNDESPA, 1994).

Estas variações sazonais também estão relacionadas ao regime de ventos da região e apresentam o seguinte padrão: na parte externa da Plataforma, correntes fluindo para SW, sob influência da Corrente do Brasil (CB); e, na parte interna, correntes superficiais fluindo para SW e subsuperficiais (abaixo da picnoclina) para NE, durante o verão; e para NE, ao longo de toda a coluna d'água, durante o inverno.

Durante o verão, os ventos freqüentes provenientes do primeiro quadrante (N-E) causam um transporte de águas da costa para mar aberto na camada superficial. Esta condição tem como conseqüências a penetração, pelo fundo, da ACAS (Água Central do Atlântico Sul), em direção à costa, e um abaixamento do nível do mar na costa.

A ACAS é observada na camada de fundo da plataforma durante o verão, contribuindo para a formação da termoclina sazonal e estratificação em duas camadas, separadas pela picnoclina (FUNDESPA, 1994).

O abaixamento do nível do mar na costa causa uma força de gradiente de pressão apontando para a costa, que, ao entrar em equilíbrio geostrófico com a força de Coriolis, tem como resultado correntes na mesma direção do vento, isto é para SW. Essa corrente estaria presente na camada acima da picnoclina (Castro Filho, 1990).

O fluxo para nordeste sob a picnoclina pode estar associado à penetração da ACAS (mais densa), que causa uma elevação da picnoclina em direção à costa. Isto pode ter como resultado uma força de gradiente de pressão normal à costa, abaixo da picnoclina, apontando para mar aberto, originando uma corrente geostrófica, nessa camada, para nordeste.

Durante o inverno, sopram com maior freqüência ventos do terceiro quadrante (S-W), causando transporte do mar aberto para a costa, na camada superficial. A convergência superficial costeira, assim causada, tem como conseqüências o afastamento para o largo da ACAS, suprimindo a estratificação vertical na plataforma, e a elevação do nível do mar na costa. Assim, é gerada uma força gradiente de pressão apontando para mar aberto, que produz, ao longo de toda a coluna d'água, correntes geostróficas para nordeste (Castro Filho, *op. cit.*).



No inverno, observou-se também a influência de uma corrente costeira oriunda de altas latitudes, como uma componente atuando no sentido nordeste. Esta corrente é um fluxo de águas frias, junto à costa, vindas de sul para norte. Embora o alcance norte dessa corrente, durante o inverno, seja a região de Cabo Frio, a análise de imagens de infra-vermelho sugere que, para anos de El Niño, a penetração é maior (Silva Jr. *et al*, 1996).

Existe também a contribuição da variação sazonal da intensidade da radiação solar, causando aquecimento das águas superficiais durante o verão, e resfriamento e conseqüente desaparecimento da termoclina durante o inverno (Castro Filho, *op. cit.*).

O transporte de massa (transporte de Ekman) promovido por vento, além de afetar diretamente a circulação, é responsável pelo aparecimento de uma importante feição oceanográfica nessa região: a ressurgência costeira, que ocorre em Cabo Frio, Cabo de São Tomé e Vitória.

O fenômeno de ressurgência costeira nesta região é impulsionado por ventos de NE-E, que produzem um transporte de massa em direção ao oceano aberto na camada superficial, com ascensão vertical de águas frias (ACAS – Água Central do Atlântico Sul) do fundo próxima à costa.

Há, posteriormente, um fluxo das águas ressurgidas acompanhando a direção do vento na camada superficial sobre a plataforma (jato costeiro). Forma-se, então, na superfície, uma zona frontal entre as águas superficial costeira e oceânica, e, ao longo da coluna d'água, uma estratificação vertical em duas camadas, com gradientes significativos das propriedades físico-químicas, horizontal e verticalmente. Esses gradientes, muitas vezes, produzem barreiras de densidade capazes de bloquear o fluxo de alguns fluidos no meio marinho, como o óleo.

As ressurgências costeiras são, portanto, mais comuns no verão, quando diminui a frequência de ventos SW-S, predominando ventos de NE constantes. No inverno, há uma tendência à subsidência das águas, devido aos ventos de SW. Segundo Rodrigues (1997), o sistema responde imediatamente a ventos de SW com o aumento da temperatura superficial da água (subsidência) e mais lentamente a ventos de NE, com a diminuição da temperatura superficial da água (ressurgência).

Entretanto, a grande frequência de ressurgências na região não se deve apenas à existência de ventos favoráveis, mas também a algumas



peculiaridades locais, tais como as mudanças bruscas na orientação da linha de costa e a presença de um forte gradiente topográfico próximo à costa.

A ausência de ressurgência, mesmo com condições de vento favoráveis ao fenômeno, pode ser explicada pela invasão da Corrente do Brasil sobre a plataforma continental, bloqueando o desenvolvimento da divergência superficial (FUNDESPA, 1994).

A presença de meandros ciclônicos gera uma vorticidade relativa capaz de produzir velocidades verticais significativas. Logo, a circulação ciclônica dos meandros e vórtices da Corrente do Brasil, a leste/sudeste de Cabo de São Tomé, provocando a ascensão de águas subsuperficiais, pode induzir outro tipo de ressurgência da ACAS: a de quebra de plataforma.

Portanto, conforme a distância em relação à costa aumenta, diminui a influência do vento na circulação e cresce a da CB. Apesar desta corrente controlar principalmente a circulação na região da quebra de plataforma, sua distância da costa varia bastante na região, principalmente devido aos seus típicos vórtices e meandros, e muitas vezes ela penetra sobre a plataforma, modificando o padrão controlado por vento.

Plataforma Externa e Talude

A Corrente do Brasil, originada pela bifurcação da Corrente Sul-Equatorial em 12°S na superfície, aproximadamente, controla a circulação sobre a plataforma externa e talude na região de interesse e é caracterizada por altas temperaturas e salinidade e por um fluxo predominante no sentido Sul-sudoeste. Análise de imagens de satélite feitas por Garfield (1988) mostraram a CB numa posição média próxima à isóbata de 200 m.

O núcleo principal da Corrente do Brasil encontra-se a uma distância aproximada de 150 km da costa (Paviglione & Miranda, 1985). A 50 metros de profundidade, abaixo da água costeira, a CB chega a 19 km da costa (Signorini, 1976).

Os valores de velocidade da CB, na região, foram obtidos por diversos autores, através de cálculos geostróficos ou medidas diretas. A partir de cálculos geostróficos, tem-se: 65 cm/s, em 23°S (Stramma, 1989); 70 cm/s, em 23°30'S (Signorini, 1978); 55 cm/s, em 24°S (Signorini, 1978); e 31 cm/s, também em 24°S (Evans *et al*, 1983). Com medidas diretas, foram



obtidos os seguintes valores: 50 cm/s, em 23°S (Evans & Signorini, 1985); e 40 cm/s, em 24°S (Reid *et al*, 1977 *apud* Cirano, 1995).

No entanto, devido à brusca mudança na direção das isóbatas, a região raramente apresenta um padrão estável de circulação, sendo marcada pela presença semipermanente de acentuados meandros, sobretudo ciclônicos, que freqüentemente dão origem a vórtices, principalmente ao sul/sudeste de Cabo Frio e a leste/sudeste do Cabo de São Tomé.

Estes vórtices podem alcançar diâmetros de mais de 100 km, estendendo-se a profundidades de 400 m (Schmid *et al.*, 1995), podendo ter grande influência na circulação local, modificando a direção das correntes em escala semanal ou mesmo diária. Portanto, apesar do sentido predominante da CB ser sul/sudoeste, esta situação pode ser modificada dependendo da existência e da localização dos meandros e vórtices.

A aproximação da CB em relação à costa, em decorrência desses meandros e vórtices, tem influência na circulação na plataforma interna. A CB pode produzir um efeito de represamento das águas costeiras, seguidos de arrastamento dessas águas pela corrente, através dos vórtices. Conseqüentemente ao arrastamento, tem-se um efeito de sucção, com máximo na área de Cabo Frio e que pode ser responsável pela existência de correntes costeiras durante os meses de inverno, no limite de até 55,5 km fora da costa, com direção E-NE (FUNDESPA, 1994).

A penetração da CB sobre a plataforma continental acontece durante o verão e o inverno, sugerindo a repetição de processos importantes. Isso parece descartar o caráter sazonal desse tipo de comportamento da Corrente do Brasil (Cirano, 1995).

Devido à importância da distância da CB em relação à costa para a circulação na área de interesse, foram analisadas imagens de TSM (temperatura da superfície do mar), correspondentes ao período entre novembro de 1998 e fevereiro de 2001. A seguir, são apresentados os resultados desta análise, enfocando a distância da CB à costa e a freqüência de meandros.

A distância da borda oeste da CB em relação à costa foi obtida em 2 pontos distintos: a leste do Cabo de São Tomé e a leste de Cabo Frio. Para efeito de medição, foram considerados, portanto, os segmentos de reta entre o limite de temperatura mínima da CB e o ponto considerado (Cabo de São Tomé e

extremidade leste de Arraial do Cabo). O limite mínimo de temperatura da CB considerou a média do gradiente termal que marca o contato da CB com a água costeira. A variação mensal das distâncias médias nos dois pontos citados pode ser vista na Figura II.5.1.3-3.

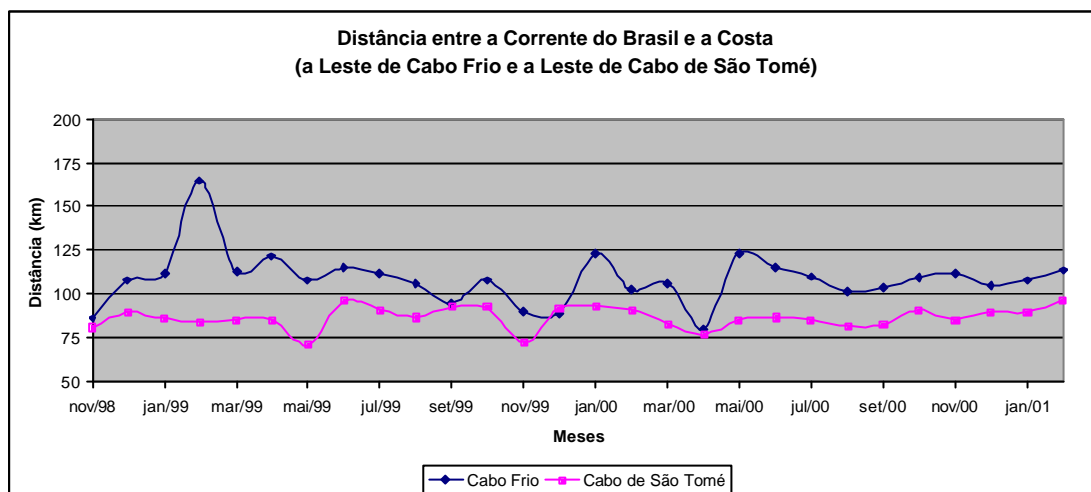


Figura II.5.1.3-3: Comportamento da distância da CB em relação à costa

Em relação à distância da CB a leste de Cabo de São Tomé, observou-se que a média variou essencialmente entre 80 e 95 km, ao longo do período analisado. De acordo com o comportamento médio, as menores distâncias são encontradas no outono, quando é menor a frequência de ventos do quadrante NE e, conseqüentemente, de ressurgências. As maiores médias são referentes ao verão, quando ocorre o inverso.

Alguns meses de inverno também apresentaram distâncias significativas. Nesses meses, principalmente em 1999, há indicativos de que a corrente costeira vinda de sul chegou às proximidades do Cabo de São Tomé, o que poderia afastar a CB da costa.

A leste de Cabo Frio, os valores mais freqüentes estão entre 100 e 125 km. Mas pode-se notar que os valores do verão são ligeiramente superiores, em relação ao restante do ano.

Estes fatos podem ser conseqüência de um transporte das águas superficiais costeiras na direção oceânica, empurrando a CB para longe da costa. Este transporte é promovido por ventos de NE, sendo, portanto, mais comum no verão. Por outro lado, ventos de SW podem aproximar a CB da costa.

A variação mensal do número de meandros a leste/sudeste de Cabo de São Tomé, que são os mais importantes para a área de interesse, também foi analisada e pode ser vista na figura II.5.1.3-4. Foram contabilizadas como meandros as feições que indicavam um movimento giratório das águas, completo (vórtice) ou incompleto.

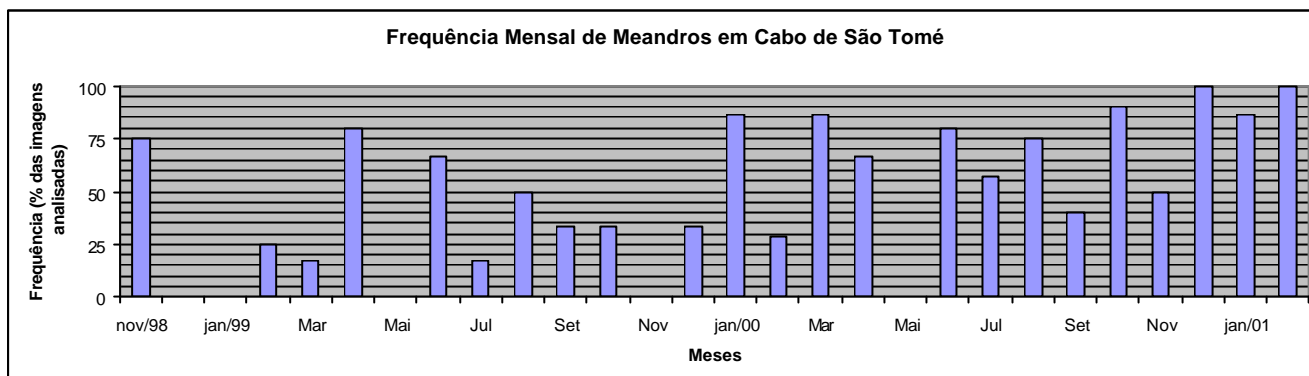


Figura II.5.1.3-4: Variação da frequência de Meandros em Cabo de São Tomé.

No que se refere à escala sazonal, observou-se uma alta frequência de meandros em meses de verão e inverno, o que confere a esta feição um caráter semipermanente, não sendo possível estabelecer um padrão claro de sazonalidade. No entanto, considerando a variação anual, há um aumento na frequência dos meandros a partir de janeiro de 2000, indicando uma possível influência de fenômenos de maior período, como a La Niña.

A origem desses meandros está associada a uma combinação dos seguintes fatores: batimetria, a duração, direção e intensidade dos ventos e as respectivas respostas no oceano, como a alteração da estrutura termohalina e das forçantes baroclínicas. Como o Cabo de São Tomé localiza-se num ponto onde a linha de costa é predominantemente na direção NE-SW, pode-se esperar uma influência maior dos ventos de NE, que são justamente os mais comuns na região. Ou seja, a dinâmica local está muito associada, direta e indiretamente, às oscilações do campo de vento.

Assim, todos esses fatores – vórtices com giros no sentido horário na superfície, circulação devido à maré com sentido anti-horário de giro, meandros, fluxos diferentes na plataforma e talude, ressurgência, estratificação sazonal da coluna d'água – conduzem a uma circulação geral na área de extrema complexidade, onde dificilmente se pode isolar a influência do vento e demais forçantes, nas diferentes escalas de tempo e espaço, ou verificar a ocorrência de equilíbrio geostrófico (Leite, 1983).



B. Propriedades Físico-Químicas

A variabilidade das propriedades físico-químicas nessa região está diretamente ligada ao fenômeno de ressurgência e à penetração da CB na plataforma, sendo determinada pelas variações dos transportes vertical e horizontal em diversas escalas temporais (horário, diário, semanal, mensal, etc.) e pela extensão geográfica desses processos.

A região ocupada pela CB apresenta um máximo de salinidade e temperatura. Segundo Miranda (1985), a salinidade é praticamente constante ao longo do ano: 37 – 37,1; enquanto que o máximo de temperatura decresce de 28,5° C a 24° C.

A partir da análise de imagens de TSM, ao longo de 28 meses, foi feita uma análise da variação mensal da média dos limites máximo e mínimo de temperatura superficial da CB. As menores médias de temperatura, máxima e mínima, correspondem ao mês de agosto, com valores em torno de 24,5 e 22°C, respectivamente. Já as maiores médias são referentes aos meses de fevereiro e março. No entanto, houve um progressivo aumento desses valores ao longo do período analisado, novembro de 1998 a fevereiro de 2001. Tomando como base fevereiro, temos os seguintes valores para as temperaturas máximas e mínimas, respectivamente: 26,4 e 28,0 (1999); 26,8 e 28,7 (2000); 27,4 e 29,5 (2001). Nas áreas ocupadas pela CB, as águas são mais quentes e salinas.

As Figuras II.5.1.3-5 e II.5.1.3-6 apresentam o comportamento de TSM numa situação de verão (14/01/2000) e inverno (07/08/2000), respectivamente.

Nota-se que, em ambas situações as temperaturas costeiras são baixas, mínimo de 19°C, no verão, e 19,5°C, no inverno. No primeiro caso, em decorrência de um processo de ressurgência em Cabo de São Tomé, e, no segundo, devido a uma corrente costeira fria vinda de sul. Pode-se perceber ainda que a CB penetrou na plataforma nas duas situações, consequência de um meandro ciclônico, a sudeste do Cabo de São Tomé. O eixo da CB apresentou temperaturas de 25,5°C e 23,5°C para verão e inverno, respectivamente.

Considerando a região costeira, no inverno a circulação é mais turbulenta devido à influência dos ventos de SW e ao recuo da ACAS, que impedem a estratificação da coluna d'água, determinando uma homogeneização e

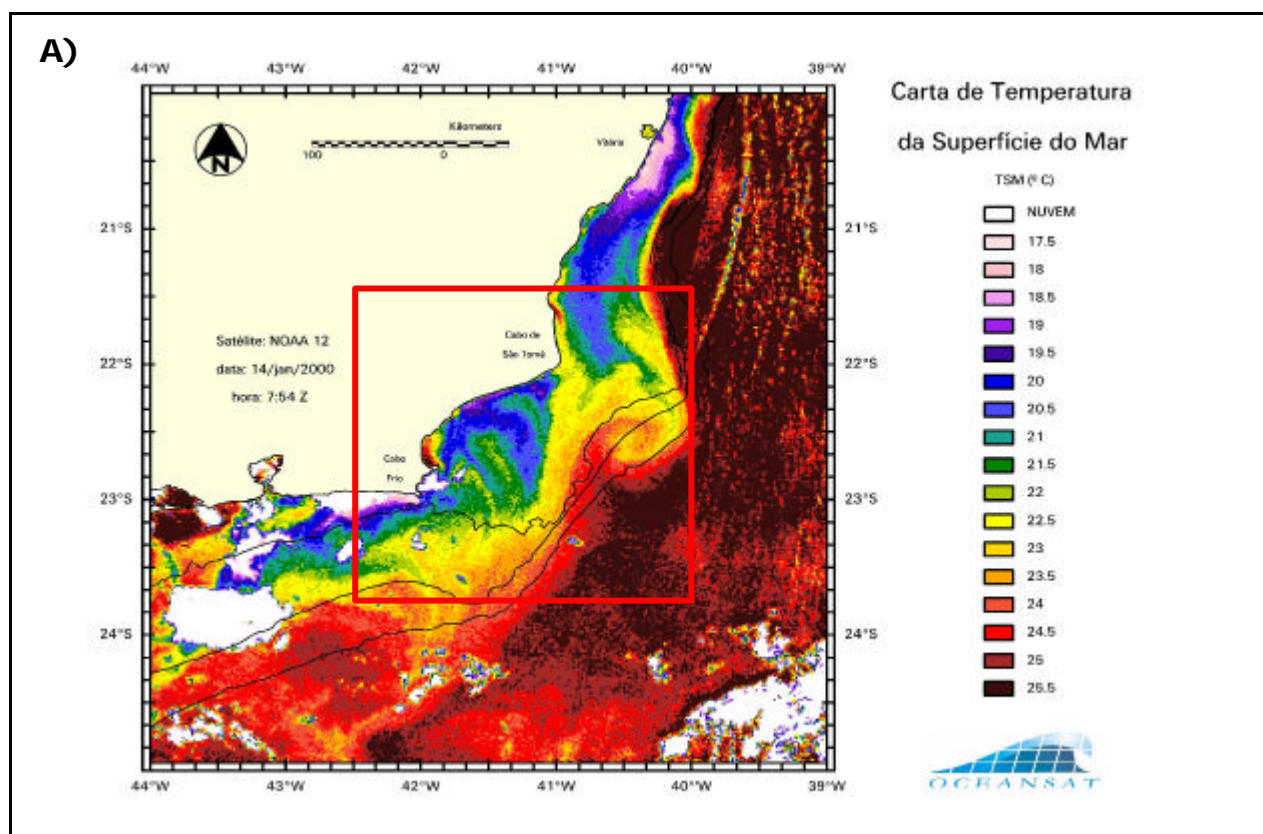


movimentação de mistura de águas de superfície e fundo. No verão, há uma forte termoclina causada pela ascensão da ACAS.

Este padrão foi confirmado pela PETROBRAS (2000), em campanhas de CTD para o verão (23 a 28 de março de 1998) e o inverno (09 a 14 de julho de 1998) na região da plataforma interna de Carapebus, RJ. De uma forma geral, houve maior estratificação da temperatura em situações de ventos de NE. Durante o inverno, quando aumenta a frequência de ventos de SW, houve grande homogeneização térmica de toda a coluna d'água.

No verão, os valores médios de temperatura decresceram suavemente até 5 metros de profundidade e, depois, acentuadamente até o fundo variando de 25,16°C a 23,83°C. Os valores médios da salinidade mostraram aumento progressivo até 3 metros, estabilização até 5 metros, novo aumento progressivo até 11 metros e decréscimo até 13 metros de profundidade. Seu mínimo, de 35,41 é encontrado à superfície e seu máximo, de 35,73, a 11 metros de profundidade. Com relação ao sigma-t, os valores médios, em geral, aumentaram da superfície (23,61 kg/m³) ao fundo (24,20 kg/m³), de forma mais suave até 5 metros de profundidade e mais acentuada até o fundo.

No inverno, os valores médios de temperatura aumentaram de 22,06°C, mínimo obtido na superfície, para 22,09°C (máxima) a 2 metros, permanecendo com esta temperatura até 11 metros de profundidade, a partir daí decrescendo suavemente até o fundo. Os valores médios da salinidade mostraram-se mais caóticos, variando de 35,44 (a 4 metros) a 35,51 (a 11 e 12 metros de profundidade). Com relação ao sigma-t, os valores médios variaram entre 24,53 Kg/m³ (4 metros) a 24,58 Kg/m³ (no fundo).



B)

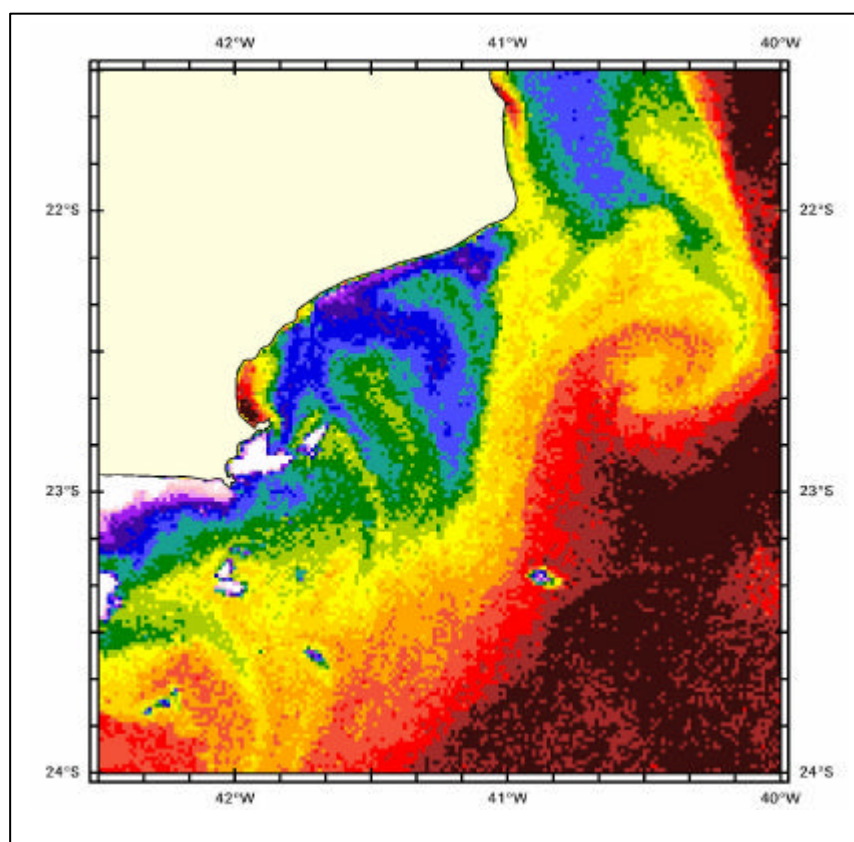
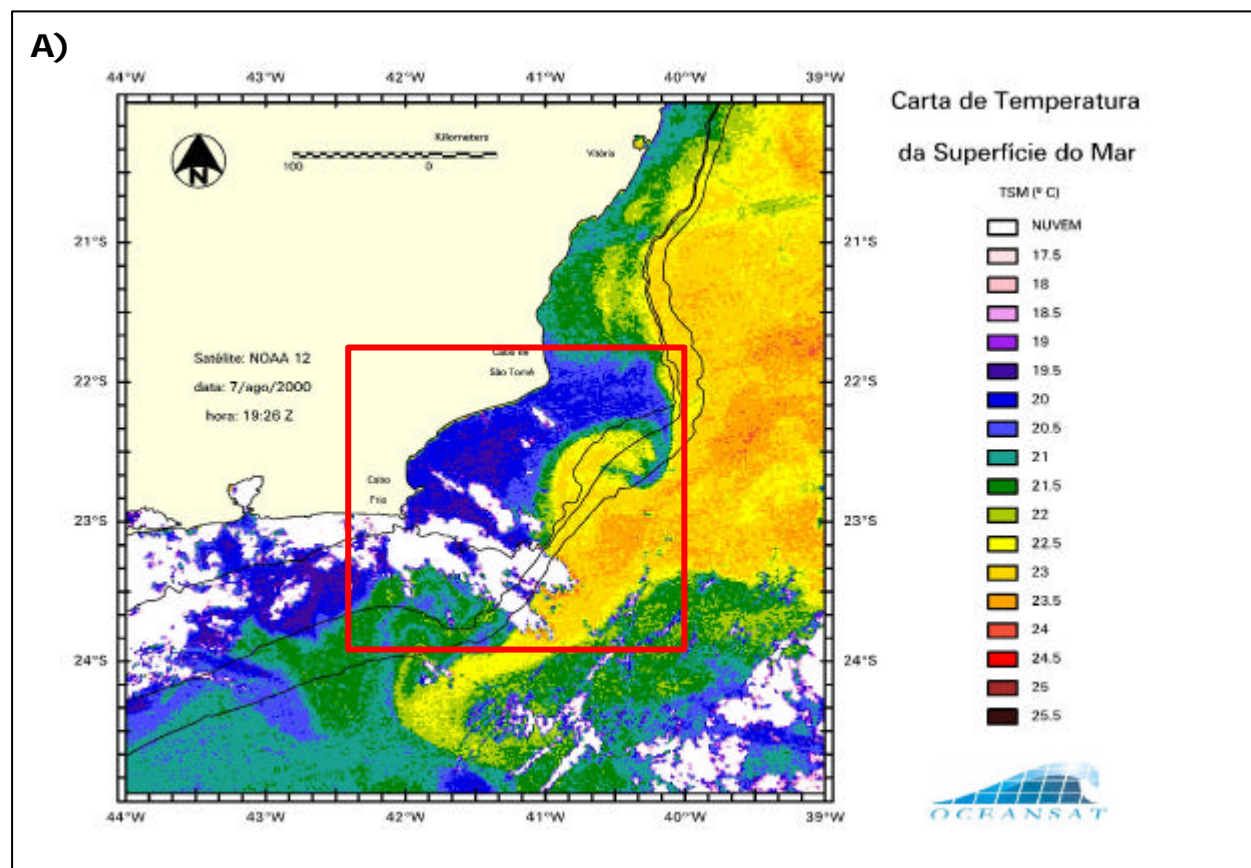


Figura II.5.1.3-5: Carta de TSM para verão, com um zoom (B) na área de interesse (quadrado vermelho em A).



B)

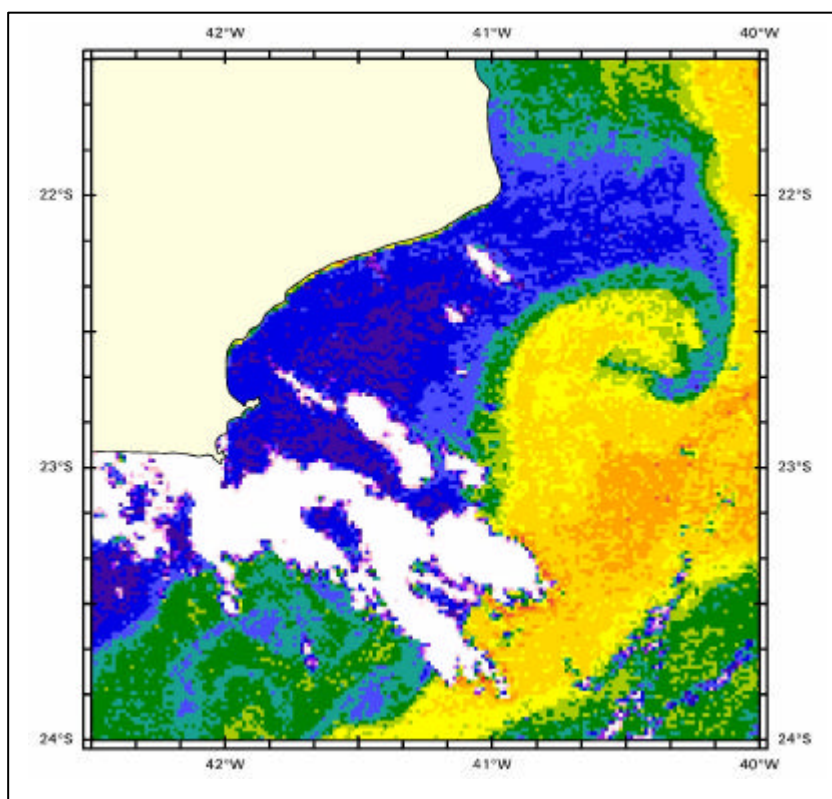


Figura II.5.1.3-6: Carta de TSM para o inverno, com um zoom (B) na área de interesse (quadrado vermelho em A).

Para a região próxima à quebra de plataforma, há resultados de três campanhas de CTD na posição 23°05'S e 40°58'W. A campanha 1 foi realizada de 18 a 20 de outubro, a campanha 2 de 15 a 18 de novembro e a campanha 3 de 26 a 29 de novembro de 2001. Os resultados indicaram a presença da AT e uma mistura da AT com a ACAS no fundo. Os perfis de temperatura e salinidade podem ser vistos na Figura II.5.1.3-7. Nota-se a camada de mistura entre as profundidades de 70 e 80 m. O diagrama T-S foi plotado na Figura II.5.1.3-8.

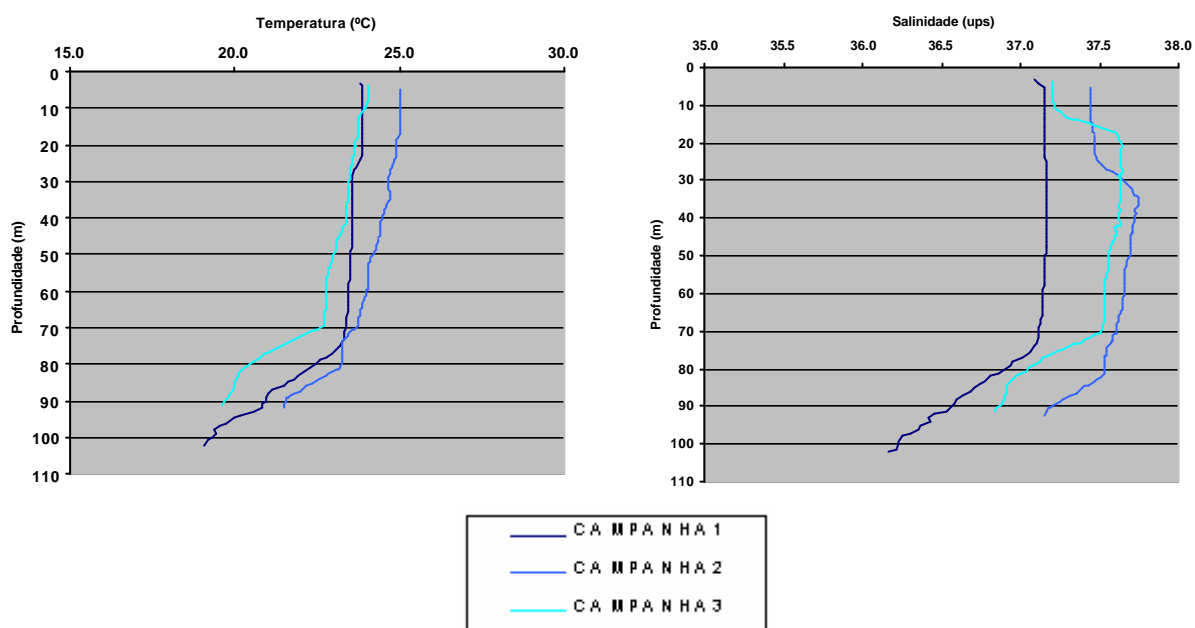


Figura II.5.1.3-7: Perfis de temperatura e salinidade obtidos em 23°05'S e 40°58'W.

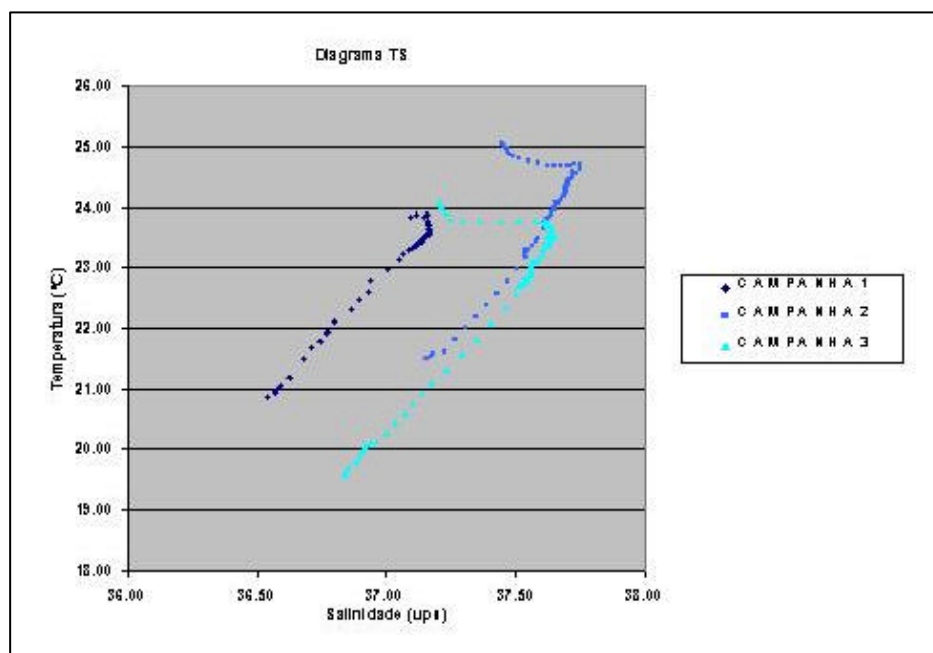


Figura II.5.1.3-8: Diagrama T-S.

Quanto ao oxigênio dissolvido, tem-se a seguinte distribuição aproximada: na AT, 4,5 a 5 ml/l; na ACAS (50 m), 4,5 a 5 ml/l; na ACAS (200 m), 4,5 a 4,8 ml/l; e na Água Costeira (AC), em casos de subsidência, 4 a 5,5 ml/l, na superfície (FUNDESPA, 1994).

C. Massas d'Água

Os padrões termohalinos na região indicam que as águas na Plataforma Continental da Bacia de Campos são formadas pelas seguintes massas de água, com processos intensos de misturas horizontais e verticais (Cacciari *et al.*, 1994):

- **Água Costeira (AC)**, caracterizada por temperatura maior que 20°C e salinidade menor que 36 psu, resultante da mistura da descarga continental de água doce com as águas da plataforma continental;
- **Água Tropical (AT)**, quente e salina (temperatura maior que 20° C e salinidade maior que 36,4 psu), transportada para S-SW na camada superficial (0-200 m) pela Corrente do Brasil, nas proximidades da quebra da plataforma continental;



- **Água Central do Atlântico Sul (ACAS)**, relativamente fria (temperatura menor que 18° C e salinidade menor que 36 psu), transportada também para S-SW ao longo do talude continental na camada inferior da Corrente do Brasil, próximo a quebra da plataforma continental;

Devemos considerar ainda os limites termohalinos das misturas entre estas massas:

- **AC/AT**: $T > 20^{\circ}\text{C}$ e $36 < S < 36,4$
- **AC/ACAS**: $18^{\circ} < T < 20^{\circ}\text{C}$ e $S < 36$
- **AT/ACAS**: $18^{\circ} < T < 20^{\circ}\text{C}$ e $36 < S < 36,4$

Cacciari *et al.* (1994) observaram distribuições de massas d'água na superfície semelhantes para verão e inverno. Ao sul do Cabo de São Tomé, a plataforma é toda ocupada pela AC e AC/AT, enquanto que, ao norte, a AT ocupa toda a coluna d'água. Na proximidade da quebra de plataforma, a AT ocorre em toda a área.

Já no fundo, há diferença entre o verão e o inverno. No verão, a ACAS está presente sobre toda a extensão da plataforma continental, mantendo contato com a sua origem ao norte e ao sul, sugerindo o fluxo da ACAS contra as isóbatas ao sul de Cabo Frio e ao norte do Cabo de São Tomé. Em condições de ressurgência, a ACAS pode aflorar na superfície, gerando processos de mistura, horizontal e vertical, com a AC e AC/AT. No inverno, a ACAS limita-se à região do talude, já que o processo de ressurgência é menos comum.

As misturas entre AT e AC ocorrem principalmente devido ao meandramento da Corrente do Brasil. Assim, a AT, originalmente encontrada na superfície, longe da costa, ao ser transportada sobre a plataforma, encontra-se com a AC, menos densa. Dessa forma, a AT, mais salina e mais densa, flui para profundidades maiores abaixo da AC. Na superfície, a mistura dessas duas águas é usualmente denominada Água de Plataforma.

Embora ocorra também no inverno, a penetração da ACAS sobre a plataforma é mais intensa durante os meses de primavera e verão, sendo observada a formação de uma termoclina marcante. Já durante os meses de outono e inverno, a ACAS recua para a quebra da plataforma e a distribuição



da temperatura na região costeira fica homogênea (Matsuura, 1986 *apud* Rodrigues, 1997).

Além da oscilação sazonal, o limite superior da ACAS varia em períodos mais longos, de cerca de três anos, entre profundidades de 100 e 300 m, de acordo com resultados de Signorini *et al.* (1989).

D. Regime de Ondas

O regime de ondas para a região foi obtido a partir de uma coleta de dados na Bacia de Campos (Figura II.5.1.3-1), realizada pela PETROBRÁS, de 1991 a 1995, e analisada por Seixas (1997).

Os resultados mais importantes são:

- o período entre 6,6 s e 10 s (47,5%) apresentou a maior concentração de ocorrências;
- a predominância de ocorrências de S (27,1%) e NE (23,3%);
- ocorrência moderada nos octantes E (16%), SE (14,3%) e SW (11,3%);
- ocorrência fraca no octante N (7,1%); e,
- brusca diminuição de ocorrência nos octantes W e NW (menos de 1% no total);
- o espectro de onda é predominantemente bimodal (62,7% dos registros).

Portanto, a direção predominante do marulho varia essencialmente entre NE-E e S-SW. No primeiro caso, a origem das ondas está associada ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, semifixo. Esse fenômeno produz na região ventos do quadrante N-E durante todo o ano. O marulho de S-SW está associado ao deslocamento dos Anticiclones Polares, que migram das maiores latitudes em direção às baixas. Ao longo do deslocamento desses centros, provocam as frentes frias. A região frontal é caracterizada por um centro de baixa pressão que gera os fortes ventos S-SW. Os períodos associados a esta condição são maiores, geralmente acima de 10 s, podendo atingir 17 s.



As maiores ondas ocorrem no inverno, correspondendo ao octante sul, com altura extrema de 7,5 m, também estando relacionadas às frentes frias que se formam no Atlântico Sul durante o inverno, com várias delas conseguindo evoluir e propagar-se até a região.

As ressacas mais severas que ocorrem no litoral do Rio de Janeiro (como em maio de 1999, por exemplo) geralmente estão associadas a uma situação sinótica particular, na qual o ciclone vinculado ao sistema frontal se desloca, do sul para o norte, muito próximo ao litoral brasileiro, numa situação atípica, pois normalmente este ciclone passa bastante afastado do litoral (cerca de 200 km de distância), minimizando sua repercussão. Nos ciclones, os ventos são mais fortes, possuindo considerável energia (Marques & Pinheiro, 1999).

No entanto, o regime de ondas mais freqüente apresenta alturas e períodos menores. Dos 7530 registros, a predominância foi de ondas com altura variando de 1,5m a 2m (53,53%). Alturas acima de 4 m são extremamente raras e correspondem a apenas 2,2% do total. Como a maioria dos espectros obtidos é bimodal, têm-se dois períodos de pico. O período de pico dominante na região está em torno de 8s, e o associado ao segundo máximo local é de 5s.

A seguir estão representados os mapas de refração para as duas situações mais comuns na Bacia de Campos, conforme descrito a seguir:

- Ondulações de Nordeste de 1,0 m de altura com períodos de 7 segs (Figura II.5.1.3-9, ao final desta Seção) representando as situações de tempo bom características de verão onde há o predomínio do Anticiclone Subtropical; e,
- Ondulações de Sudoeste com 1,5 m de altura e período médio de 10 segs (Figura II.5.1.3-10, ao final desta Seção). Representativo do Swell de Sul que ocorre no inverno.

Os mapas de refração mostram as frentes de onda representadas pelas linhas brancas, e o campo de alturas da onda monocromática. Detalhe para o distanciamento das frentes que não indicam o comprimento da onda, e sim uma forma de se visualizar a propagação da frente.

Através das análises dos mapas de refração pode-se observar que a região mais rasa e mais próxima a costa possui uma alta energia, devido ao



fenômeno da caústica causados pela refração e diminuição da profundidade, esta região do mapa também é a que apresenta a maior variação de alturas. No caso da onda de Nordeste observam-se valores de até 2,4 m enquanto para a ondulação de Sudoeste tem-se alturas da ordem de 2,7 m. Regiões rasas onde se tem as isobatimétricas em forma de cunha são as regiões onde se concentram as maiores energias, já as regiões de fundo de baía e enseadas são onde se encontram os estados de mar mais fracos.

E. Marés

Conforme já mencionado, a maré exerce uma menor influência na dinâmica da Bacia de Campos. Em regiões mais *offshore*, existe ainda uma diminuição da altura medida na costa, onde há um papel mais significativo das componentes de baixa profundidade. Nunes e colaboradores (1996, *apud* CEPEMAR, 2001) compararam dados costeiros e oceânicos nas proximidades do Porto de Macaé e concluíram não haver uma diferença significativa de fase. Entretanto, a amplitude de maré no porto foi 16% maior que a *offshore*.

Para este estudo, foram consultados os dados disponíveis no BNDO, FEMAR, SHOM e na literatura, para Cabo Frio e na região da Bacia de Campos (na costa e sobre a plataforma).

A região é caracterizada por preamares de pouca altura e pequenas amplitudes de variação do nível médio do mar. De uma forma geral, as componentes M2, S2, O1 e K1 são as mais importantes, com amplitudes maiores que 5 cm. O regime predominante é o semidiurno (ondas de maré com periodicidade predominante de 12 horas e 54 minutos), sendo a M2 a componente de maior influência.

Os dados da Bacia de Campos (campo de Marlim) indicam as seguintes características (PETROBRÁS, 1998 *apud* CEPEMAR, 2001):

- Nível Médio do Mar: 0,5 m
- Preamar Média: 0,9 m
- Preamar Média de Sizígia: 1,1 m
- Baixa Mar Média: 0,2 m



- Baixa Mar Média de Sizígia: 0,0 m
- Maré Astronômica Máxima: 1,3 m
- Maré Astronômica Máxima + Maré Meteorológica Máxima: 1,5 m
- Maré Astronômica Mínima: -0,2 m
- Maré Astronômica Mínima + Maré Meteorológica Mínima: -0,4 m

Foram obtidas junto à FEMAR (2000) informações maregráficas referentes à Barra do Furado e a uma posição oceânica (Figura II.5.1.3-1). Os resultados podem ser vistos na Tabela 5.1.3-4.

Tabela 5.1.3-4: Principais características da maré em Barra do Furado e na região da Plataforma

| | Barra do Furado | Oceânica |
|----------------------------------|------------------------|-----------------|
| Latitude | 22°06,0'S | 22°42,0'S |
| Longitude | 41°08,8'W | 40°50,2'W |
| Nível Médio | 0,67 m | 0,68 m |
| Média das Preamares Superiores | 1,32 m | 1,22 m |
| Média das Preamares Inferiores | 1,14 m | 1,11 m |
| Média das Baixa-Mares Superiores | 0,17 m | 0,30 m |
| Média das Baixa-Mares Inferiores | 0,05 m | 0,08 m |

As principais constantes harmônicas obtidas para estas posições podem ser vistas na Tabela 5.1.3-5 (H – semi-amplitude, em cm; G – fase, em graus).

Tabela 5.1.3-5: Constantes Harmônicas

| Componente S | Barra do Furado | | Oceânica | |
|------------------|-----------------|-----|----------|-----|
| | H | G | H | G |
| Q ₁ | 2,8 | 062 | 5,4 | 075 |
| O ₁ | 9,6 | 094 | 11,3 | 075 |
| P ₁ | 1,9 | 151 | 2,0 | 139 |
| K ₁ | 5,8 | 156 | 6,2 | 144 |
| MNS ₂ | 1,1 | 062 | - | - |
| 2N ₂ | 0,6 | 108 | 0,8 | 083 |
| MU ₂ | 3,0 | 067 | - | - |
| N ₂ | 4,5 | 097 | 6,2 | 083 |
| NU ₂ | 0,8 | 095 | 1,2 | 083 |
| M ₂ | 37,4 | 085 | 32,4 | 083 |
| T ₂ | 1,1 | 090 | 1,0 | 088 |
| S ₂ | 18,5 | 090 | 16,2 | 088 |
| K ₂ | 5,0 | 090 | 4,4 | 088 |
| M ₃ | 0,5 | 119 | - | - |
| MN ₄ | 0,7 | 001 | - | - |
| M ₄ | 2,3 | 049 | 3,5 | 347 |
| MS ₄ | 1,4 | 110 | 2,8 | 065 |

A seguir, têm-se os maregramas previstos pelo SHOM (2002) para o ano de 2001 para Cabo Frio, que podem ser visualizados na figura II.5.1.3-11.

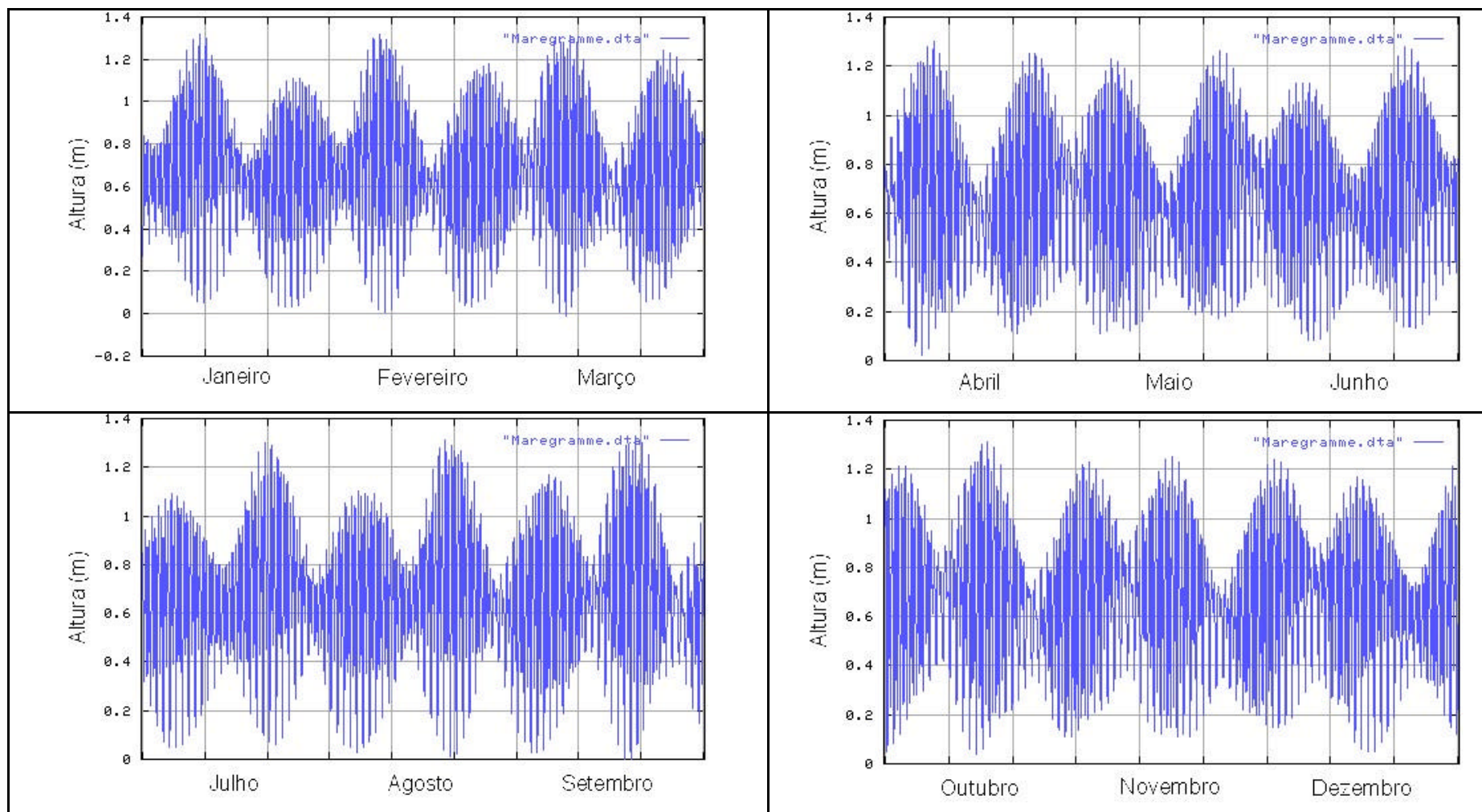


Figura II.5.1.3-11: Variação Mensal da Maré em Cabo Frio durante 2001. Fonte: SHOM.



F. Considerações Finais

Constatou-se, portanto, que a maré exerce pouca influência na dinâmica local, que é controlada essencialmente pelo vento, direta e indiretamente.

Pode-se notar a ação direta dos ventos na deriva de Ekman, que é o principal mecanismo de circulação na região costeira.

As componentes sazonais de circulação na Plataforma, associadas às correntes geostróficas, têm sua origem também ligada ao regime de vento, em escala regional.

A deriva litorânea, que varia de acordo com a direção de incidência das ondas sobre a costa, é outro exemplo de influência indireta do vento, já que o regime de ondas é controlado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e pelos Anticiclones Polares.

Por último, destaca-se a CB, que controla a dinâmica na plataforma externa e talude e que faz parte do Giro Subtropical Atlântico, forçado por vento em larga-escala.

Portanto, as variações no campo de vento têm grande influência nas características oceanográficas da área de interesse; não apenas no regime de correntes, mas também na distribuição das propriedades físico-químicas e das massas d'água e no regime de ondas.