

CONDIÇÕES HIDROGRÁFICAS NA PLATAFORMA CONTINENTAL AO LARGO DE UBATUBA: VARIAÇÕES SAZONAIS E EM MÉDIA ESCALA

Belmiro Mendes de CASTRO FILHO; Luiz Bruner de MIRANDA & Sadako Yadoya MIYAO

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (Caixa Postal 9075, 01051 São Paulo, SP)

Abstract

Hydrographic conditions on the continental shelf offshore of Ubatuba have shown different water mass distributions for summer (December, 1985) and winter (July, 1986). Two physical domains were identified: inner shelf and outer shelf, both separated by a front particularly well defined during the winter. The inner shelf has a two layer vertical stratification during summer, with a strong thermocline at mid-depths. During winter this region shows almost no stratification. During summer the upper layer (depths smaller than 20 m) is filled with Coastal Water (CW), which interacts with Tropical Water (TW) offshore. South Atlantic Central Water (SACA) predominates in the lower layer during summer. Vertical interaction between CW and SACA is restricted to a band near the coast. During winter SACA does not penetrate towards the coast in the lower layer and, as a consequence, the inner shelf shows the presence of CW only. For winter interactions between CW and SACA are observed only across the front that separates inner and outer shelf. For this season there is also a noticeable intrusion of TW towards the coast on the upper layer of the outer shelf. A descriptive model for the wind driven seasonal circulation of the inner shelf is suggested, based on: 1) the water mass distributions observed and, 2) meteorological conditions from a coastal station located southward of Ubatuba. The outer shelf dynamics seems to suffer strong influence from the Brazil Current. Eddies or meanders with characteristics of frontal eddies, have been observed on both seasons on the outer shelf. These eddies should play an important role on the water mass exchange between the shelf and the slope, contributing for the enrichment of shelf waters by the upward motion of deeper waters through its core.

Descriptors: Seasonal variations, Mesoscale features, Thermohaline structure, Frontal eddies, Water masses, Shelf dynamics.

Descritores: Variação sazonal, Variação em média escala, Estrutura termohalina, Vórtices frontais, Massas de água, Circulação costeira.

Introdução

A primeira publicação contendo dados de propriedades físicas da água do mar, para a plataforma continental do estado de São Paulo, deve-se a Emílsson (1956). A análise desses dados (Emílsson 1959; 1961) conduziu a uma caracterização preliminar das estruturas térmicas e salinas em escala regional, e ao estabelecimento de hipóteses sobre a origem e a formação das massas de água da pla-

taforma continental.

Recentemente, a região localizada entre a Ilha de São Sebastião e Ubatuba (Fig. 1), com uma área aproximada de 3840 km², foi selecionada para estudos pelo Projeto Utilização Racional do Ecossistema Costeiro da Região Tropical Brasileira: Estado de São Paulo. Tal projeto está sendo subvencionado pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM). Em dezembro de 1985 foram iniciados estudos sistemáticos, e com resolução espacial não igualada por trabalhos anteriores na mesma

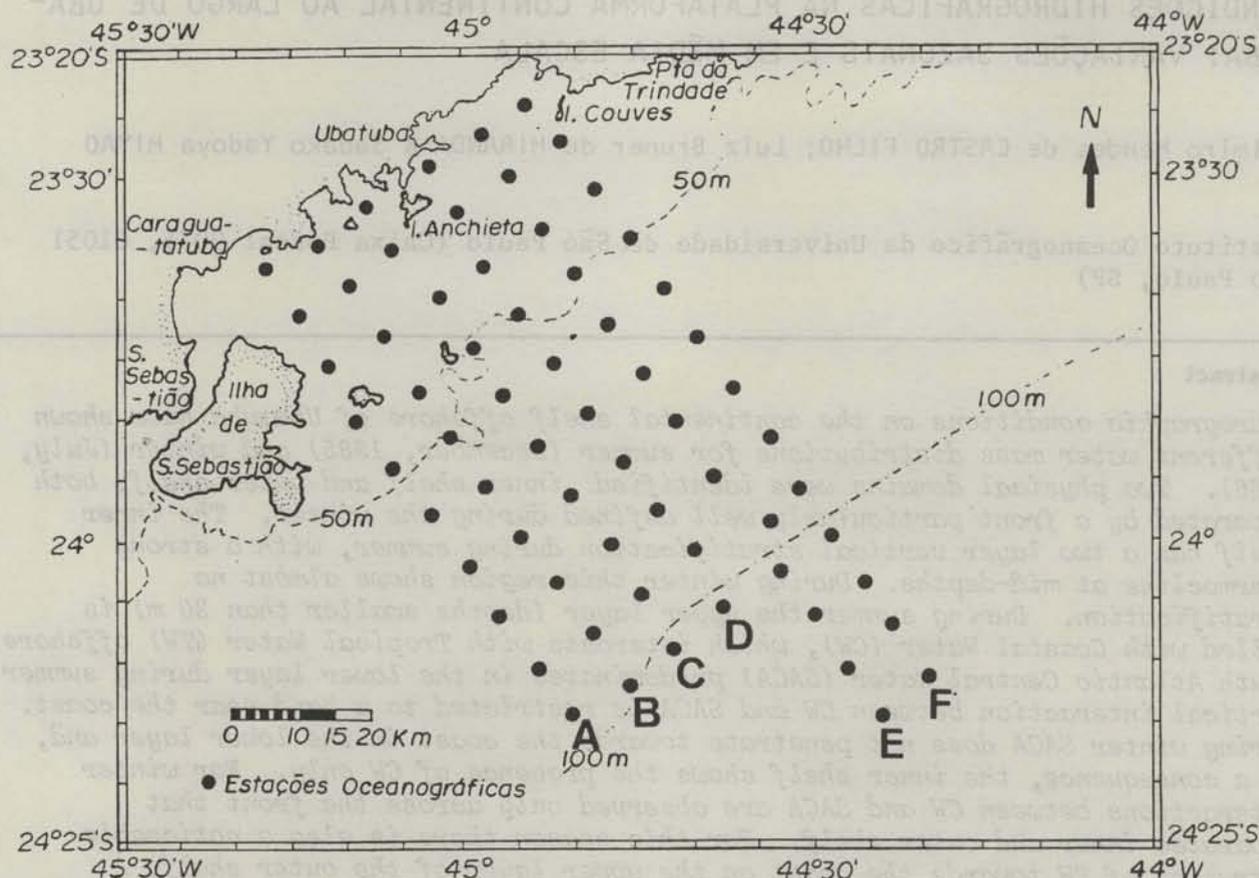


Fig. 1. Localização das estações oceanográficas realizadas durante os cruzeiros oceanográficos dos períodos de verão e de inverno.

região (Miranda, 1982; Matsuura, 1986). A amostragem da área tem sido quase-sinótica (4 dias), numa densa rede de estações hidrográficas, com um espaçamento médio entre estações de 9 km.

O objetivo proposto para o primeiro ano do projeto (10/85 - 09/86) foi descrever qualitativamente, no domínio espaço-temporal, as propriedades físicas, químicas e biológicas do ecossistema. Os dados coletados durante esse primeiro ano, mais uma análise parcial dos mesmos, estão descritos em IOUSP (1987).

Neste trabalho descreveremos os resultados obtidos com os dados dos cruzeiros hidrográficos realizados em dezembro de 1985 e em julho de 1986. Os objetivos são: (1) Descrever a variação sazonal da estrutura física das águas, e (2) discutir qualitativamente possíveis mecanismos capazes de gerar as variações observadas.

Uma descrição dos dados e métodos, é seguida pela apresentação das proprie-

dades físicas (temperatura, salinidade e anomalia do volume específico) para as duas estações do ano. Baseando-se nessas propriedades, e na análise de massas de água, investiga-se qualitativamente o provável comportamento dinâmico das águas da região em escala de tempo sazonal.

Dados e métodos

Os cruzeiros oceanográficos foram realizados no início do verão de 1985-1986 (V85), entre 11 e 14/12/85; e no início do inverno de 1986 (I86), entre 20 e 24/07/86. As viagens, a bordo do N/Oc. "Prof. W. Besnard", foram planejadas de tal forma que a rede de estações oceanográficas ocupasse a mesma posição geográfica (Fig. 1) nas duas épocas.

A coluna de água foi amostrada com garrafas de Nansen, e a temperatura *in situ* foi medida com termômetros de reversão protegidos. A salinidade foi determinada por meio de medições da razão de condutividade elétrica (R_T),

com um salinômetro Autosal, modelo 8400A, calibrado com água normal. R_t foi convertida em salinidade de acordo com o algoritmo que define a Escala Prática de Salinidade (UNESCO, 1981a).

A profundidade de amostragem foi obtida corrigindo-se, sempre que necessário, o comprimento do cabo lançado, a partir das medidas de sua inclinação.

As variáveis dependentes (densidade, volume específico, etc.), foram calculadas utilizando-se a Equação Internacional de Estado (UNESCO, 1981b). Para a utilização dessa equação a profundidade (metros) foi convertida em pressão (bárias) pela expressão quadrática determinada por Miranda (1982).

A estimativa da contribuição relativa dos diferentes tipos de água para a formação, por processos de mistura, das características físicas das massas de água da região em estudo, foi feita com base no método clássico do triângulo de mistura. Os índices termohalinos, utilizados para a aplicação desse método, foram identificados diretamente do diagrama T-S do conjunto total dos pontos amostrados nos dois períodos de observação.

Estruturas térmica, salina e de massa

Distribuições horizontais de temperatura e de salinidade

A distribuição horizontal da temperatura superficial em V85 (Fig. 2a) apresenta uma variação entre 21,0 e 24,0°C, com os menores valores estendendo-se como uma língua desde a isóbata de 50 m, a sudeste da Ilha de São Sebastião, até a região leste da Ilha Anchieta. Em I86 a estrutura de temperatura é mais uniforme, variando entre 21,0 e 22,5°C (Fig. 2b), com o mínimo apresentando-se como um pequeno núcleo entre as isóbatas de 50 e 100 m. Nesses dois períodos os maiores valores da temperatura são observados nas estações mais afastadas da costa.

As distribuições de salinidade na superfície (Figs 3a, b) mostram que, embora o intervalo da variação dessa propriedade seja aproximadamente o mesmo para ambos os períodos (35,0-35,2 a 36,6-36,8), houve uma

acentuada variação na configuração das isohalinas. Em V85 observam-se três mínimos de salinidade: dois nas proximidades da costa com núcleos de 35,0 e um terceiro, com escala espacial bem maior, centrado na isóbata de 100 m, com valor de 35,6. Os maiores valores de salinidade (36,6) ocorrem nas estações mais afastadas da costa, coincidindo com a localização dos máximos de temperatura. Os mínimos de salinidade, entretanto, estão separados por máximos secundários, que se apresentam na forma de dois núcleos com valores de 36,0. Na região localizada entre a costa e a posição geográfica desses máximos predominam águas com valores relativamente baixos de salinidade, provavelmente devido à maior influência de águas de origem continental nessa época do ano. Em I86 a salinidade apresenta maior uniformidade para distâncias da costa menores que 75 km, variando entre 35,6 e 35,8, com exceção da região situada nas proximidades da Ilha das Couves, onde observou-se o mínimo absoluto de salinidade: 35,2. Para distâncias da costa maiores que 75 km, a distribuição da salinidade apresenta nítida influência da Água Tropical (AT), a qual também é observada em V85 nas regiões de ocorrência dos máximos de salinidade.

A principal característica da distribuição da temperatura na profundidade de 25 m é a presença, em ambos os períodos, de mínimos isolados com valores de 17°C e 18°C, respectivamente, localizados na latitude de 24°S (Figs 2c, d). Entretanto, em V85, o mínimo está centrado na isóbata de 100 m, enquanto que em I86 o mínimo encontra-se situado entre as isóbatas de 50 e de 100 m. Examinando-se, comparativamente, as estruturas térmicas adjacentes aos mínimos, observa-se que as mesmas apresentam características contrastantes, particularmente na região costeira. Em V85 a temperatura aumenta, à partir do núcleo de mínimo, para 20°C, decrescendo a seguir em direção à costa, ao longo da qual a temperatura varia entre 15 e 16°C. Em I86 os gradientes horizontais de temperatura são mais uniformes no entorno do mínimo e, em direção à costa, observa-se uma extensa região onde a temperatura é quase constante ($T \sim 21,5^\circ\text{C}$), sendo que na região cos-

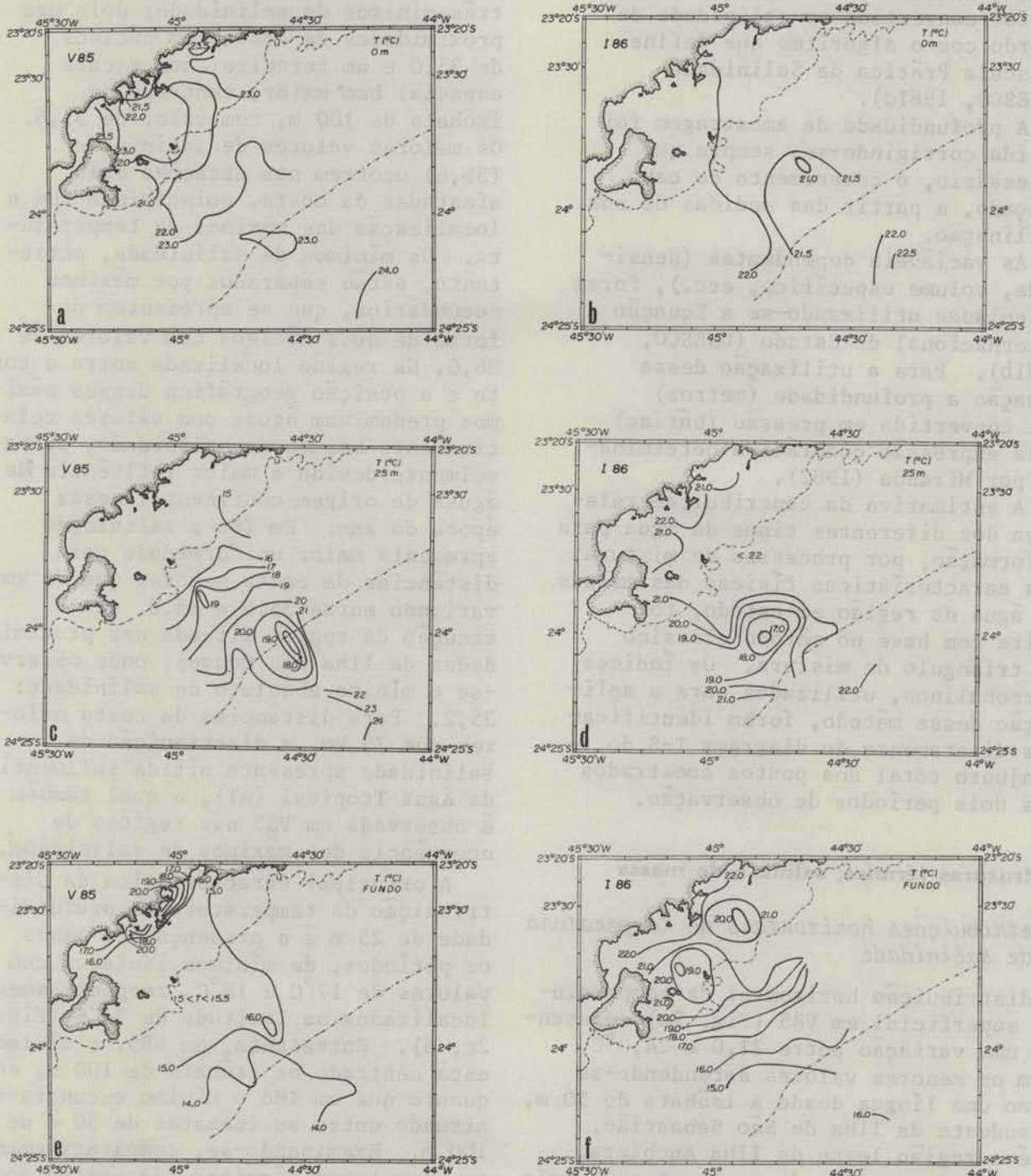


Fig. 2. Estruturas de temperatura observadas nos períodos de verão e de inverno na profundidade de 0 e 25 m (a, b, c, d) e nas proximidades do fundo (e, f).

teira a temperatura varia entre 20,5 e 22,0°C, aproximadamente.

Aos núcleos de mínima temperatura, presentes a 25 m associam-se valores de salinidade próximos a 35,8 (Figs 3c, d), indicando a influência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) para a sua for-

mação. A estrutura de salinidade apresenta uma variação espacial mais acentuada em V85 que em I86. No primeiro período a salinidade aumenta em direção à costa, atingindo um máximo secundário de 36,3, decrescendo a seguir para valores próximos a 35,5 ao

longo da região costeira. No segundo período os gradientes horizontais são menores, sendo que a salinidade varia entre 35,7 e 35,9, aproximadamente, entre a costa e o mínimo.

Em V85 as distribuições de temperatura próximo ao fundo mostram a ocorrência de valores relativamente baixos de temperatura ($14 - 16^{\circ}\text{C}$), em quase toda região (Fig. 2e), associados a salinidades variando entre 35,4 e 35,6 (Fig. 3e). A quase-homogeneidade da estrutura térmica é perturbada apenas nas proximidades da costa, onde ocorrem os maiores gradientes horizontais de temperatura. As águas com temperatura relativamente altas ($18 - 20^{\circ}\text{C}$), situadas na região costeira, possuem os menores valores de salinidade observados próximo ao fundo: 35,3 - 35,4 (Fig. 3e). Em I86 observa-se uma maior variação espacial da temperatura, que aumenta gradualmente de $15 - 16^{\circ}\text{C}$ até o valor máximo de 22°C , que ocorre ao longo da região costeira (Fig. 2f). Esse aumento gradual de temperatura é interrompido, na faixa costeira limitada pela isóbata de 50 m, pela presença de mínimos isolados com valores de 19 e 20°C . A estrutura de salinidade (Fig. 3f) apresenta um aumento gradual em direção à costa, desde aproximadamente 35,5 até aproximadamente 35,9, este último centrado na isóbata de 50 m, para em seguida decrescer até o valor de 35,5, ao longo da região costeira.

Distribuições verticais de temperatura e de salinidade

Ao longo da seção A (Figs 4a, b) os intervalos de variação da temperatura nos dois períodos são praticamente iguais ($14-15$ a $22-23^{\circ}\text{C}$). Entretanto, a estratificação vertical em V85, com a presença da termoclina sazonal intensificando-se em direção à costa, contrasta com a quase-homogeneidade da estrutura térmica em I86 e com o acentuado aumento da temperatura nas camadas mais profundas, particularmente entre a costa e a distância de 50 km. Em V85 as isotermas seguem aproximadamente o contorno do fundo submarino, enquanto que em I86 observa-se a ocorrência de um núcleo de baixa temperatura ($15,0^{\circ}\text{C}$), locali-

zado a cerca de 75 km da costa. A estrutura da salinidade também apresenta acentuada variação entre os dois períodos (Figs 5a, b). Em V85 (Fig. 5a) os menores valores (35,1) ocorrem na forma de núcleos, na camada superficial próxima à costa e na parte central da plataforma. Os maiores valores, indicando a presença da AT, são observados a 20 m de profundidade, no extremo oceânico da seção. O exame comparativo da distribuição dessa propriedade com a temperatura (Fig. 4a), mostra conclusivamente que a massa de água das camadas sub-superficiais, com $T < 18^{\circ}\text{C}$ e $S < 36,0$, pode ser classificada como ACAS. A influência dessa massa de água estende-se até as proximidades da costa. Em I86 a estratificação vertical é menos acentuada (Fig. 5b), e a salinidade é ligeiramente superior para a faixa compreendida entre a costa e 50 km. À distâncias maiores da costa nota-se novamente a presença da AT, cujo núcleo apresenta um valor máximo de 36,2. Notável é o confinamento da ACAS na parte externa da plataforma, ao contrário do observado em V85.

As estruturas térmica e salina ao longo da seção C (Figs 4c, d e 5c, d) apresentam as mesmas características gerais da seção anterior (A). Observa-se em V85, entretanto, a presença de um núcleo isolado de máxima salinidade (36,4 - 36,5), indicando a maior influência da AT na região (Fig. 5c). Em I86 há uma tendência para a isotermia das águas situadas a uma distância máxima de 50 km da costa (Fig. 4d), e uma notável evolução do núcleo de baixa temperatura ($< 18,0^{\circ}\text{C}$). Esse núcleo sugere a presença de um vórtice ciclônico, e consequente movimento ascendente, causado pela divergência do campo de velocidade ao redor do eixo de rotação.

Na seção E as estruturas térmica e salina para V85 (Figs 4e e 5e) são semelhantes às aquelas observadas ao longo da seção C, indicando que a influência do vórtice ciclônico estende-se também para essa região, conforme mostrado pelas configurações das isotermas e das isohalinas entre 75 e 100 km de distância da

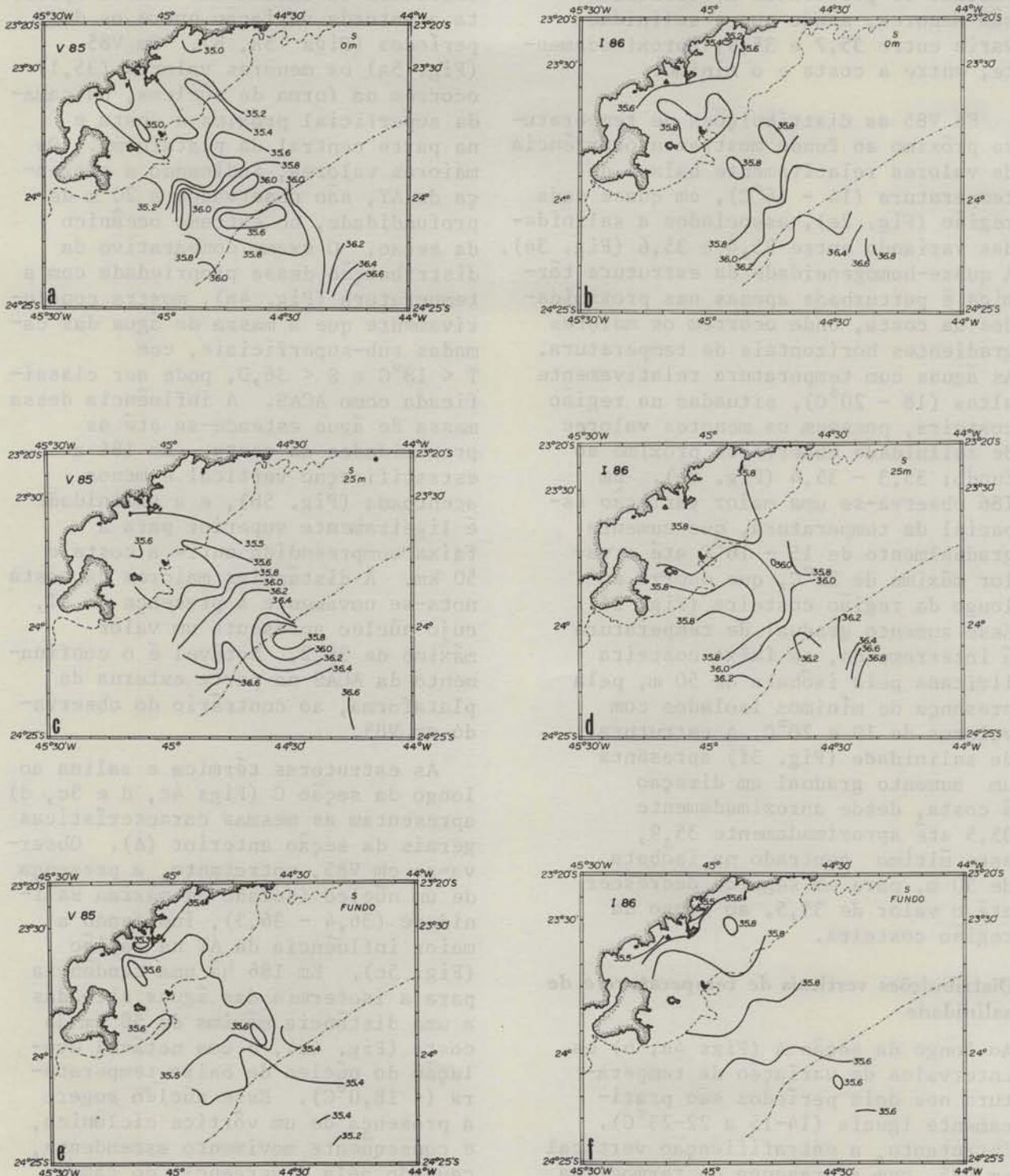


Fig. 3. Estruturas de salinidade observadas nos períodos de verão e de inverno na profundidade de 0 e 25 m (a, b, c, d) e nas proximidades do fundo (e, f).

costa. As estruturas dessas propriedades para I86 (Figs 4f, 5f) também sugerem a presença de um vórtice ciclônico, cujo núcleo encontra-se deslocado para oeste por uma

distância aproximada de 20 km, notando-se que houve uma acentuada alteração na configuração das isohalinas, numa escala espacial da ordem de 20 km (distância entre as

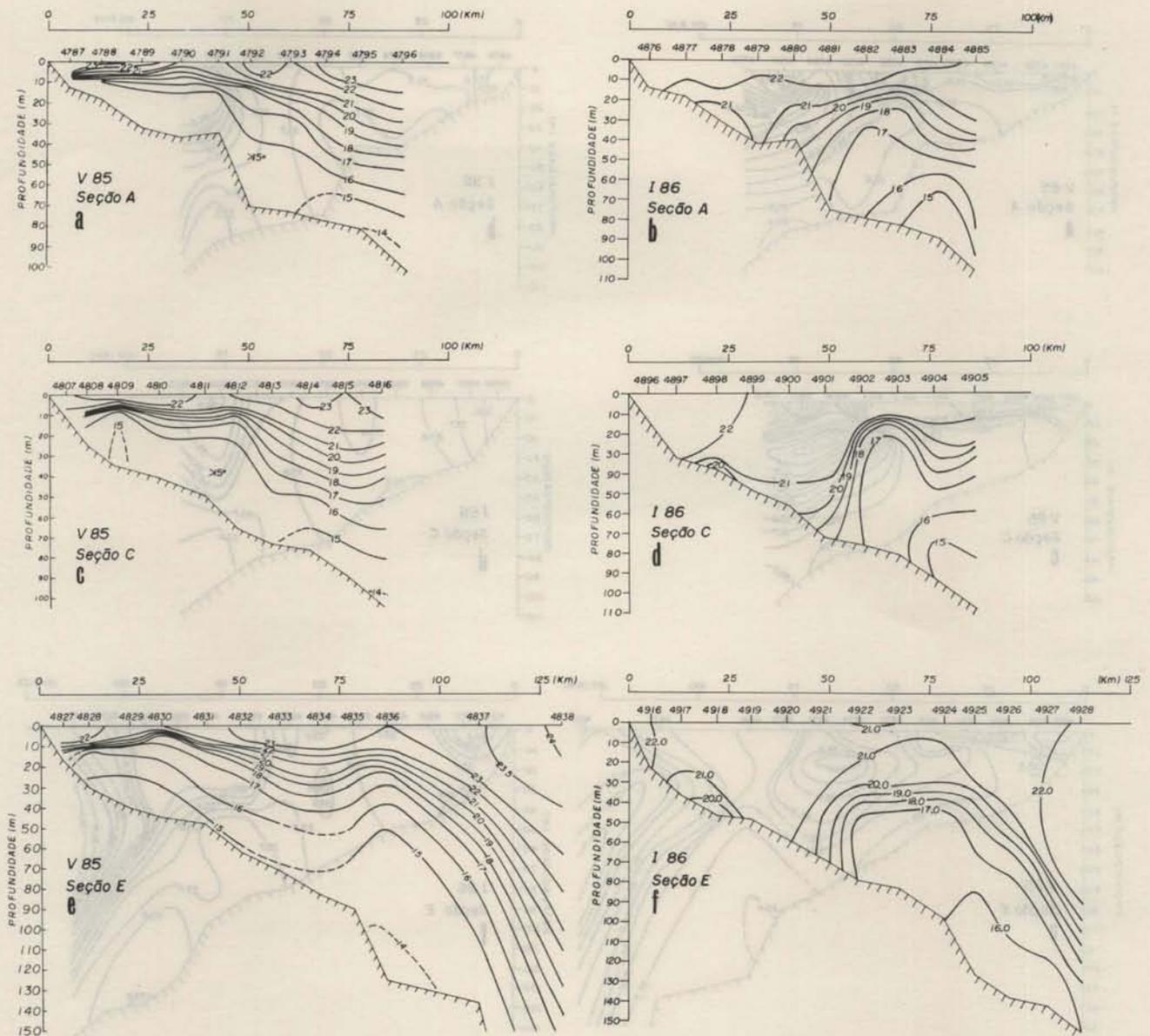


Fig. 4. Distribuições verticais da temperatura nas seções A, C e D, nos períodos de verão (a, c, e) e de inverno (b, d, f).

seções C e E). Tal como observado nas seções anteriores (A e C), a influência da AT sobre a plataforma continental, nesta seção E, identifica-se facilmente pelos núcleos isolados de máxima salinidade ($S > 36,4$ e $S > 36,9$).

Em nenhuma outra seção a presença do vórtice é tão clara quanto na distribuição de salinidade para a seção E, V85 (Fig. 5e). Aparentemente, nessa seção, foram cruzados os dois ramos do giro, indicados pelos dois máximos subsuperficiais de salinidade.

Distribuições verticais de massa

A estrutura de massa é analisada comparativamente com base nas distribuições da anomalia do volume específico (em unidades de 0.1 cl/ton). As distribuições dessa propriedade dependente da água do mar na seção A, em V85 e I86 (Fig. 6a, b), indicam que no primeiro período a camada superficial apresenta núcleos isolados de máximo (mínimo de densidade). As águas menos densas são observadas nas proximidades da costa; imediatamente abaixo desta camada observa-se

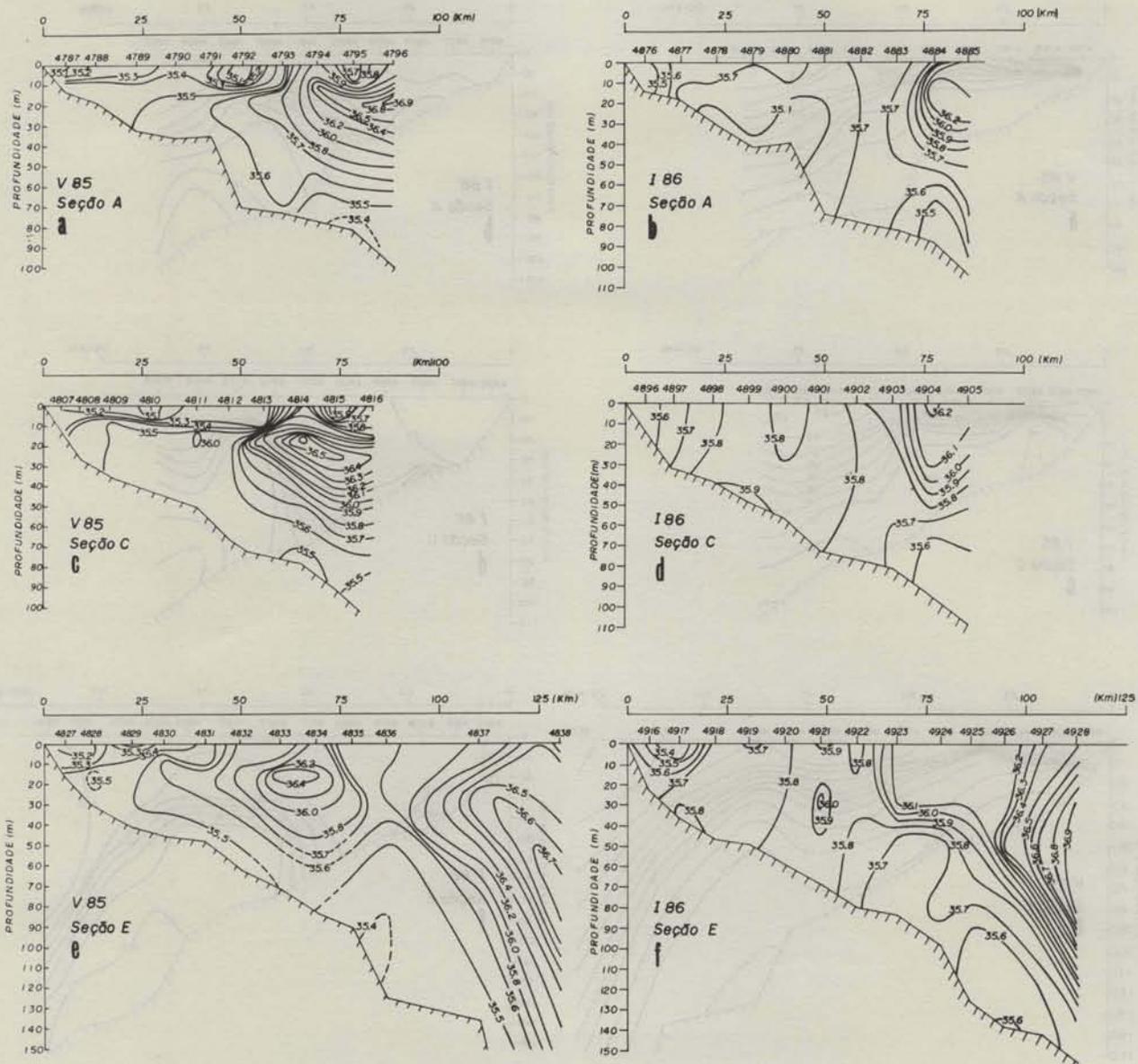


Fig. 5. Distribuições verticais da salinidade nas seções A, C e D, nos períodos de verão (a, c, e) e de inverno (b, d, f).

a presença da pycnoclina sazonal na transição entre as águas das camadas superficial e profunda. Essa pycnoclina acentua-se em direção à costa onde a estrutura de massa passa a exibir a forma de "duas camadas". A estrutura de massa para I86 (Fig. 6b) apresenta-se muito diferente daquela observada no verão, com uma sensível atenuação dos gradientes verticais na camada da pycnoclina; nas proximidades da costa a estrutura de massa apresenta-se praticamente homogênea.

Na seção C (Figs 6c, d) observa-se

que as estruturas exibem configurações semelhantes àquelas da seção A. Em V85, a camada superficial está separada da camada profunda por uma acentuada pycnoclina, cujo gradiente vertical acentua-se em direção à costa. Em I86 as isopícnais indicam, até cerca de 50 km de distância da costa, uma quase homogeneidade da estrutura de massa na coluna de água, com a pycnoclina desenvolvendo-se nas proximidades do fundo. Para distâncias da costa superiores a 50 km, as isopícnais passam a exibir uma zona frontal bem definida que intercepta o fundo

submarino em profundidades de 70-80 m. A configuração indicada na Figura 6d corresponde à estrutura do campo de massa do vórtice ciclônico, identificado quando do exame das distribuições de temperatura e de salinidade. (Seção 3,2).

Na seção E a configuração das isopícnais tem, em V85, e a distâncias da costa não superiores a 50-60 km, as mesmas características descritas anteriormente. Entretanto, para distâncias maiores, a configuração das isopícnais passa a sugerir a elevação de águas mais densas de camadas mais profundas (Fig. 6e). A

estrutura de massa em I86 para essa seção (Fig. 6f), apresenta as mesmas características das seções A e C, indicando que a estrutura na forma de vórtice ciclônico também ocorre ao longo desta seção.

A influência, na direção horizontal, do efeito advectivo dos vórtices detectados em V85 e I86, ocasionando anomalias na distribuição de propriedades da água do mar, pode ser determinada a partir das distribuições de temperatura e de salinidade em diferentes profundidades. Assim, por exemplo, a presença dos mínimos dessas propriedades observados na pro-

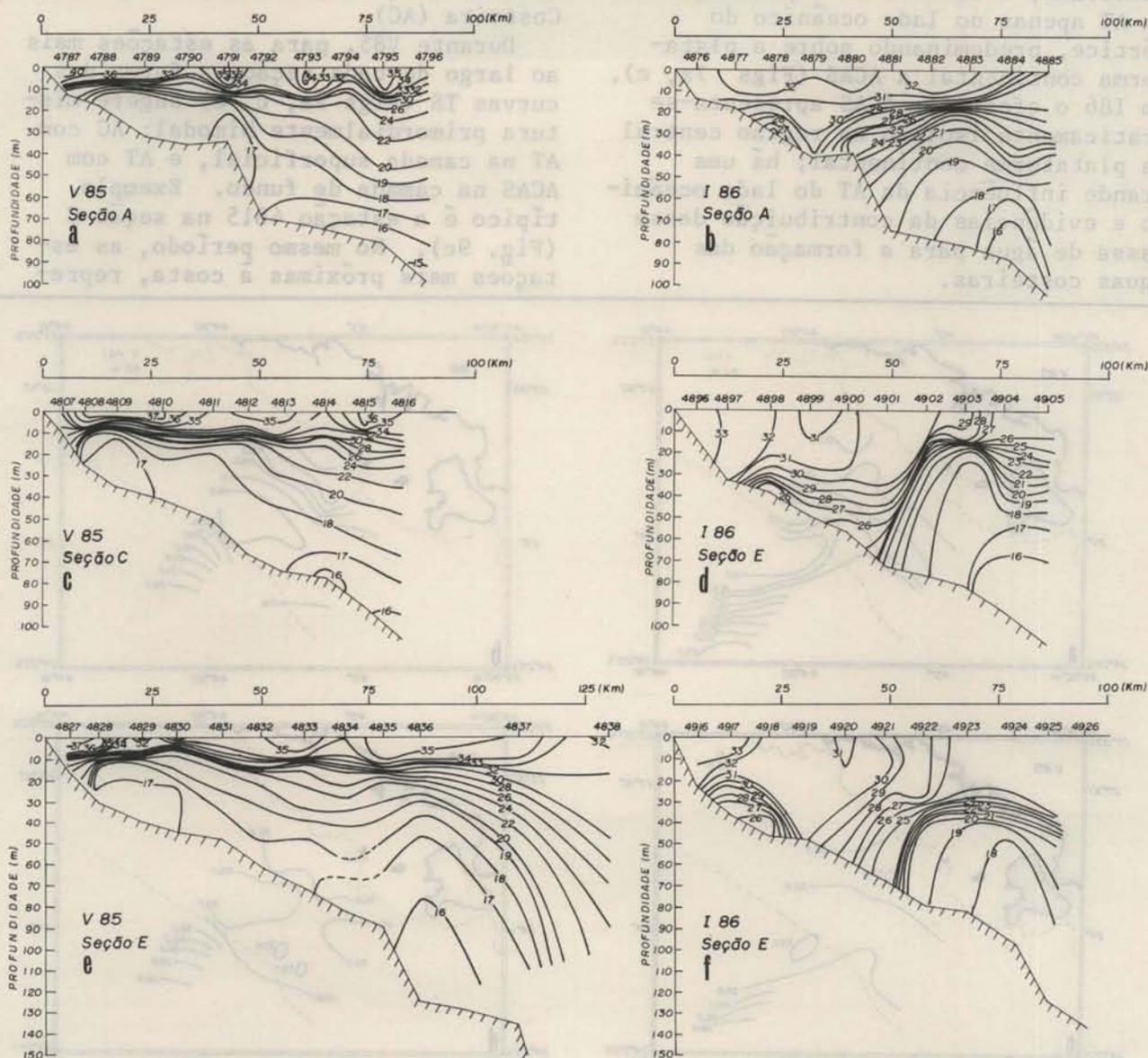


Fig. 6. Distribuições verticais da anomalia do volume específico (em unidades de 0,1 cl/ton) nas seções A, C e D, nos períodos de verão (a, c, e) e de inverno (b, d, f).

fundidade de 25 m (Figs 2c, d e 3c, d), indicam a presença de características termohalinas de ACAS sobre a plataforma continental; a simetria, quase circular, das isotermas e das isohalinas mostra que a influência dessa massa de água, transportada verticalmente pelo vórtice, estende-se por um raio de aproximadamente 15 km. Na profundidade de 50 m (Fig. 7) observa-se, relativamente à profundidade anterior, uma ampliação da área de influência da ACAS, a qual pode ser identificada no entorno dos mínimos de temperatura (16,0 e 16,5°C) e de salinidade (35,6 e 35,7). Em V85 essa área estende-se além da região amostrada, e observa-se a presença da AT apenas no lado oceânico do vórtice, predominando sobre a plataforma continental a ACAS (Figs 7a, c). Em I86 o efeito da ACAS apresenta-se praticamente isolado na região central da plataforma continental; há uma grande influência da AT do lado oceânico e evidências da contribuição dessa massa de água para a formação das águas costeiras.

Análise de massas de água

A mistura entre dois tipos de água é representada, no plano TS, por uma variação quase-linear dos pares T,S amostrados entre dois pares T,S extremos. Na região estudada ocorre, na realidade, mistura entre três tipos de água. Tal fato é indicado pela forma triangular dos diagramas TS para ambos os períodos (Fig. 8). O vértice inferior, com baixas temperaturas e salinidades, corresponde à Água Central do Atlântico Sul (ACAS); o máximo de salinidade corresponde à Água Tropical (AT); e o mínimo de salinidade, associado a altas temperaturas (22,0°C), corresponde à Água Costeira (AC).

Durante V85, para as estações mais ao largo de cada seção, a forma das curvas TS (Figs. 9a, c, e) sugere mistura primordialmente bimodal: AC com AT na camada superficial, e AT com ACAS na camada de fundo. Exemplo típico é a estação 4815 na seção C (Fig. 9c). No mesmo período, as estações mais próximas à costa, repre-

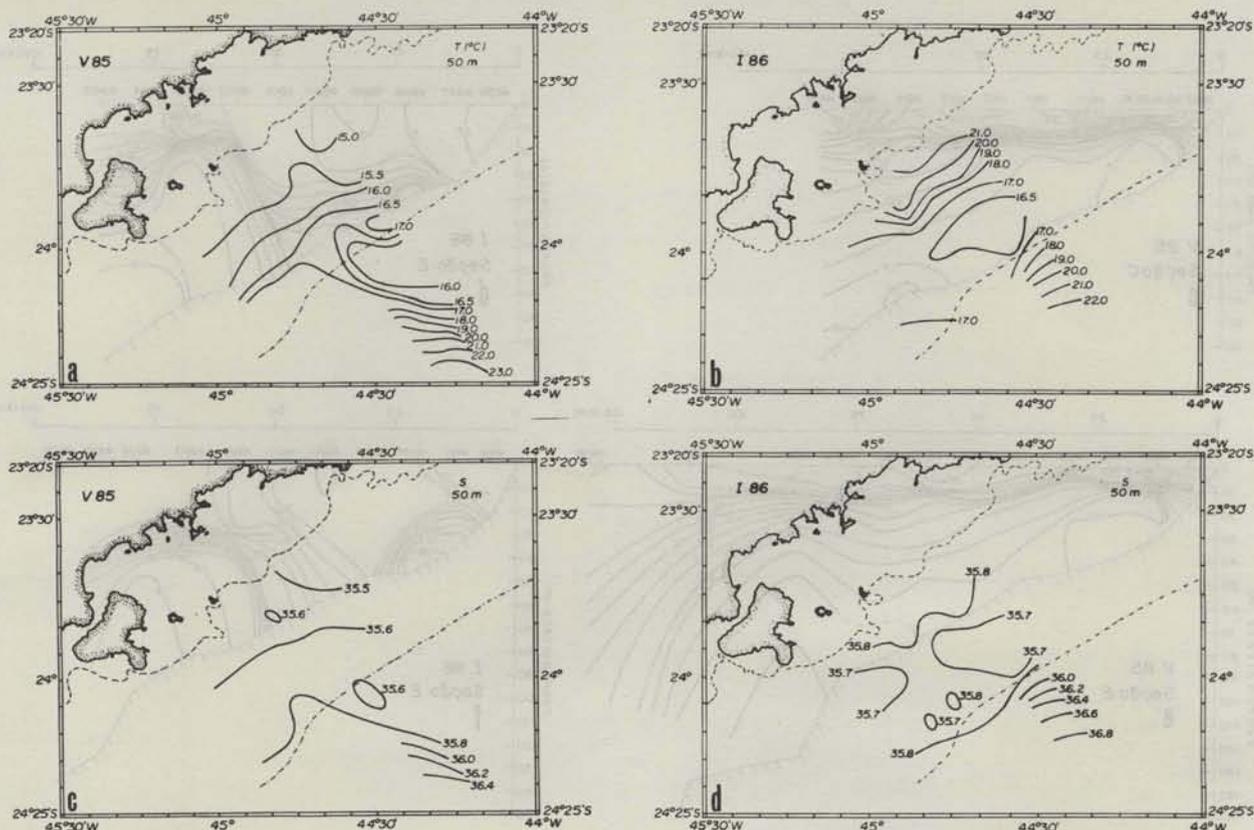


Fig. 7. Distribuições horizontais da temperatura (a, b) e da salinidade (c, d) a 50 m de profundidade nos períodos de verão e de inverno.

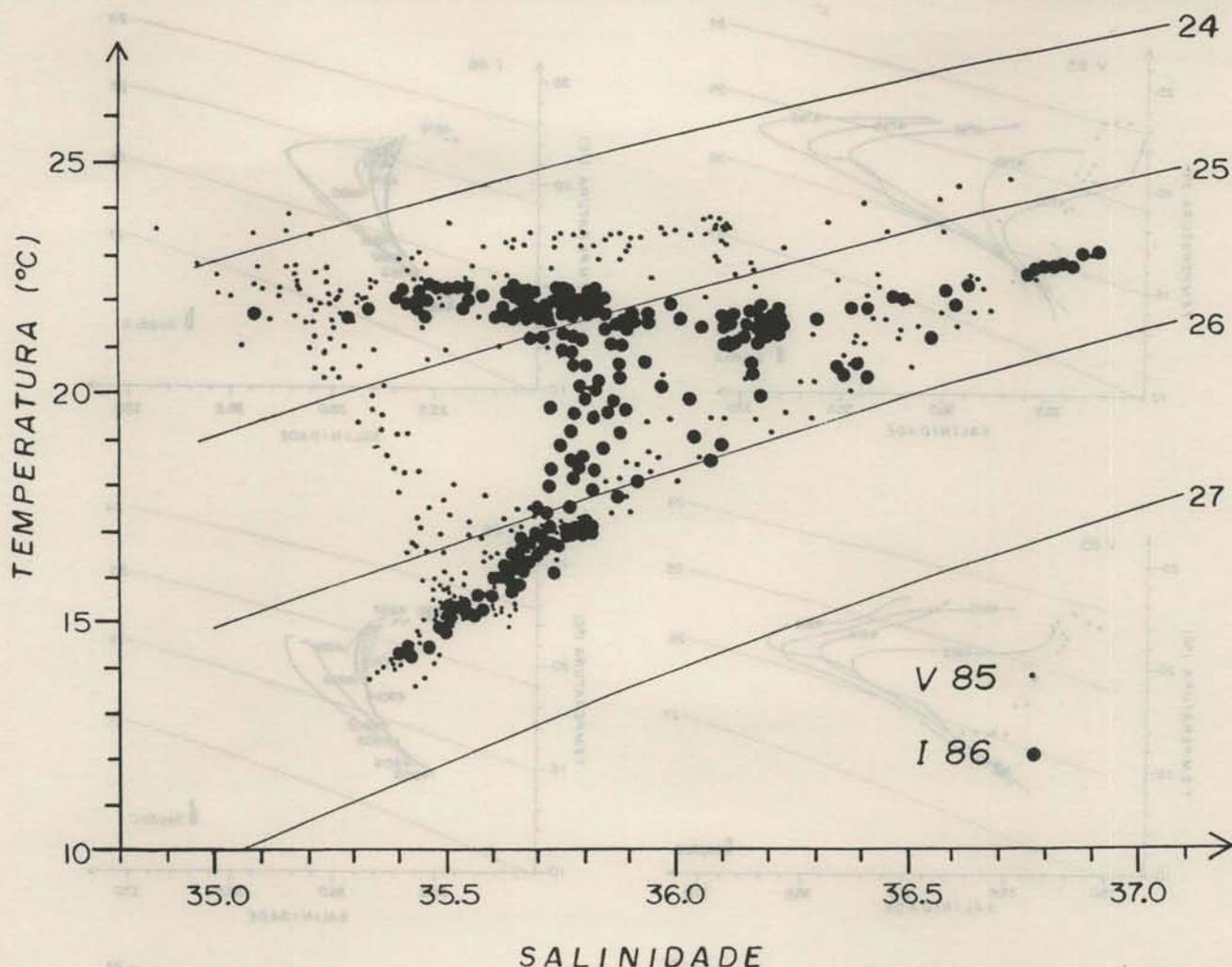


Fig. 8. Diagrama TS composto com os pares T,S amostrados nos períodos de verão e de inverno.

sentadas em sua maior parte pelos pontos discretos nos diagramas, indicam mistura apenas de AC com ACAS.

As estações mais ao largo, em I86, indicam as mesmas misturas bimodais observadas em V85, embora de maneira menos acentuada (Figs 9b, d, f). Nessa época, a penetração da AT da Corrente do Brasil sobre a plataforma continental é menor, o que pode ser observado pelos menores valores do máximo de salinidade típico dessa massa de água. As estações costeiras em I86 não indicam a presença da mistura de AC com ACAS, típica para essas estações em V85. Na verdade, em I86, para muitas estações costeiras, o diagrama TS praticamente reduz-se a um ponto, como para as estações 4896 e 4897 (Fig. 9d), refletindo a homogeneidade termohalina da coluna de água no domínio interior.

Os contrastes entre V85 e I86 na es-

trutura termohalina devem-se basicamente a dois fatores:

- 1) A ACAS, presente na camada de fundo das estações costeiras em V85, não penetra profundamente sobre a plataforma continental em I86;
- 2) A intrusão da AT da Corrente do Brasil nas camadas superficiais da plataforma continental é maior em I86 do que em V85.

A pequena intensidade da mistura entre AC e ACAS em I86 pode ser observada no diagrama TS da Figura 8. As duas regiões com salinidade mínima estão separadas por um vazio de pontos, em oposição à situação de verão, quando essas regiões estão ligadas por uma nuvem de pontos bem definida.

Os índices termohalinos para ACAS, AT e AC, para fins de cálculo dos percentuais relativos de contribuição dessas massas de água, podem ser de-

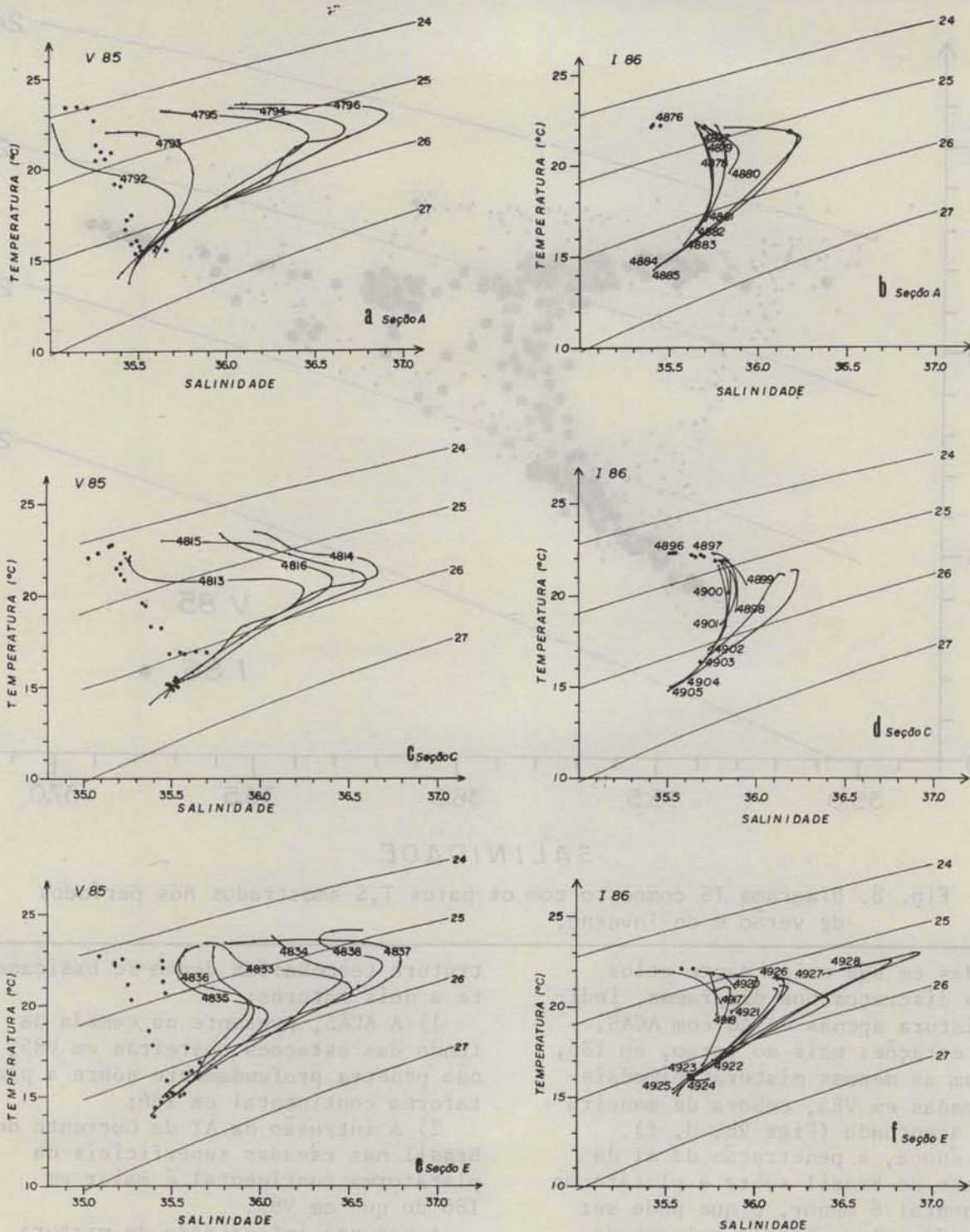


Fig. 9. Variação da configuração da curva TS nas seções A, C e E, para os períodos de verão e de inverno.

finidos a partir da Figura 8, Essa figura sugere os seguintes índices:

Água Central do Atlântico Sul	13,0°C	35,4
Água Tropical	24,0°C	37,0
Água Costeira	24,0°C	34,9

A partir do triângulo de mistura

formado por esses índices termohalinos, e das curvas TS individuais para cada uma das estações, foram obtidas as distribuições de quantidades percentuais para cada tipo de água.

Discussão e conclusões

A diferença notável, entre verão e inverno, das características físicas

das águas da região, é melhor apreciada na Figura 10. Para V85 praticamente toda a camada superficial é preenchida por AC, com influência pequena da AT nas proximidades da isóbata de 100 m (Fig. 10a). Para I86 a região com maior influência de AC na superfície está compreendida entre as isóbatas de 10 e 30 m (Fig. 10b). Pode-se também observar, para esse período, maior influência da AT nas estações mais ao largo. Próximo ao fundo a influência da ACAS em V85 estende-se por toda a região investigada, com exceção de pequenas áreas nas proximidades da costa (Fig. 10c). Em I86 a influência da ACAS na camada de fundo restringe-se à região ao largo da isóbata de 60 m, enquanto que a presença da AC nas proximidades da costa cresce moderadamente (Fig. 10d).

A fonte da água de baixa salinidade e alta temperatura, AC, está localizada na parte mais costeira da região, enquanto que a fonte da água de baixa

salinidade e baixa temperatura, ACAS, está no talude continental, em profundidades maiores que 200 m. A distribuição dessas duas massas de água em V85 sugere um mecanismo de transporte da AC da costa em direção à quebra da plataforma continental na camada superficial, e transporte de ACAS no sentido contrário, na camada de fundo. Esse mecanismo de transportes em sentidos contrários, nas camadas superficiais e de fundo, seria possível somente no caso dos ventos na região serem predominantemente provenientes de E e NE. Esses ventos induziriam um transporte da AC em direção ao oceano na camada de Ekman superficial. Analisando-se os ventos mais frequentes para Cananéia, nos meses de outubro a janeiro, para o período 1956-80 (Silva, 1984) observa-se, de fato, que os ventos prevaletentes são provenientes de E-NE. Desde que valores médios mensais de ventos estão associados a fenômenos meteorológicos com escala espacial da ordem de 1000 km, não deve haver grandes diferenças entre

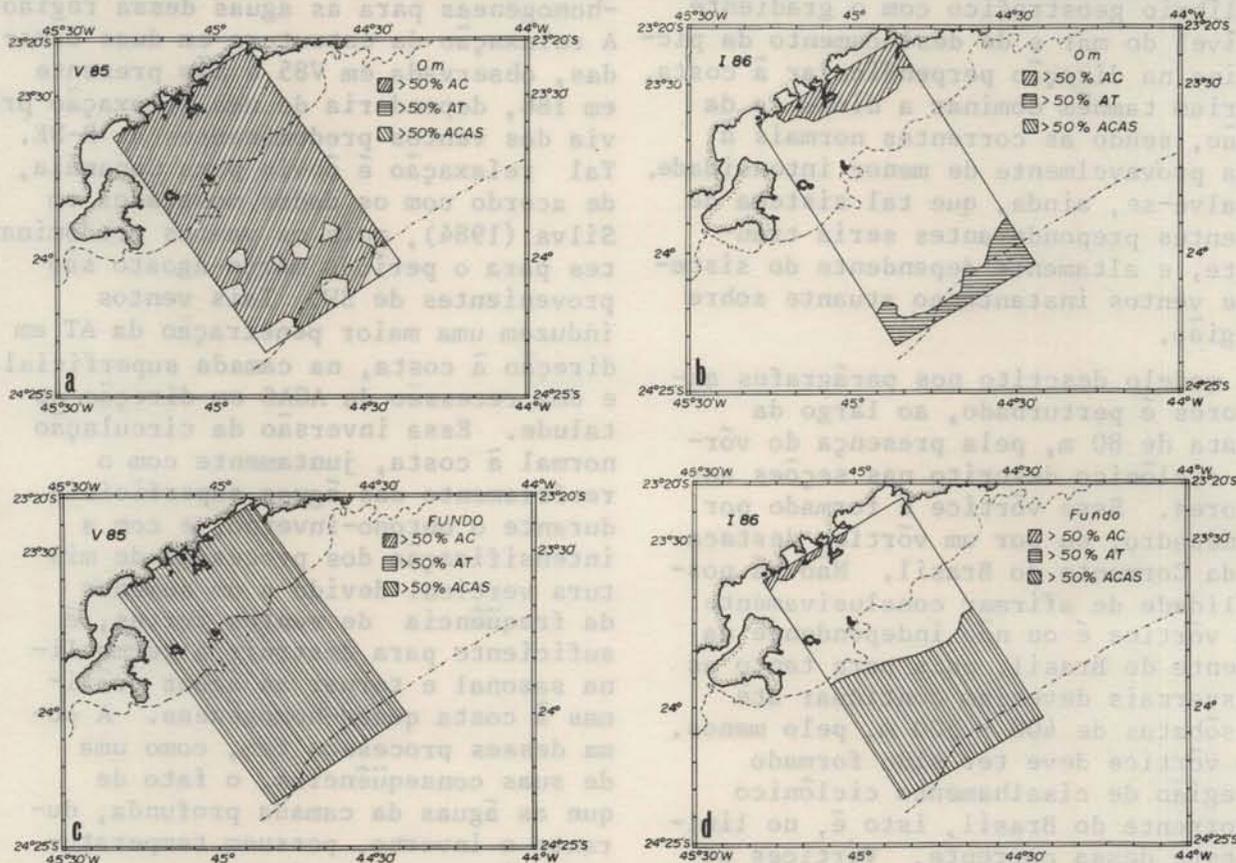


Fig. 10. Distribuição relativa das massas de água: Água Costeira (AC), Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e Água Tropical (AT), na camada superficial e nas proximidades do fundo, nos períodos de verão e de inverno.

Cananéia e Ubatuba, as quais estão distantes cerca de 400 km uma da outra. Além disso, Castro Filho (1985) mostrou que toda a região, compreendida entre Cabo de Santa Marta (SC) e Cabo Frio (RJ), está sujeita às mesmas condições meteorológicas com escalas sinótica.

O transporte da AC na camada de Ekman superficial deve ser compensado por transporte em sentido contrário em toda a coluna de água. Esse movimento causa a inundação do fundo da plataforma pela ACAS. Esses movimentos em sentidos contrários podem gerar uma estratificação em duas camadas, conforme observado anteriormente.

Todas as observações encaixam-se satisfatoriamente na teoria clássica de ressurgência introduzida por Yoshida (1967). De acordo com essa teoria, os movimentos ao longo da costa deveriam ser na mesma direção do vento na camada superficial, isto é, fluindo para SW, e em direção oposta abaixo da termoclina, isto é, fluindo para NE. Note-se, também, que as correntes paralelas à costa, as quais deveriam estar em equilíbrio geostrofico com o gradiente de nível do mar e de deslocamento da picnoclina na direção perpendicular à costa, deveriam também dominar a dinâmica da região, sendo as correntes normais à costa provavelmente de menor intensidade. Ressalve-se, ainda, que tal sistema de correntes preponderantes seria transitente, e altamente dependente do sistema de ventos instantâneo atuante sobre a região.

O modelo descrito nos parágrafos anteriores é perturbado, ao largo da isóbata de 80 m, pela presença do vórtice ciclônico descrito nas seções anteriores. Esse vórtice é formado por um meandro, ou por um vórtice destacado, da Corrente do Brasil. Não há possibilidade de afirmar conclusivamente se o vórtice é ou não independente da Corrente do Brasil, pois para tanto as transversais deveriam continuar até as isóbatas de 400 - 500 m, pelo menos. Esse vórtice deve ter sido formado na região de cisalhamento ciclônico da Corrente do Brasil, isto é, no limite oeste dessa corrente. Vórtices semelhantes têm sido observados em outras correntes de limite oeste, como a Corrente do Golfo, por exemplo (Lee & Atkinson, 1983). O mecanismo de formação de tais entidades ainda não está

esclarecido. Acredita-se, entretanto, que esse mecanismo consiste da amplificação de perturbações de pequena amplitude da corrente, através de processos de instabilidade baroclínica. Lee & Atkinson (1983) denominaram esse tipo de circulação de "vórtices frontais", por estarem sempre associados a fortes gradientes horizontais de temperatura e salinidade (frentes). Por possuírem circulação ciclônica, os vórtices frontais observados induzem movimentos verticais ascendentes através de seu núcleo e, por isso, possuem baixas temperaturas em seu interior. O vórtice observado em V85 satisfaz, qualitativamente, essa definição de vórtice frontal.

O mecanismo de transporte da ACAS em direção à costa, e da AC em direção ao oceano, não pode ser inferido da distribuição das propriedades hidrográficas em I86 (Figs 10b, d). Nessa época, os gradientes verticais das propriedades físicas diminuem marcadamente, principalmente entre a costa e a isóbata de 50 m, indicando condições quase-homogêneas para as águas dessa região. A relaxação da estrutura em duas camadas, observada em V85 e não presente em I86, dependeria de uma relaxação prévia dos ventos predominantes de E-NE. Tal relaxação é óbvia para Cananéia, de acordo com os dados mostrados em Silva (1984), pois os ventos predominantes para o período março-agosto são provenientes de SW. Tais ventos induzem uma maior penetração da AT em direção à costa, na camada superficial, e uma recessão da ACAS em direção ao talude. Essa inversão da circulação normal à costa, juntamente com o resfriamento das águas superficiais durante o outono-inverno, e com a intensificação dos processos de mistura vertical devida a um aumento da frequência de ventos fortes, é suficiente para destruir a termoclina sazonal e tornar as águas próximas à costa quase-homogêneas. A soma desses processos tem, como uma de suas conseqüências, o fato de que as águas da camada profunda, durante o inverno, possuem temperaturas maiores do que durante o verão.

Um vórtice, com características de vórtice frontal, também é observado em I86, entre as isóbatas de

50 e 100 m. Será essa posição mais interna do vórtice fortuita, ou consequência de circulação perpendicular à costa ser favorável à penetração da AT pela camada superficial?

A Figura 11 mostra esquematicamente os principais processos atuantes sobre a plataforma durante V85 e I86. Para V85 a plataforma continental pode ser dividida em duas regiões: domínio interior e domínio exterior. Esses dois domínios estão separados por uma frente de pouca intensidade. A diferença fundamental entre essas duas regiões é que o domínio interior, provavelmente, tem sua dinâmica em escala sinótica controlada pelo vento, enquanto que o domínio exterior, além de sofrer a influência do vento, está sob impacto direto da Corrente do Brasil. As correntes indicadas para V85 (Fig. 11) são especulações, baseadas no vento prevalecente, na estratificação de massa, e na teoria de movimentos em oceano costeiro com duas camadas (Csanady, 1982). Essas seriam também correntes preponderantes e, certamente, sofreriam variações de sentido com a passagem de perturbações atmosféricas em escala sinótica sobre a região. O domínio interior é limitado pela costa e pelas isóbatas de 40 - 50 m, tendo uma largura aproximada de 50 km. O domínio exterior estende-se das isóbatas de

40 - 50 m até a quebra da plataforma continental.

Os mesmos domínios podem ser utilizados para I86 (Fig. 11). A diferença fundamental é que o domínio interior possui águas quase-homogêneas. A corrente paralela à costa nesse domínio, com mesmo sentido ao longo de toda coluna de água, bem como as correntes normais à costa, são novamente especulações, baseadas nos ventos prevalecentes, na estrutura termohalina, e na teoria de movimentos barotrópicos sobre a plataforma continental (Csanady 1974). Essas seriam também correntes preponderantes, e certamente sofreriam variações de sentido com a passagem dos sistemas meteorológicos frontais.

A gênese e a localização geográfica de domínios semelhantes para plataforma continental de alta latitude foram estudadas por Coachman (1985), o qual determinou que elas estão intimamente relacionadas com: a- a zona frontal do talude continental, onde interagem a água oceânica e da plataforma; b- a formação da água da plataforma, menos salina devido ao aporte de água de origem continental; e, c- a ocorrência de gradientes mais acentuados da declividade do fundo submarino.

A influência dos processos físicos sobre os processos biológicos é óbvia. Existe uma tendência para o enriqueci-

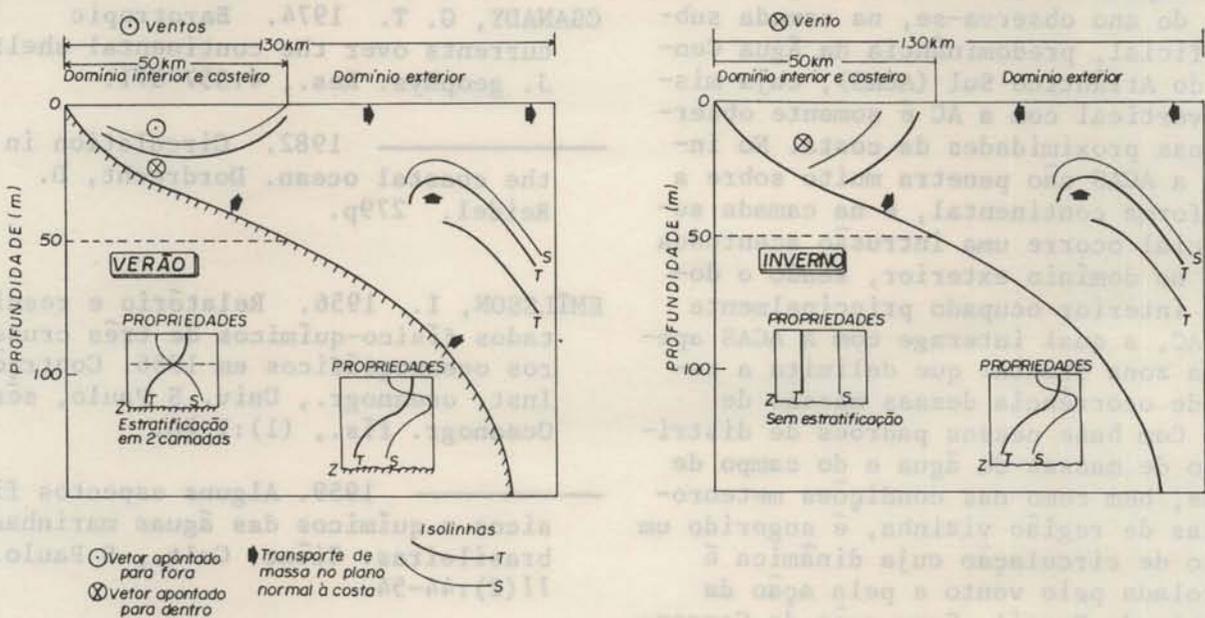


Fig. 11. Representação esquemática dos principais processos físicos atuantes sobre as águas da plataforma continental durante os períodos de verão e de inverno.

mento das águas da plataforma durante o verão, devido à penetração da ACAS até próximo da costa. Os vórtices frontais, observados durante as duas estações, também desempenham importantíssimo papel na troca de águas entre a costa e o talude, proporcionando um enriquecimento das águas da plataforma continental pela ressurgência através de seu núcleo.

Resumo

As características hidrográficas da região ao largo de Ubatuba, pesquisadas em períodos quase-sinóticos de verão (dezembro, 1985) e de inverno (julho, 1986), mostraram padrões distintos de distribuição de massas de água. Dois domínios com características físicas diferentes foram identificados sobre a plataforma continental: um interior e costeiro, e outro exterior, separados por uma zona frontal bem definida pelo campo de temperatura para o inverno. O domínio interior tem, durante o verão, uma estratificação de massa em duas camadas, determinada principalmente pelo desenvolvimento da termoclina sazonal nesta época do ano, enquanto que no inverno a estratificação dessa região é bem mais homogênea. No verão a camada superficial (profundidades menores do que 20 m) de toda a região é ocupada basicamente pela Água Costeira (AC), que se mistura com a Água Tropical (AT) mais ao largo; nesta época do ano observa-se, na camada subsuperficial, predominância da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), cuja mistura vertical com a AC é somente observada nas proximidades da costa. No inverno a ACAS não penetra muito sobre a plataforma continental, e na camada superficial ocorre uma intrusão acentuada de AT no domínio exterior, sendo o domínio interior ocupado principalmente pela AC, a qual interage com a ACAS apenas na zona frontal que delimita a região de ocorrência dessas massas de água. Com base nesses padrões de distribuição de massas de água e do campo de massas, bem como nas condições meteorológicas de região vizinha, é sugerido um modelo de circulação cuja dinâmica é controlada pelo vento e pela ação da Corrente do Brasil. Essa ação da Corrente do Brasil sobre o domínio exterior é, provavelmente, responsável pela presença dos vórtices com características de vórtices frontais observados nas duas épocas

do ano. Esses vórtices, cuja extensão horizontal nas profundidades de 25 e 50 m é bem definida nas estruturas térmica e halina, têm provavelmente um importante papel na troca de massas de água entre a costa e o talude, contribuindo para o enriquecimento das águas da plataforma continental através dos movimentos ascendentes que ocorrem em seu núcleo.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado graças ao convênio número 070/025/85, firmado entre a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Agradecemos também a colaboração ativa de Olga Tiemi Sato, estagiária do convênio, e de Jarbas Bonetti Filho, bolsista da FAPESP (processo 86/2326-1).

Referências bibliográficas

- CASTRO FILHO, B. M. 1985. Subtidal response to wind forcing in the South Brazil Bight during winter. Ph.D dissertation. RSMAS, University of Miami. 211p.
- COACHMAN, L. K. 1985. Circulation, water masses, and fluxes on the southeastern Bering Sea shelf. *Continent. Shelf Res.*, 5(1-2):23-108.
- CSANADY, G. T. 1974. Barotropic currents over the continental shelf. *J. geophys. Res.*, 4:357-371.
- _____ 1982. Circulation in the coastal ocean. Dordrecht, D. Reidel. 279p.
- EMÍLSSON, I. 1956. Relatório e resultados físico-químicos de três cruzeiros oceanográficos em 1956. *Contrções Inst. oceanogr., Univ. S Pauló, sér. Oceanogr. fís.*, (1):1-70.
- _____ 1959. Alguns aspectos físicos e químicos das águas marinhas brasileiras. *Ciênc. Cult.*, S Paulo, 11(2):44-54.
- _____ 1961. The shelf and coastal waters of Southern Brazil. *Bolm Inst. oceanogr., S Paulo*, 11(2): 101-112.

- IOUSP. 1987. Relatório do 1º ano de atividades do Projeto Utilização Racional do Ecossistema Costeiro da Região Tropical Brasileira: Estado de São Paulo. IOUSP/CIRM.
- LEE, T. N. & ATKINSON, L. P. 1983. Low-frequency current and temperature variability from Gulf Stream frontal eddies and atmospheric forcing along the Southeast U.S. outer continental shelf. *J. geophys. Res.*, 88:4541-4568.
- MATSUURA, Y. 1986. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Ciênc. Cult.*, S Paulo, 38(8):1439-1450.
- MIRANDA, L. B. de 1982. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP). Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 123p. + figs.
- SILVA, J. F. 1984. Dados climatológicos de Cananéia e Ubatuba (Estado de São Paulo). *Bolm climatol. Inst. oceanogr.*, S Paulo, (5):1-18.
- UNESCO. 1981a. Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978. *Unesco tech. Pap. mar. Sci.*, (37):1-144.
- 1981b. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater 1980. *Unesco tech. Pap. mar. Sci.*, (38):1-192.
- YOSHIDA, K. 1967. Circulation in the eastern tropical oceans with special reference to upwelling and undercurrents. *Japan. J. Geophys.*, 4:1-75.

(Recebido em 11-12-87;
aceito em 28-12-87)