

## ESTUDO NUMÉRICO DA CIRCULAÇÃO E DA ESTRUTURA TERMOHALINA NA REGIÃO ADJACENTE À ILHA DE SÃO SEBASTIÃO (SP)

Lourval dos Santos Silva<sup>1</sup>, Luiz Bruner de Miranda<sup>2</sup> e Belmiro Mendes de Castro Filho<sup>2</sup>

Recebido em 14 setembro, 2004 / Aceito em 4 novembro, 2004  
Received September 14, 2004 / Accepted November 4, 2004

**ABSTRACT.** The Princeton Ocean Model was applied to the inner shelf adjacent to the São Sebastião Island (SSI) by nesting two numerical grids to study the seasonal changes in the circulation and thermohaline structure. Through monthly average conditions, the numerical model simulated reasonably well the typical conditions of spring, summer, autumn and winter. The bottom of the inner shelf was filled with South Atlantic Central Water mass (SACW) in the two previously mentioned seasons (spring and summer), being advected to the SSC through its southern entrance, and stronger signs of Tropical Water mass (TW) were found in the upper layers. Weaker signs of the SACW appeared in the autumn but, in the remaining seasons, this water mass was not found and thermohaline properties of the Coastal Water (AC) mass were predominant.

**Keywords:** Numerical modelling, thermohaline structure, water mass, currents, cold front.

**RESUMO.** O *Princeton Ocean Model* foi utilizado à região da plataforma continental adjacente à Ilha de São Sebastião (ISS) através do aninhamento de duas grades numéricas para estudar as variações sazonais de sua circulação e estrutura termohalina. Em condições médias mensais, o modelo representou razoavelmente bem as condições típicas de primavera, verão, outono e inverno. As camadas mais profundas da plataforma continental interna foram preenchidas com a massa de Água Central do Atlântico Sul (ACAS), penetrando no CSS pela entrada sul, nas duas primeiras épocas sazonais (primavera e verão) e fortes sinais da massa de Água Tropical (AT) foram observados nas camadas sobrejacentes à termoclina. Nas demais estações essa massa de água não foi encontrada no canal, porém, sinais mais fracos da ACAS foram observados no outono e nas demais épocas sazonais essa massa de água não foi encontrada, predominando características termohalinas da massa de Água Costeira (AC).

**Palavras-chave:** Modelagem numérica, estrutura termohalina, massas de água, frente fria.

---

<sup>1</sup>Centro Universitário Lusiada, Rua Baptista Pereira, 265, CEP: 11015-100 Santos, SP, Brasil – Tel: (13) 3561-3152 – E-mails: lourval@hotmail.com ou lourval@uol.com.br

<sup>2</sup>Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Caixa Postal 66149, CEP: 05315-970 São Paulo, SP, Brasil – Tel: (11) 3091-6598 – E-mails: miranda@io.usp.br; bmcastro@usp.br

## INTRODUÇÃO

A região denominada Margem Continental Sudeste do Brasil situa-se entre as latitudes de 19° e 34°S (Fig. 1). A orientação predominante da linha de costa é NE-SW, com exceção das regiões localizadas ao sul de Cabo Frio (23°S), onde a orientação geral é E-W, e ao norte do Cabo de Santa Marta (28°40'S), onde a orientação é N-S; esses acidentes geográficos delimitam a Margem Continental Sudeste brasileira (MCSE). Com comprimento de aproximadamente 1.000 km sua parte mais larga, cerca de 230 km, está localizada ao largo de Santos e a mais estreita, nas proximidades dos cabos Frio e de Santa Marta, com 50 km e 70 km, respectivamente. A profundidade da quebra da plataforma varia entre 120 m e 180 m e a área total da MCSE está ao redor de 150.000 km<sup>2</sup> (Zembruski, 1979).

A região costeira adjacente à Ilha de São Sebastião (ISS) (Fig. 2) e o Canal de São Sebastião (CSS) (Fig. 3) estão localizados na parte central da MCSE, região esta denominada Embaiamento de São Paulo (Zembruski, op. cit.). Ela se caracteriza pela proximidade da Corrente do Brasil, que flui ao longo do talude continental, transportando massas de água de origens distintas: a massa de Água Tropical (AT) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS). A influência da AT é predominante na camada de superfície e nas camadas mais profundas a ACAS contribui com um volume superior a 50% do volume total da água da plataforma continental para a formação das massas de água a leste da Ilha de São Sebastião (Miranda, 1982; Castro, 1996). Da mistura não isopícnica da AT e da ACAS com massas de água com influência continental ocorre a geração da massa de água costeira (AC) (Miranda, 1982; Castro, 1996).

Os primeiros modelos numéricos da circulação gerada pelo vento na Plataforma Continental Sudeste (PCSE) foram desenvolvidos por Harari (1985) e Castro (1985). Nesse último trabalho, o autor desenvolveu um modelo numérico hidrodinâmico barotrópico e hierarquizado na forma de ninhos com três grades, sendo que a de maior resolução foi localizada no CSS. Ficou demonstrado que a circulação no canal para o norte em condições de inverno, quando a coluna de água apresenta-se pouco estratificada, é uma manifestação local de movimento de escala espacial muito maior, predominantemente gerada pelo vento.

A região entre Ubatuba e a Ilha de São Sebastião (ISS) foi pesquisada com amostragens quase-sinóticas em períodos de verão e de inverno, entre os anos de 1985 e 1988. Os resultados da análise dos dados para o verão e o inverno (Castro et al., 1987) mostraram padrões distintos de distribuição de massas de água em dois domínios (interior e costeiro, e exterior), separados

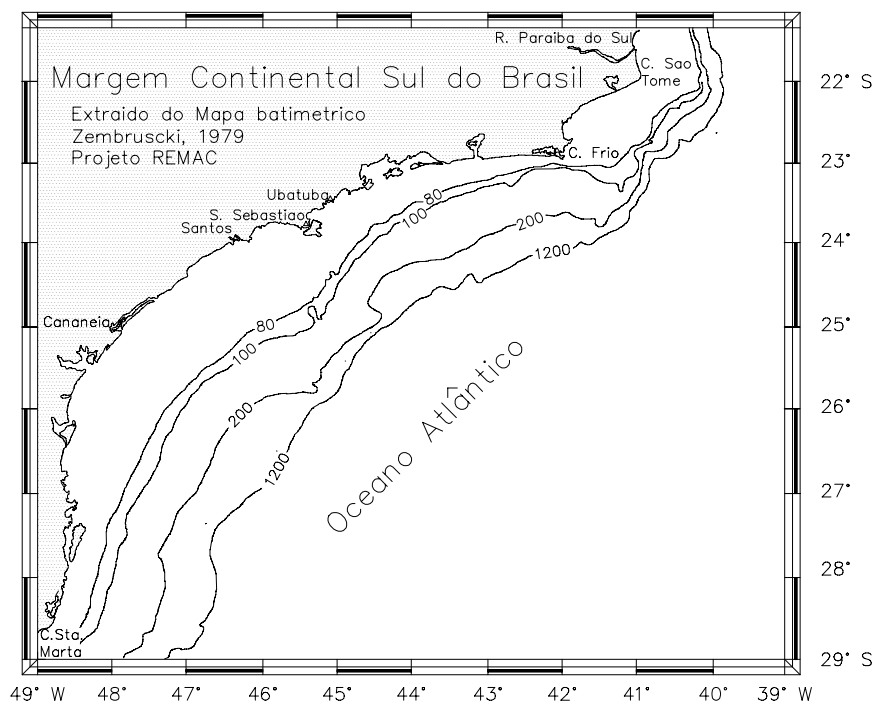
por uma zona frontal térmica bem definida no inverno. Durante o verão o domínio interior tem uma estratificação de massa em duas camadas, gerada pelo desenvolvimento da termoclina sazonal que se intensifica devido à intrusão da ACAS em direção à costa nas camadas sub-superficiais. No inverno, a sua estrutura térmica tende a uma quase homogeneidade vertical.

Castro (1996), analisando dados de vários cruzeiros oceanográficos e de fundeios de correntógrafos, identificou na Plataforma Continental Norte de São Paulo (PCNSP), três regiões com características diferentes: Plataforma Continental Interna (PCI), Plataforma Continental Média (PCM) e Plataforma Continental Externa (PCE). O autor destaca que essas três regiões são separadas por duas frentes: a Frente Halina Superficial (FHS) entre a PCM e a PCE e a Frente Térmica Profunda (FTP) que separa a PCI e a PCM. Segundo esse autor, a intrusão da ACAS na PCM é sazonal, ocorrendo principalmente no verão, mas essa massa de água está presente durante todo o ano na PCE.

Os dados analisados por Silva (1995a) e Silva et al. (2001), de seis cruzeiros hidrográficos coletados no período entre fevereiro de 1994 e março de 1995, confirmam a homogeneidade das águas do Canal de São Sebastião durante os meses de inverno e sugerem a intrusão da ACAS na entrada sul do canal em meses de verão, quando ocorrem predominantemente ventos de nordeste. Movimentos bidirecionais do componente longitudinal da velocidade da corrente no verão foram observados no trabalho de Miranda & Castro (1995), em seções transversais ao longo do CSS; essa característica do movimento, bem evidenciada quando o movimento da camada de superfície é para o sul e associada à intrusão da ACAS, apresentou profundidades de movimento nulo variando de 14 m a 18 m na parte mais estreita do canal.

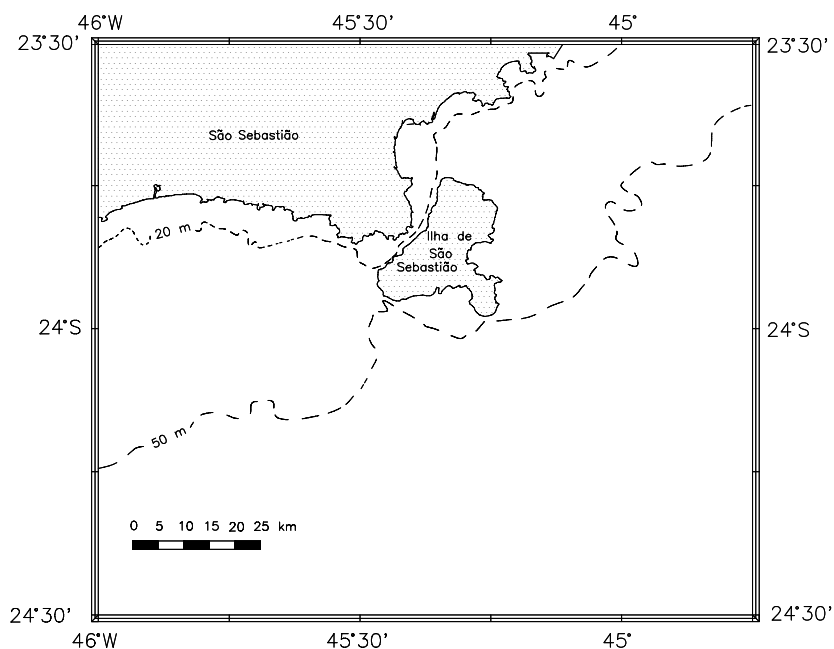
Coelho (1997) analisou dados coletados de 16 cruzeiros oceanográficos no CSS e 4 cruzeiros na Plataforma Continental adjacente à ISS entre 1992 e 1993. O autor destaca o domínio da massa de água Água Costeira (AC) no CSS no outono, inverno e início de primavera e também a intrusão da ACAS pelo fundo na entrada sul do CSS no verão e fim de primavera; essa massa de água move-se para NE nas camadas mais profundas do canal, enquanto que a Água Costeira flui para SW na superfície, gerando movimentos bidirecionais observado com base em medidas de corrente por Miranda & Castro (1995).

Rezende (2003) implementou o Princeton Ocean Model, adaptando-o à Plataforma Continental Sudeste. O objetivo do autor foi estudar as intrusões da ACAS na região de estudo. Um resultado importante deste trabalho foi a constatação de que um vento de NE uniforme e impulsivo de 8 horas é suficiente para reverter o padrão de circulação na Plataforma Continental Interna,



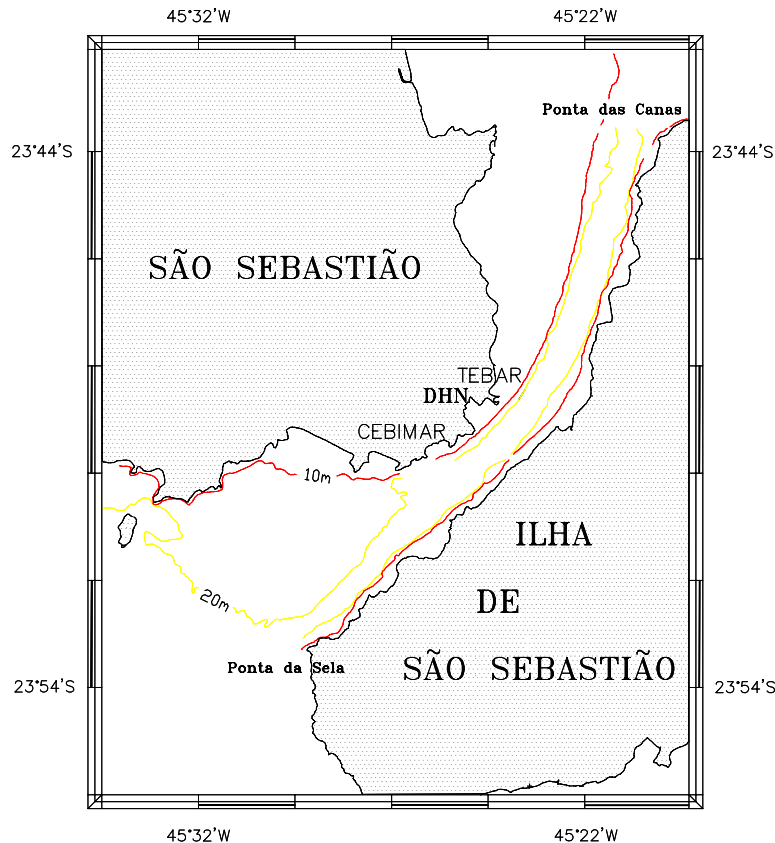
**Figura 1** – A Plataforma Continental Sudeste.

**Figure 1** – *The Southeast Continental Shelf.*



**Figura 2** – A Região Costeira Adjacente ao Canal de São Sebastião.

**Figure 2** – *São Sebastião Channel neighboring coastal region.*



**Figura 3** – O Canal de São Sebastião.  
**Figure 3** – The São Sebastião Channel.

impondo-lhe um escoamento para sul.

Amor (2004), com o objetivo de estudar a dinâmica das intrusões da ACAS na região da plataforma compreendida entre a ISS e o Cabo de São Tomé, utilizou-se do Princeton Ocean Model, em sua versão bidimensional (plano x-z), efetuando um conjunto de simulações, procurando identificar os mecanismos físicos que participam do processo de intrusão daquela massa de água. Entre os vários resultados deste trabalho, o autor destaca que a radial em frente a Cabo Frio apresenta uma inércia maior à inversão da circulação durante a passagem das frentes frias em relação aos outros setores estudados.

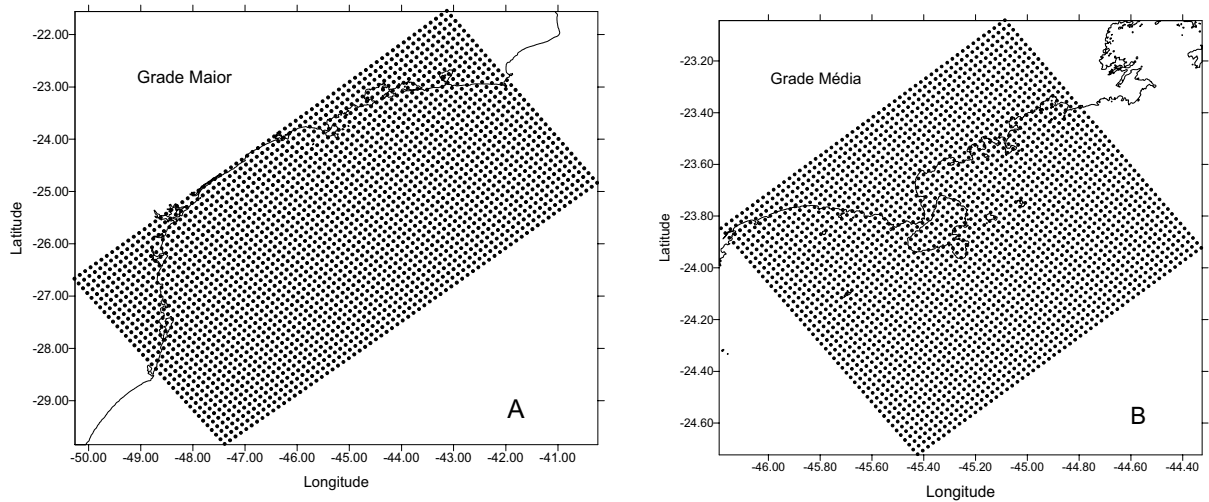
**METODOLOGIA E OBJETIVOS**

O modelo utilizado neste trabalho foi desenvolvido por George L. Mellor em 1975 e vem sendo constantemente refinado e atualizado de modo a incluir melhores representações dos processos físicos e maior robustez numérica dos modos barotrópico e baroclínico. Uma descrição prévia desse modelo de circulação

costeira e estuarina, tridimensional e não estacionário pode ser obtida em Blumberg & Mellor (1987).

A escolha do modelo, que vem sendo amplamente utilizado por diferentes grupos de pesquisa no Brasil, permite resolver a topografia e a linha de costa de maneira bastante realística. Sendo assim, utilizando-se um sistema semelhante de aninhamento de grades ao utilizado por Castro (1985), optou-se pela escolha de uma grade maior ao largo da região em estudo e uma sub-grade interior para permitir a resolução espacial adequada dos fenômenos a serem estudados na plataforma continental adjacente.

Para modelar a PCI, a exemplo do trabalho de Castro (op. cit.), a PCSE foi forçada pelo vento e pela distribuição de massa para obtermos as condições de contorno para a grade intermediária e esta, por sua vez, para gerar as condições de contorno da grade de maior resolução do canal. O aninhamento de grades tem dois níveis de resolução: o maior, com malhas de 13.200 × 13.200 m, estendendo-se de Cabo Frio ao Cabo de



**Figura 4** – As Grades Maior (A) e Menor (B).

**Figure 4** – *Low resolution grid (A) and high resolution grid (B).*

Santa Marta e o menor com malhas de  $2.640 \times 2.640$  m envolvendo a região do CSS desde Parati, ao norte, até Santos ao sul. O total de pontos das grades maior e menor é de 2.520, 2.640, respectivamente. Essas grades (Fig. 4 A,B) possuem uma inclinação de  $51^\circ$  em relação ao norte geográfico; essa rotação do eixo Oy do sistema cartesiano ortogonal Oxyz, ao qual os movimentos são referenciados, além de diminuir o tempo computacional (pois possui menor número de pontos de grade do que uma grade de orientação norte – sul, que envolva a mesma região), tem seu componente  $v$  da velocidade das correntes aproximadamente ao longo da costa e o componente  $u$  (segundo o eixo Ox) perpendicular à costa.

Na PCSE, os dados termohalinos que forçam o modelo numérico em modo baroclínico, vêm do Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE), o qual conta com uma base de dados coletada ao longo da costa brasileira desde o Ano Geofísico Internacional (1957) até o ano de 2000. Esses dados, após tratamento adequado, geraram a climatologia das águas da plataforma continental sudeste com resolução espacial de aproximadamente  $1^\circ \times 1^\circ$  de latitude e longitude. O tratamento desses dados foi efetuado pelo M. Sc. Lúcio Figueiredo de Rezende que consistiu basicamente das seguintes fases:

- (a) identificação e eliminação de dados espúrios através da análise do diagrama T-S espalhado;
- (b) separação dos dados por faixas de níveis de observação (para obter seções horizontais representativas das diver-

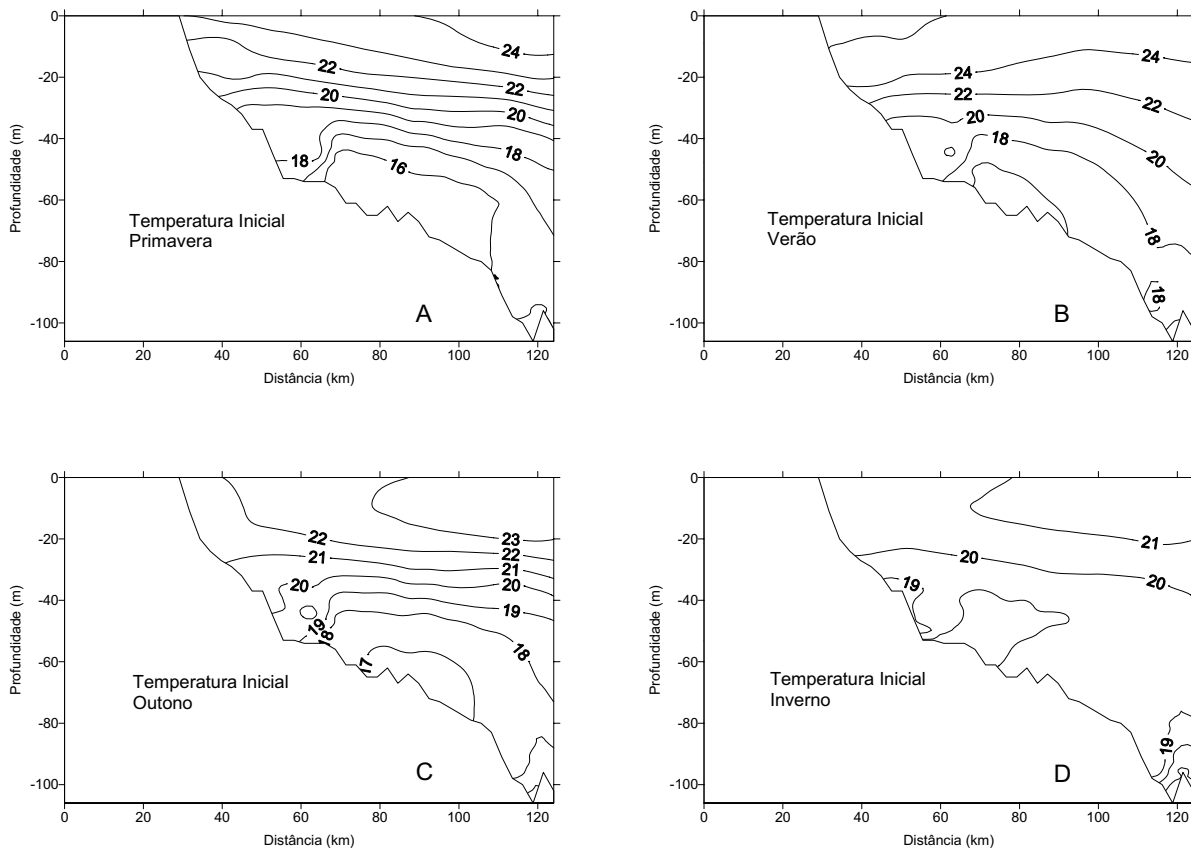
sas profundidades), por faixas de retas perpendiculares à costa e por faixa de isobatimétricas (que levam em consideração a profundidade local das estações);

- (c) obtenção das médias e desvios padrão dos dados para cada um desses subconjuntos.

Para a utilização dessa base de dados termohalinos e torná-los adequados para forçar o modo baroclínico do modelo, foi ainda necessário fazer interpolações na dimensão horizontal (plano Oxy) em profundidades (eixo Oz), utilizando-se o método 'kriging', para todos os pontos das grades aninhadas. Em seguida esses dados foram interpolados verticalmente através do método 'cubic spline' em um sistema de coordenadas Sigma com 11 níveis, utilizadas pelo POM. Estes níveis têm uma distribuição logarítmica na superfície e no fundo, permitindo maior resolução, e uma distribuição linear no restante da coluna de água. Os perfis verticais desses dados em uma seção ao sul do CSS, na PCI, são mostrados nas Figuras 5 e 6. Foram também utilizados dados termohalinos do projeto Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião (Opiss), amostrados em dois cruzeiros oceanográficos realizados ao largo da ISS em fevereiro de 1994 e em outubro de 1997, cujos resultados foram discutidos por Silva et al. (2001).

Além dos dados termohalinos, o modelo também foi forçado com dados que representam médias mensais de fluxos de calor e de sal, radiação de ondas curtas e tensão de cisalhamento do vento (TCV). Esses dados foram obtidos de COADS (Comprehensive Ocean-Atmospheric Data Set).

A condição de contorno escolhida para a grade maior foi a



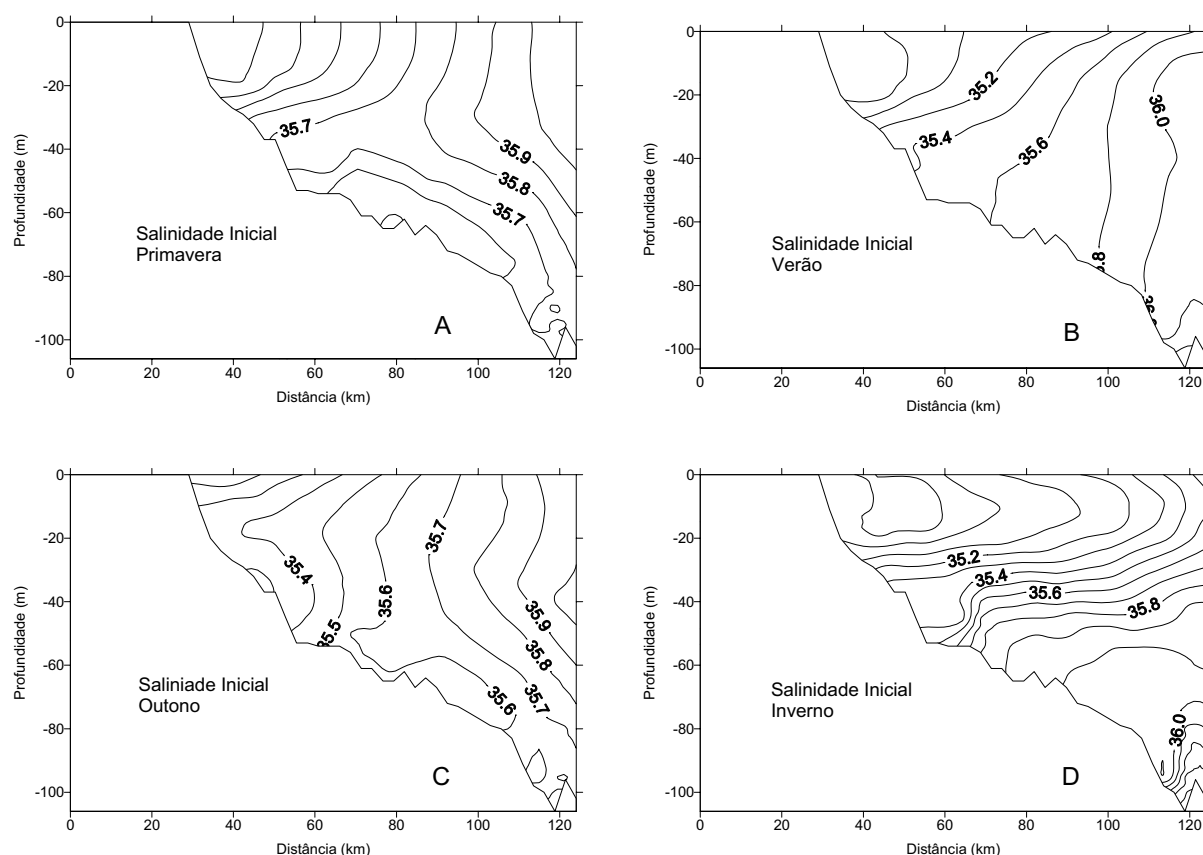
**Figura 5** – Distribuição vertical do campo de temperatura inicial na Plataforma Continental Interna em uma seção ao sul do Canal de São Sebastião, representativo das estações da primavera (A), verão (B), outono (C) e inverno (D).

**Figure 5** – Initial temperature field cross-shore section at the south of São Sebastião Channel in the inner continental shelf, relative to Spring (A), Summer (B), Autumn (C) and Winter (D) seasons.

forma implícita da condição radiativa de Orlanski (1976), que é um esquema centrado no tempo e avançado no espaço, em conjunto com uma técnica de relaxação na região estendida da grade. Esta técnica de relaxação foi implementada originalmente por Martinsen e Engedhal (1987) como uma condição de contorno aberta utilizando um modelo linear de águas rasas. A avaliação da performance destas condições de contorno pode ser vista em Chapman (1985) e Palma & Matano (1998). Estas condições de contorno foram usadas para o nível do mar e as componentes de velocidade paralelas aos contornos. Entretanto, para as componentes de velocidade perpendiculares ao contorno foi utilizada uma condição não gradiente. Os dados gerados pela grade maior são armazenados nos contornos da grade média, interpolados no tempo e no espaço e após o experimento esta, por sua vez, armazena os dados nos contornos da grade menor, gerando a condição de contorno ativa nas grades interiores. Durante o processamento deste mo-

delo, os dados armazenados nos contornos das grades interiores foram: o nível do mar, as componentes de velocidade da corrente (tanto aquelas tomadas como média vertical, assim como aquelas dentro de cada camada sigma), a temperatura e a salinidade.

Os índices termohalinos das massas de água AT e da ACAS não apresentam variações sazonais significativas na borda da plataforma continental, como demonstrado no trabalho de Silva (1995b). Sendo assim, os índices termohalinos dessas massas de água adotados neste trabalho, para o cálculo de percentuais de contribuição de massas de água com as estruturas termohalinas simuladas, foram aqueles também adotados por Coelho (1997) através da análise do diagrama T-S espalhado de 16 cruzeiros oceanográficos na PCI e no CSS. Esses índices termohalinos são (13, 2°C, 35, 27) para a ACAS e (24, 11°C, 37, 18) para a AT. Estes índices são muito próximos aos obtidos por Silva (1995b) e Castro (1996). O índice termohalino da massa de água AC foi



**Figura 6** – Distribuição vertical do campo de salinidade inicial na Plataforma Continental Interna em uma seção ao sul do Canal de São Sebastião, representativo das estações da primavera (A), verão (B), outono (C) e inverno (D).

**Figure 6** – *Initial salinity field cross-shore section at the south of São Sebastião Channel in the inner continental shelf, relative to Spring (A), Summer (B), Autumn (C) and Winter (D) seasons.*

obtido através do diagrama T-S espalhado após cada experimento, identificando na curva os pontos com maior temperatura associados às menores salinidades. De acordo com a prática usual da análise de massas de água, será adotado o critério de 50% como sendo o valor mínimo para o reconhecimento da predominância de uma massa de água.

Com dados médios de temperatura e salinidade para cada estação, dados médios mensais de fluxos de calor e de sal, radiação de ondas curtas e de tensão de cisalhamento do vento, foram realizadas simulações em modo prognóstico durante 30 dias para os meses de novembro, de fevereiro, de maio e de agosto que julgamos representativos para as épocas sazonais da primavera, do verão, do outono e do inverno, respectivamente.

Os resultados da análise e interpretação de dados observacionais de trabalhos citados acima, indicam a ocorrência de fenômenos relacionados à intrusão da massa de água ACAS na

plataforma continental e no CSS e a ocorrência de movimentos bidirecionais com sentidos norte e sul nas camadas mais profundas e superficiais, respectivamente. Esse fenômeno tem sido observado principalmente sob a ação de ventos prevaletentes de NE no verão, quando essa massa de água encontra-se mais próxima da costa. O objetivo deste trabalho é demonstrar a possibilidade da utilização do modelo numérico POM para a simulação do campo das propriedades termohalinas e da circulação do CSS sob a ação da tensão de cisalhamento do vento, do efeito baroclínico à estrutura de massa da região costeira adjacente e dos processos de troca de calor, massa e radiação na superfície do mar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Primavera

O nível do mar ao norte apresenta-se mais baixo nas proximidades da costa, elevando-se de  $-0,21$  m a  $-0,15$  m ao largo

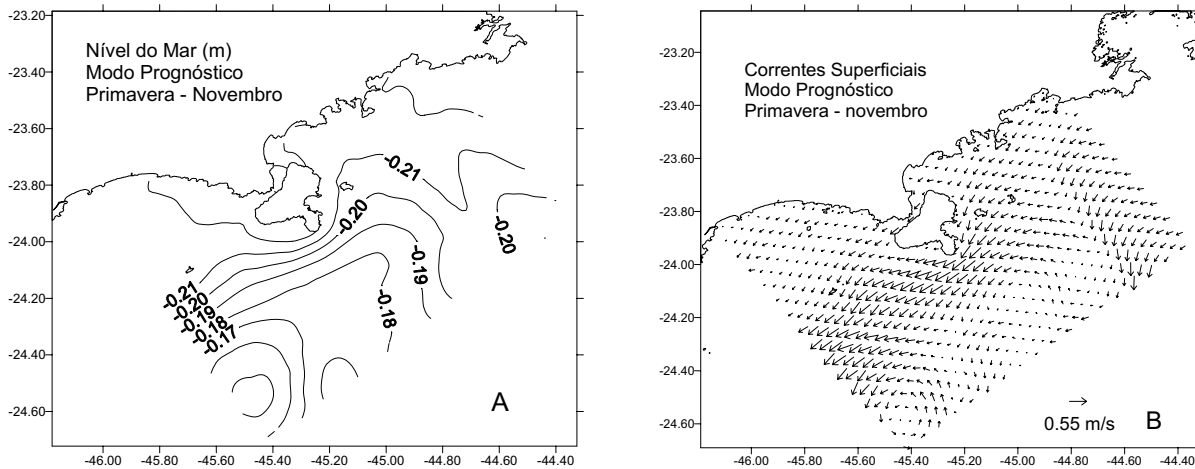


Figura 7 – Nível do Mar (A) e Correntes superficiais (B) na PCI. Simulação de primavera – novembro.

Figure 7 – Sea level (A), superficial currents (B) in the inner continental shelf. Spring numerical simulation – November.

(Fig. 7A). Os gradientes dessa declividade são mais acentuados ao sul da ISS. Percebemos continuidade hidrodinâmica entre as grades se compararmos esta figura com a correspondente na PCSE (Silva, 2001).

As correntes superficiais se intensificam quando contornam a parte leste da ISS, atingindo intensidades próximas a  $0,55 \text{ m s}^{-1}$ , ocorrendo também uma intensificação no norte do domínio (Fig. 7B). As correntes são preponderantemente para sudoeste e fluindo aproximadamente ao longo das isolinhas de nível do mar. Percebe-se também uma região de sombra a sudoeste da ISS.

As temperaturas na PCI (Fig. 8A) variam entre  $17^\circ\text{C}$  no norte até  $22,5^\circ\text{C}$  ao sul (Fig. 8A). Uma forte variação de temperatura se estabelece ao sul da ISS paralelamente à costa acompanhada de forte gradiente horizontal de salinidade (Fig. 8B); as salinidades na PCI variam entre 35,5 na costa até 36,0 mais ao largo. O mesmo se observa ao examinarmos a distribuição horizontal superficial de densidade (Fig. 8C). O máximo de densidade encontra-se ao norte ( $26 \text{ kg.m}^{-3}$  em unidades de Sigma-t) e o mínimo de ( $24,6 \text{ kg.m}^{-3}$ , em unidades de Sigma-t).

A distribuição horizontal superficial de percentuais de massas de água (Fig. 9 A,B,C) mostra que a superfície é praticamente toda ocupada pela AC, predominando a ocorrência de percentuais superiores a 50%, a não ser por uma região pequena no norte onde encontramos vestígios da ACAS. Os percentuais inferiores ou iguais a 30% observados na Fig. 9C indicam a ausência da AT nesta época do ano.

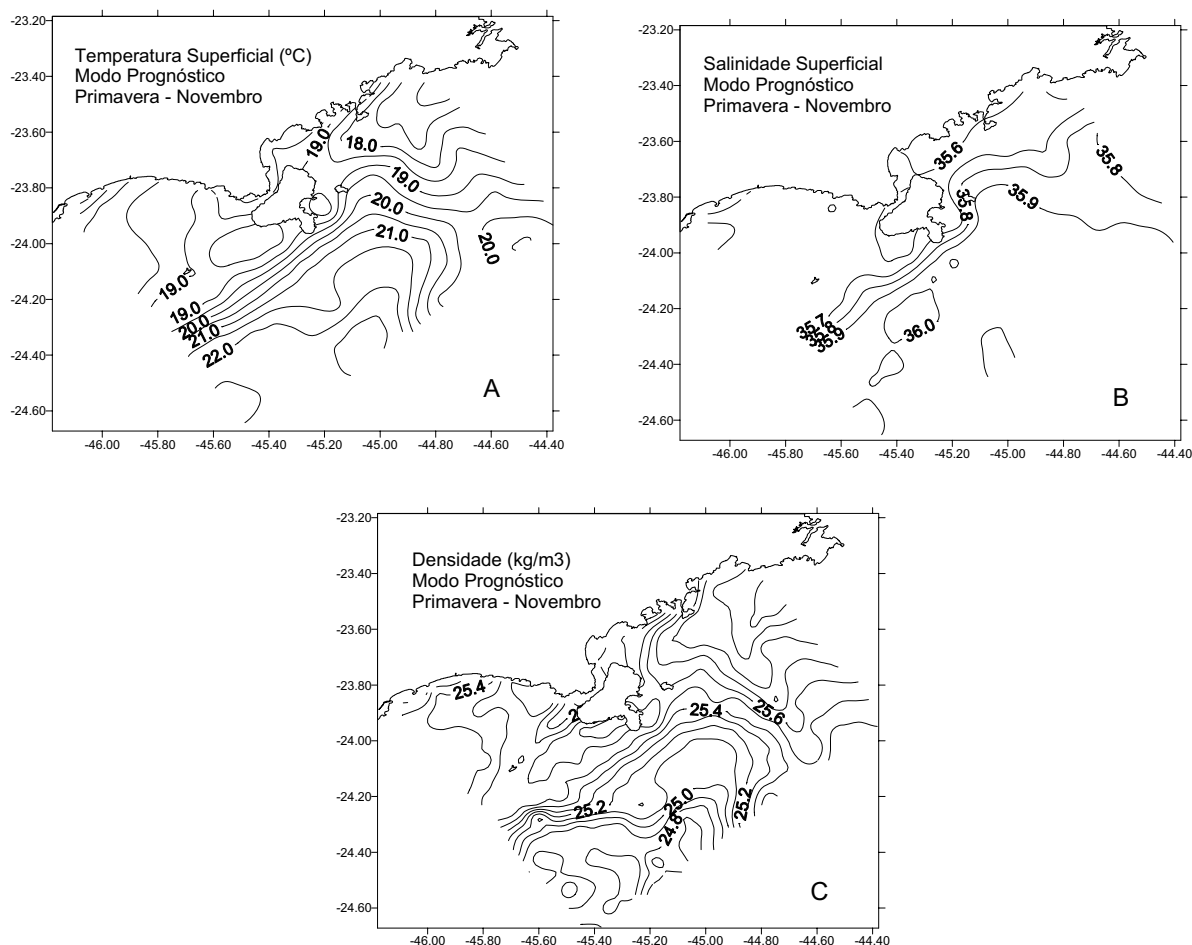
As seções verticais das propriedades hidrográficas temperatura, salinidade e densidade, na seção localizada ao sul da ISS,

são apresentadas na Fig. 10 A,B,C. Uma frente térmica superficial (FTS) é observada a aproximadamente 50-60 km da costa e as isothermas menores do que  $18^\circ\text{C}$  indicam a ocorrência de um núcleo subsuperficial de baixa temperatura. Uma frente halina superficial (FHS) também é observada aproximadamente no local de ocorrência da frente térmica; ao largo desta frente, observa-se um núcleo subsuperficial de massa de água com salinidades maiores do que 36 que, associadas a temperaturas superiores a  $18^\circ\text{C}$ , indicam a presença da AT. Frentes halinas e núcleos subsuperficiais de massas de água AT são feições observadas experimentalmente com base em dados hidrográficos coletados a nordeste da ISS em trabalhos como, por exemplo, Miranda (1982) e Castro (1996). O campo de densidade tem configuração bastante semelhante ao da temperatura apresentando os valores mínimo e máximo na superfície e fundo iguais a  $24,8 \text{ kg.m}^{-3}$  e  $26,8 \text{ kg.m}^{-3}$  (em unidade de Sigma-t), respectivamente, indicando uma estrutura de massa com estabilidade vertical estável.

Os perfis verticais dos percentuais de massas de água (Fig. 11 A,B,C) mostram que a AC ocupa os primeiros metros da coluna de água até cerca de 20 km da costa aprofundando-se para o largo. Nesses primeiros 20 km da costa a AC delimita-se com a ACAS no fundo. Ao núcleo de alta salinidade observada na Fig. 10B está associado o percentual de apenas 35% de AT.

Nos perfis verticais das componentes de velocidade paralela ( $v$ ) e perpendicular ( $u$ ) à costa (Fig. 12 A,B) confirma-se a intensificação das correntes ao redor da ISS onde observamos nas proximidades do lado leste da ISS a ocorrência de núcleos com velocidade próximas a  $-0,40 \text{ m.s}^{-1}$  (fluindo para o sul)





**Figura 8** – Distribuição horizontal superficial da temperatura (A), da salinidade (B) e da densidade convencional (C) na PCI. Simulação de primavera – novembro.  
**Figure 8** – Horizontal variation of superficial temperature (A), superficial salinity (B) and superficial density (C) in the inner continental shelf. Spring numerical simulation – November.

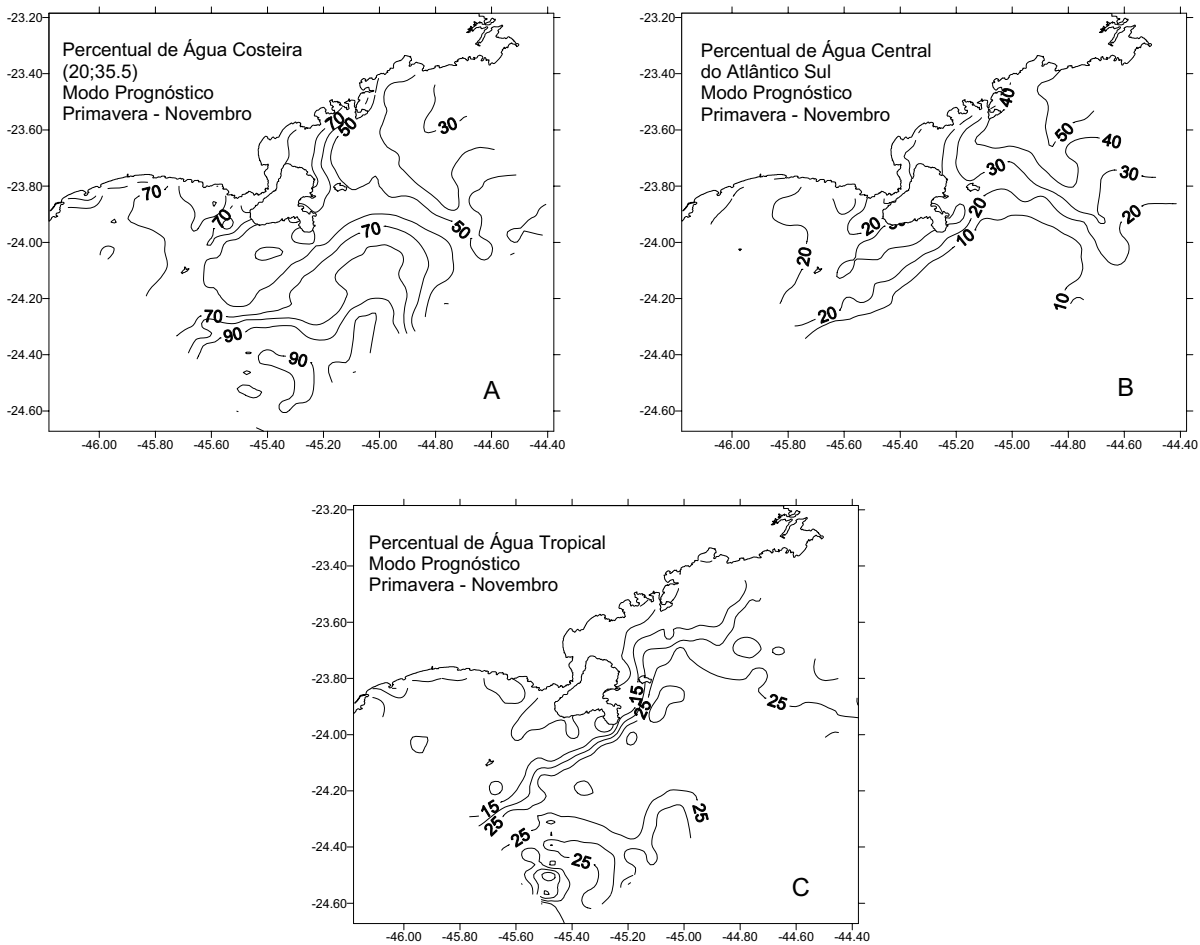
e a presença de contra correntes sub-superficiais ao largo, com velocidades máximas de  $0,10 \text{ m.s}^{-1}$ , delimitadas por níveis de movimento nulo. A estrutura vertical da componente transversal de velocidade ( $u$ ) é bastante complexa (Fig. 12 B) apresentando regiões de convergência e divergência, com intensidades máximas em direção ao largo de  $-0,14 \text{ m.s}^{-1}$ .

**Verão**

O nível do mar (Fig. 13A), que tem total continuidade com o nível do mar na PCSE (Silva, 2001), varia entre  $-0,18 \text{ m}$  ao largo da região sul, até  $-0,28 \text{ m}$  nas proximidades da costa, com gradientes mais intensos a SW da ISS. A estrutura concêntrica das isolinhas do nível do mar na borda oceânica da região pode ser um indicador da formação de vórtices na região de cisalhamento

ciclônico da Corrente do Brasil, talvez gerados topograficamente devidos aos gradientes isobatimétricos dessa região que chegam à cerca de  $8,5 \text{ m.km}^{-1}$ . As correntes superficiais (Fig. 13B), fluem preponderantemente para sudoeste ao longo das isolinhas de nível do mar sendo mais intensas (cerca de  $0,60 \text{ m.s}^{-1}$ ) onde os gradientes desta propriedade são maiores com destaque para o contorno SE da ISS. Vórtices ciclônicos surgem em torno das depressões do nível do mar sendo mais intenso aquele encontrado ao sul.

Analisando-se as seções horizontais de temperatura na superfície (Fig. 14 A), observa-se um mínimo de temperatura ( $20^\circ\text{C}$ ) a NE da ISS, o qual projeta-se através de uma língua de baixas temperaturas para SW, sugerindo a influência remota do fenômeno da ressurgência costeira cuja ocorrência tem sido observada ao largo de Cabo Frio (RJ). Valores de temperatura relati-



**Figura 9** – Distribuição horizontal superficial dos percentuais das massas de Água Costeira (A), Água Central do Atlântico Sul (B) e da Água Tropical (C) na PCI. Simulação de primavera – novembro.

**Figure 9** – Horizontal variation of superficial percentages of Coastal water (A), South Atlantic Central water (B) and Tropical water (C) in the inner continental shelf. Spring numerical simulation – November.

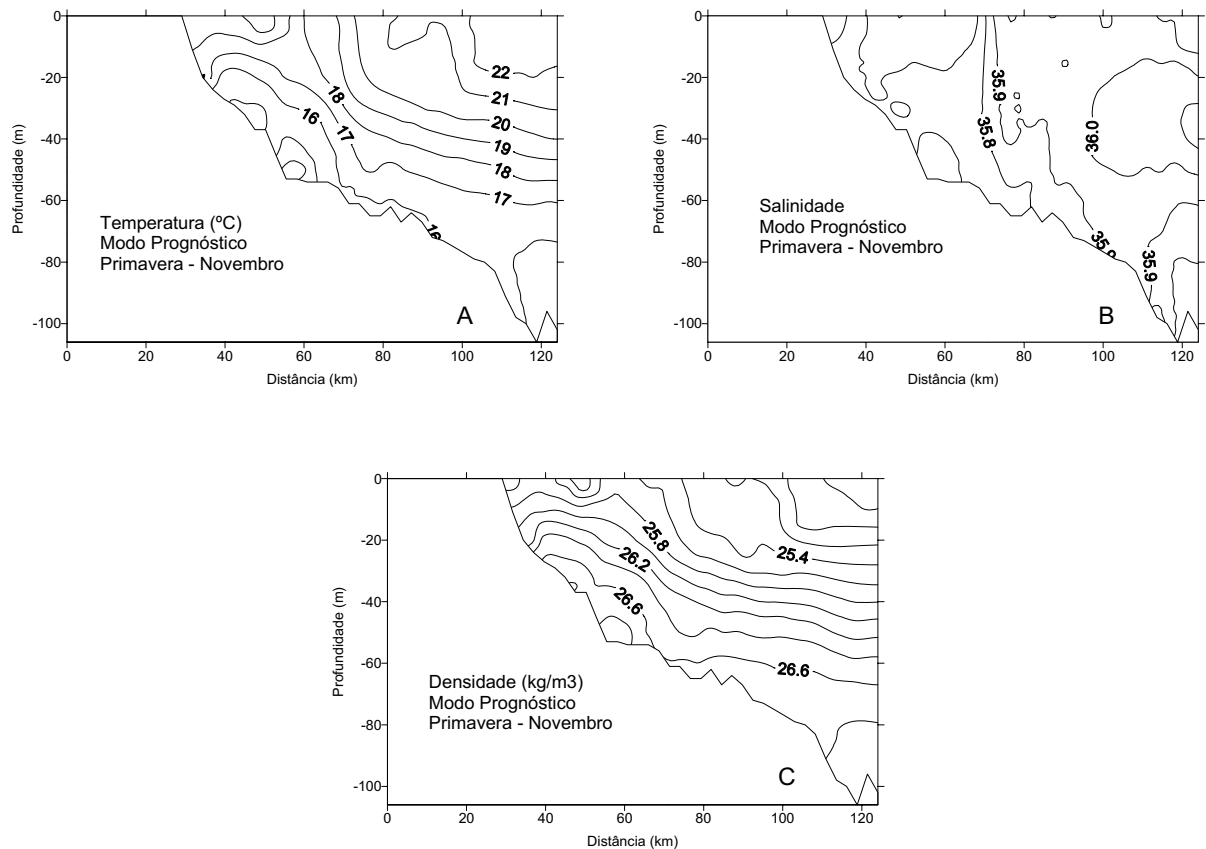
vamente altos (28°C) e que são característicos para esta época do ano são observados ao largo. Esta estrutura térmica também foi observada na região da PCSE (Silva, 2001). O campo de salinidade (Fig. 14B) apresenta-se pouco estratificado com as menores salinidades ao norte (35,4) e as maiores salinidades (35,7) localizadas a sudeste da ISS.

Uma forte frente térmica se observa no sul do domínio. Esta frente fica caracterizada também quando observamos as isopicnais (Fig. 14C) e sua ocorrência também foi observada na mesma região na primavera (Fig. 8). O meandramento de isotermas e isopicnais na borda da região associam-se ao das isolinhas de nível do mar. Meandramento de isotermas, isohalinas e isopicnais também foram encontrados por Coelho (1997) em diversos cruzeiros oceanográficos na mesma região e sobre a mesma isóbata,

sendo que no cruzeiro de dezembro de 1992, esses núcleos de temperatura e salinidade tinham gradientes positivos em direção ao centro.

As seções horizontais de percentuais de massas de água (Fig. 15 A,B,C) na superfícies mostram que a AC domina toda região com percentuais superiores a 50%, com exceção do extremo norte onde há sinais da ACAS.

As seções verticais das propriedades hidrográficas temperatura, salinidade e densidade convencional (Fig. 16 A,B,C) mostram estruturas relativamente uniformes e confirmam a ocorrência da FTS a cerca de 60-70 km da costa. Um núcleo de alta salinidade (36.0) é observado em sub-superfície a cerca de 30 m de profundidade. Fica claro nesta figura a ocorrência de uma frente térmica no fundo (FTP), onde a temperatura varia entre 1.6°C no



**Figura 10** – Distribuição vertical da temperatura (A), da salinidade (B) e da densidade convencional (C) na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de primavera – novembro.

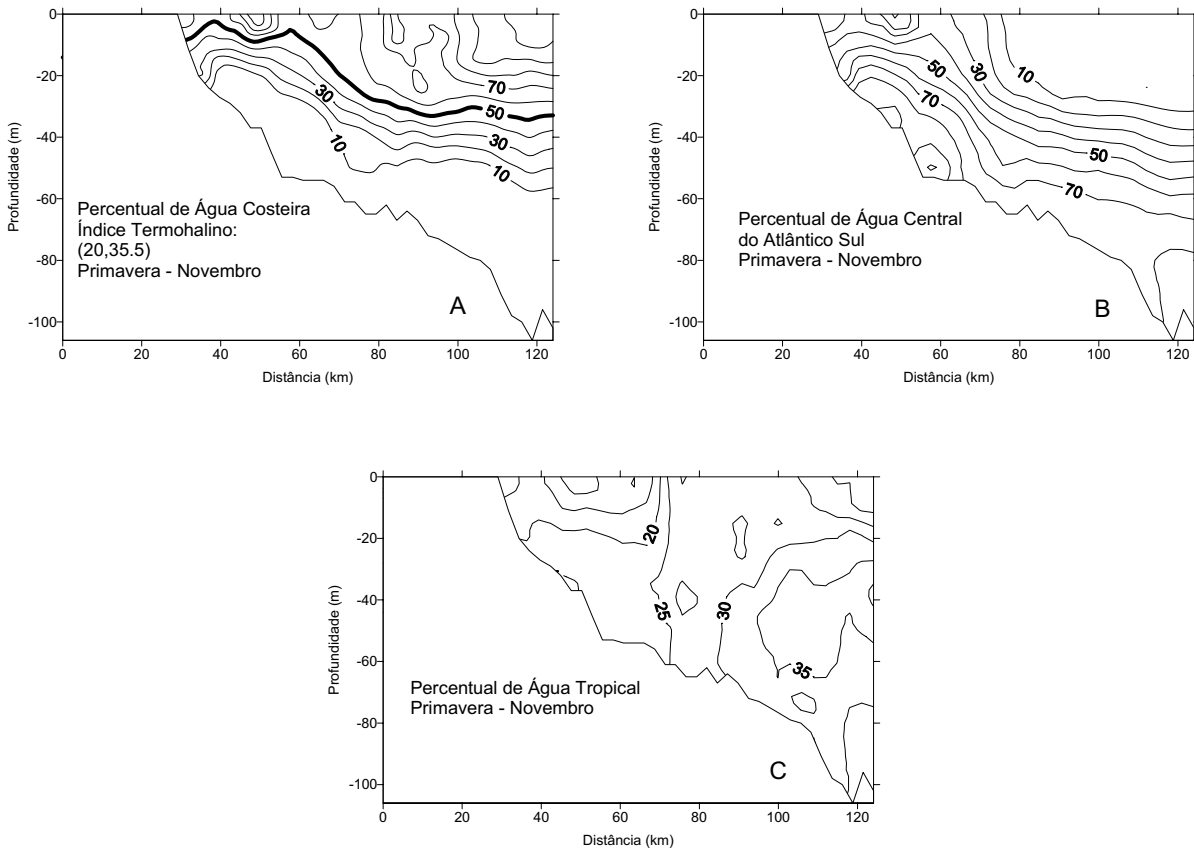
**Figure 10** – *Temperature (A), salinity (B), and density (C) cross-shore sections in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Spring numerical simulation – November.*

fundo e 22°C, na superfície. Esta frente, resfriando as águas superficiais na costa, geram os gradientes horizontais fortes também observados na Fig. 14 A. Uma forte haloclina destaca-se em sub-superfície acima do núcleo com salinidade maior do que 36,0. A configuração das isopicnais caracteriza a FTP como também a frente halina em sub-superfície mais ao largo.

As seções verticais dos percentuais de massas de água são apresentados na Fig. 17 A,B,C. Pela análise desta figura percebe-se que a AC encontra-se na superfície até a profundidade de 20 m, onde seus percentuais de ocorrência se reduzem a aproximadamente 50%. A ACAS, com percentuais acima de 50% (Fig. 17B) ocupa a maior porção da seção transversal, enquanto que a ocorrência da AT, com um percentual de apenas 35% (Fig. 17C), está associada a temperaturas acima de 22°C (Fig. 16A) ao núcleo de salinidade máxima de 36,0 (Fig. 16B).

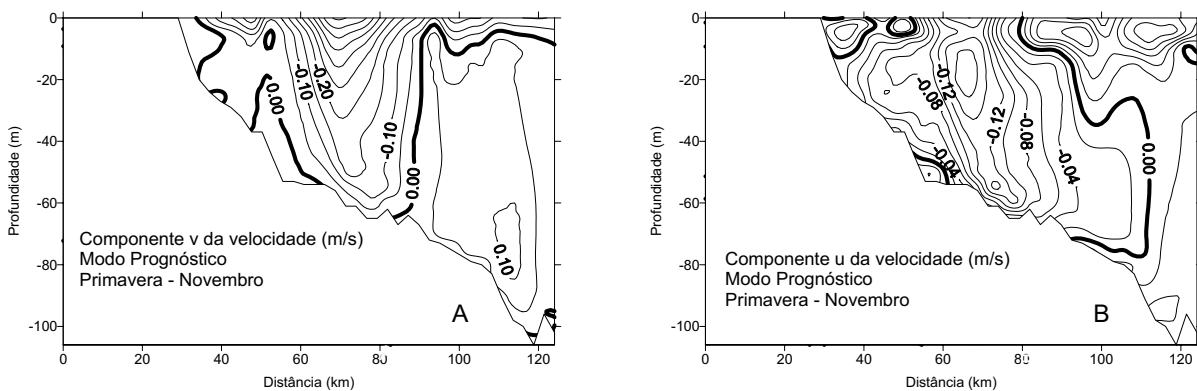
A Fig. 18A,B apresenta as seções verticais das componentes longitudinal ( $v$ ) e transversal ( $u$ ) de velocidade na seção transver-

sal passando através da entrada sul do CSS. Na maior parte da superfície as correntes fluem para sul com valores máximos da componente  $v$  na superfície iguais a  $-0,45 \text{ m.s}^{-1}$  (Fig. 18A), nas proximidades do contorno leste da ISS, onde também observou-se a intensificação das correntes na primavera (Fig. 12A). Essa componente do movimento diminui em módulo em direção ao fundo e para o largo, onde ocorrem contra correntes fracas para o norte, com cisalhamento vertical pouco intenso e cujo núcleo com maior intensidade ( $0,10 \text{ m.s}^{-1}$ ) ocorre a cerca de 60 m de profundidade. A estrutura do campo da componente transversal de velocidade ( $u$ ) apresenta, nas proximidades do contorno leste da ISS, a componente o valor máximo relativo de  $-0,25 \text{ m.s}^{-1}$ , indicando que as correntes contornam a ISS e convergem para a costa. A componente  $u$  diminui em módulo para o largo, onde também inverte seu sentido, indicando a provável ocorrência de um vórtice anticiclônico que se corresponde àquele visto em superfície na primavera (Fig. 13B). Como na parte norte a seção



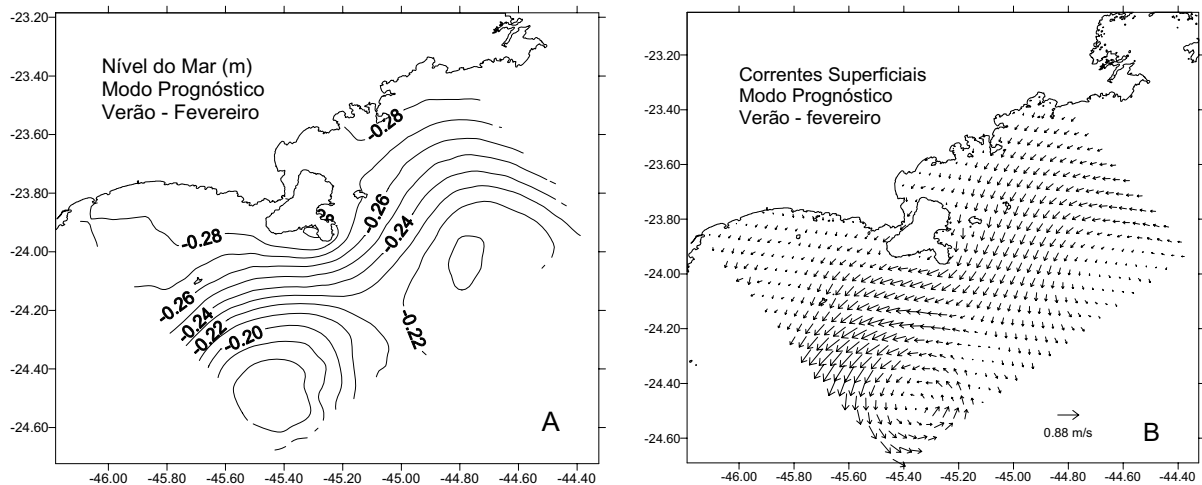
**Figura 11** – Distribuição vertical dos percentuais das massas de Água Costeira (A), da Água Central do Atlântico Sul (B) e da Água Tropical (C) na PCI ao sul do Canal de São Sebastião.

**Figure 11** – Coastal water (A), South Atlantic Ocean water (B) and Tropical water (C) percentage cross-shore sections in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Spring numerical simulation – November.



**Figura 12** – Distribuição vertical das componentes paralela (A) e transversal (B) à costa na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de primavera – novembro.

**Figure 12** – Along-shore (A) and cross-shore (B) sea currents in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Spring numerical simulation – November.



**Figura 13** – Nível do Mar (A) e Correntes Superficiais (B) na PCI. Simulação de verão – fevereiro.

**Figure 13** – *Sea level (A), superficial currents (B) in the inner continental shelf. Summer numerical simulation – February.*

cruza o CSS, observa-se na entrada sul do canal a ocorrência de um movimento em duas camadas; na superfície a componente  $v$  é negativa (correntes para sul) com valor máximo de  $-0,30 \text{ m.s}^{-1}$  e no fundo a componente  $v$  é positiva (correntes para norte) com valores próximos a  $0,05 \text{ m.s}^{-1}$ . A componente  $u$  negativa no fundo do CSS indica que as correntes penetram o canal através de fluxos de leste para oeste ao contornarem a ISS.

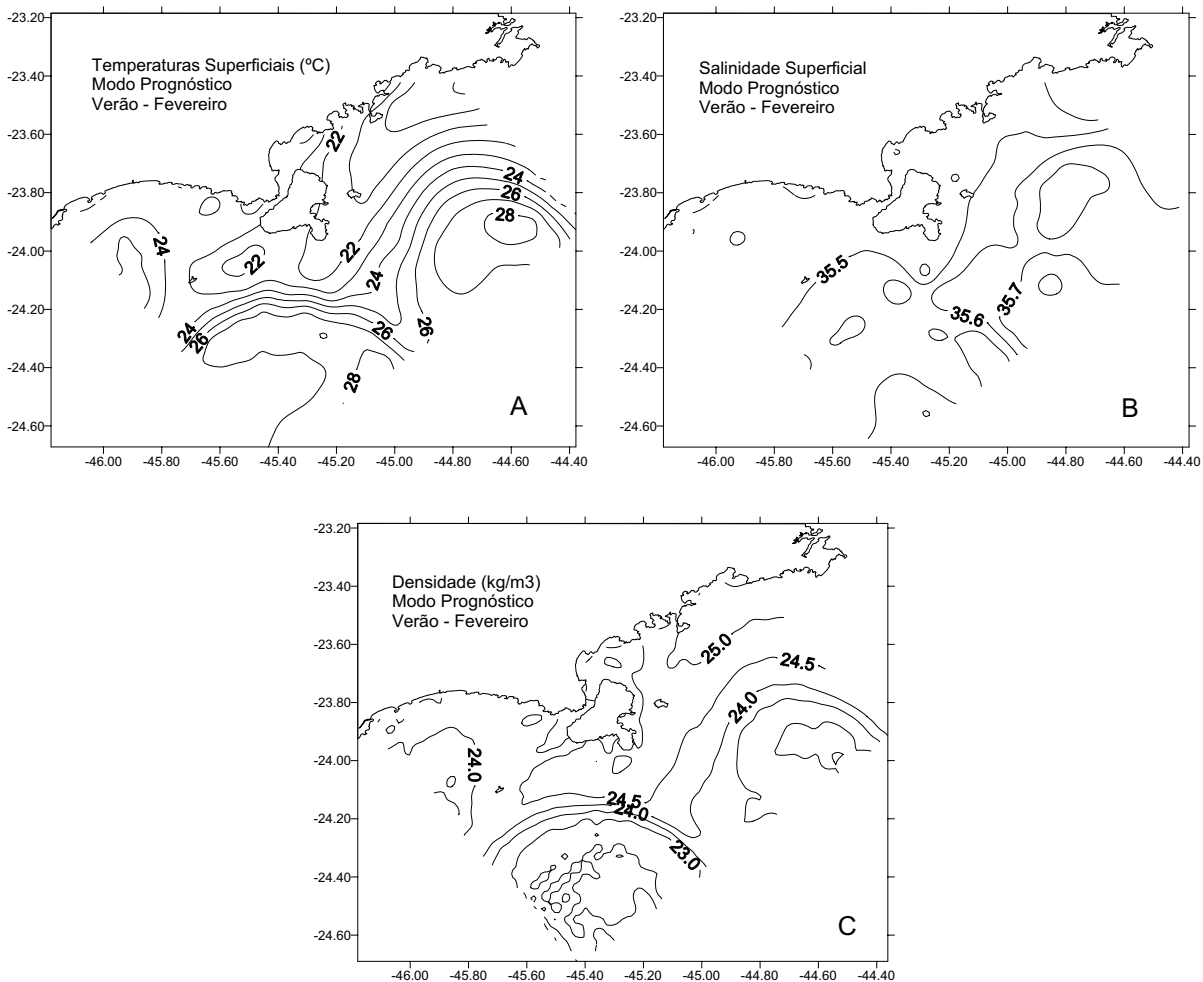
### Outono

O nível do mar apresenta uma inclinação descendente a partir das proximidades da costa de  $0,10 \text{ m}$  a  $0,05 \text{ m}$  (Fig. 19A) e a configuração das isolinhas é aproximadamente paralela à linha de costa. As correntes superficiais na PCI fluem preferencialmente ao longo das isolinhas de nível do mar, intensificando-se para NE na parte central e a leste da ISS, onde se observam valores próximos a  $0,30 \text{ m.s}^{-1}$ . Nas proximidades da costa as correntes superficiais são mais fracas ( $< 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ ) e em sentido oposto ao movimento mais intenso, contornando a ISS. Em decorrência de uma depressão a nordeste da ISS, aparecem contra correntes fluindo para sudoeste neste local. Esta figura sugere que o nível do mar adquire inclinação positiva ao largo, gerando as contra correntes existentes nessa região.

A distribuição horizontal superficial de temperatura, salinidade e densidade é apresentada na Fig. 20 A,B,C. A estrutura térmica apresenta-se pouco estratificada e menores temperaturas ( $\approx 23,0^\circ\text{C}$ ) são encontradas no sul e no leste da ISS, enquanto que as maiores ( $23,6^\circ\text{C}$ ) também encontram-se a leste da ISS. A proximidade destes extremos de temperatura a leste da ISS gera

um forte gradiente horizontal desta propriedade. O mínimo de salinidade encontra-se junto à costa a leste da ISS e ao norte ( $35,0$ ), enquanto que o máximo de salinidade ( $35,7$ ) localiza-se ao largo e ao sul da ISS. Em decorrência deste máximo de salinidade, temos neste local o máximo de densidade ( $24,3 \text{ kg.m}^{-3}$ , em unidades de Sigma-t), enquanto que o mínimo ( $23,9 \text{ kg.m}^{-3}$ ) encontra-se associado ao máximo de temperatura. A Fig. 20D mostra ainda que a superfície está totalmente tomada pela Água Costeira (AC).

As seções verticais apresentando as estruturas térmica, halina e de massa são apresentadas na Fig. 21 A,B,C. Examinando-se o campo da temperatura, comparativamente ao correspondente observado no verão (Fig. 16A), percebemos que as águas mais frias no fundo recuaram para o largo, sendo nesta época do ano observadas em maiores profundidades. O núcleo de mínima temperatura delimitado pela isoterma de  $16^\circ\text{C}$  no verão, que se estendia de  $20$  a  $40 \text{ m}$  de profundidade no verão, encontra-se no outono em profundidades abaixo de  $100 \text{ m}$ . Mais ao largo, porém, há um resfriamento das águas superficiais. Com relação às salinidades verifica-se que junto à costa, na superfície, as salinidades são mais baixas nesta época sazonal ( $35,1$ ) e que a isohalina de  $35,6$  intercepta o fundo na profundidade de  $60 \text{ m}$ , enquanto que no verão o interceptava em  $20 \text{ m}$  de profundidade. A configuração das isopicnais é semelhante à das isothermas com o mínimo na superfície ( $23,8 \text{ kg.m}^{-3}$ , em unidades de Sigma-t) junto à costa e o máximo ( $26,4 \text{ kg.m}^{-3}$ , em unidades de Sigma-t) no fundo, indicando uma estrutura de massa com estabilidade vertical estável. A configuração e valores obtidos para estas propriedades nesta seção transversal são muito semelhantes aos obtidos por Coelho



**Figura 14** – Distribuição horizontal superficial da temperatura (A), da salinidade (B) e da densidade convencional (C) na PCI. Simulação de verão – fevereiro.  
**Figure 14** – Horizontal variation of superficial temperature (A), superficial salinity (B) and superficial density (C) in the inner continental shelf. Summer numerical simulation – February.

(1997) em um cruzeiro oceanográfico de maio/92 na PCI em uma seção transversal próxima a esta.

A Fig. 22 A,B,C apresenta as seções verticais dos percentuais de massas de água para esta estação do ano. A AC que no verão ocupava somente os primeiros metros da superfície (Fig. 15A), no outono, se aprofunda para 60 m. A ACAS se aprofunda para abaixo de 60 m limitando-se com a AC acima (Fig. 22B). Os percentuais de AT não ultrapassam 40%.

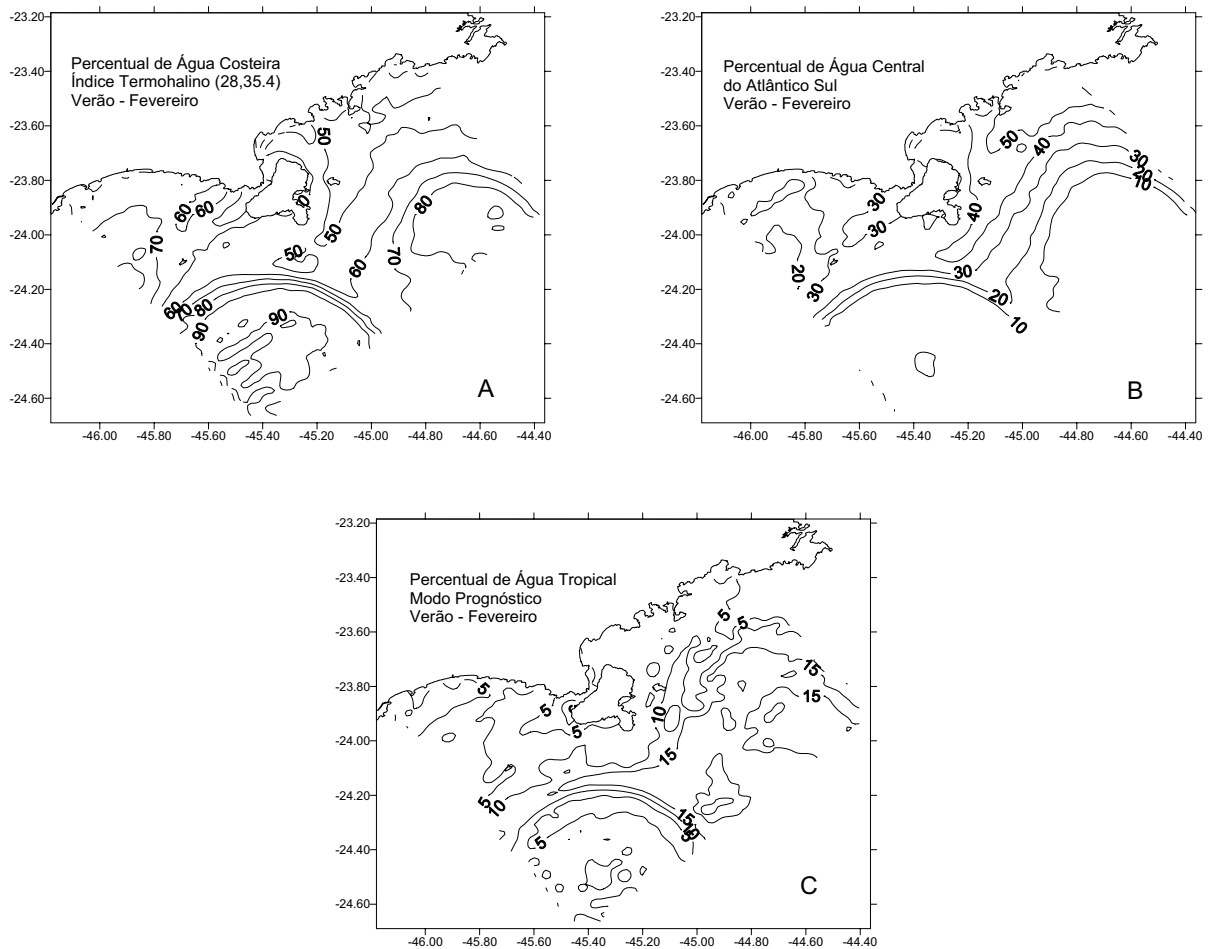
O campo das componentes de velocidade  $v$  e  $u$  em uma seção vertical ao sul do CSS é apresentado na Fig. 23 A,B. As isolinhas de velocidade de ambas as componentes têm a forma de um jato com núcleo raso e velocidades máximas de  $0,15 \text{ m.s}^{-1}$  e  $0,20 \text{ m.s}^{-1}$ , respectivamente. Para a componente  $v$  este jato tem sentido nordeste e sua intensidade diminui conforme se afasta do

núcleo; ao largo observa-se inversão de sentido indicando uma contra corrente com intensidade de até  $-0,06 \text{ m.s}^{-1}$ . A componente  $u$  tem sentido leste em toda a seção com exceção da região no fundo.

**Inverno**

O nível do mar tem baixa amplitude (Fig. 24A) e varia entre  $-0,01 \text{ m}$  e  $-0,05 \text{ m}$ . As correntes superficiais (Fig. 24B) fluem preponderantemente para sudoeste, ao longo da costa e intensificam-se a leste da ISS. Valores máximos são da ordem de  $0,35 \text{ m.s}^{-1}$ .

A distribuição horizontal superficial das propriedades temperatura, salinidade e densidade são apresentadas na Fig. 25A,B,C. Assim como no outono, a amplitude de temperatura na região é



**Figura 15** – Distribuição horizontal dos percentuais das massas de Água Costeira (A), Água Central do Atlântico Sul (B) e da Água Tropical (C) na PCI. Simulação de verão – fevereiro.

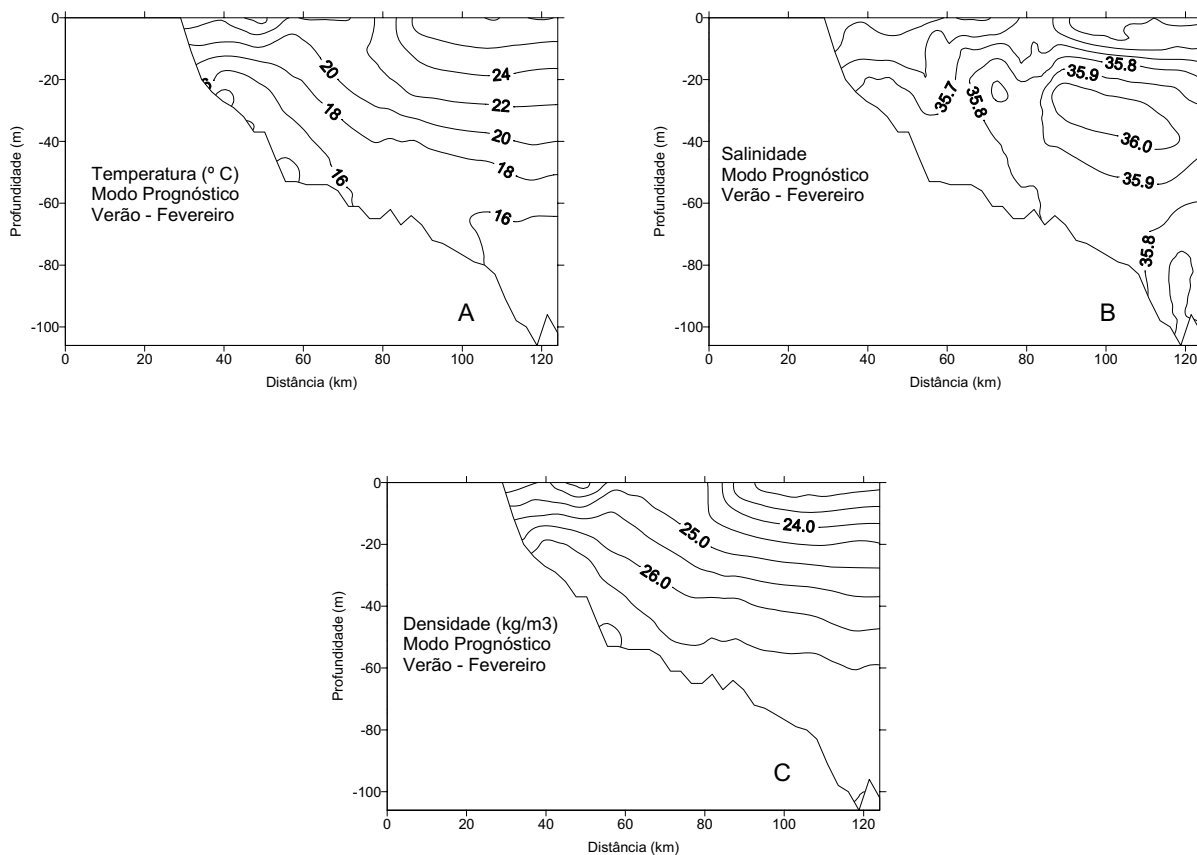
**Figure 15** – Horizontal variation of superficial percentages of Coastal water (A), South Atlantic Central water (B) and Tropical water (C) in the inner continental shelf. Summer numerical simulation – February.

muito pequena, cerca de  $1,5^{\circ}\text{C}$ , variando entre  $20^{\circ}\text{C}$  ao sul da ISS e  $21,4^{\circ}\text{C}$  a oeste da mesma. As salinidades variam entre 35 ao norte e ao leste do CSS e 35,8 ao leste do CSS. Neste local formam-se fortes gradientes horizontais de salinidade. As menores densidades ( $24,5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , em unidades de Sigma-t) encontram-se ao norte e a oeste do CSS enquanto que o máximo se encontra a leste da Ilha Anchieta ( $25,2\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , em unidades de Sigma-t).

A distribuição horizontal superficial dos percentuais de massas de água (Fig. 26 A,B,C), mostra a AC ocupando toda superfície, com os maiores percentuais ( $> 70\%$ ) ao norte e no interior do CSS. Os menores percentuais de AC (50%) estão ao largo e a nordeste da ISS, no mesmo local onde ocorre um baixo percentual de ACAS (20%) e da AT (35%), concluindo-se pela

predominância da AC nesta época do ano.

As seções verticais de temperatura, salinidade e densidade são apresentados na Fig. 27 A,B,C. As temperaturas variam entre  $18^{\circ}\text{C}$ , no fundo e a 50 m de profundidade, e  $21,5^{\circ}\text{C}$  nas proximidades da costa e ao largo em sub-superfície. Verifica-se que com relação ao perfil vertical da temperatura adotado com condição inicial (Fig. 5A), o efeito da simulação de inverno, após 30 dias de integração, foi a ligeira diminuição da temperatura no fundo e também uma pequena elevação de temperatura na costa. Os efeitos da simulação de verão nesta seção, em relação à salinidade inicial (Fig. 6A), foram bem mais marcantes. A salinidade varia de 35,1 na superfície, próxima à costa, a 36, encontrada no fundo, ao largo. Comparando-se esta estrutura com aquela da salinidade inicial, observa-se que as isohalinas interceptam o fundo



**Figura 16** – Distribuição vertical da temperatura (A), da salinidade (B) e da densidade convencional (C) na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de verão – fevereiro.

**Figure 16** – *Temperature (A), salinity (B), and density (C) cross-shore sections in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Summer numerical simulation – February.*

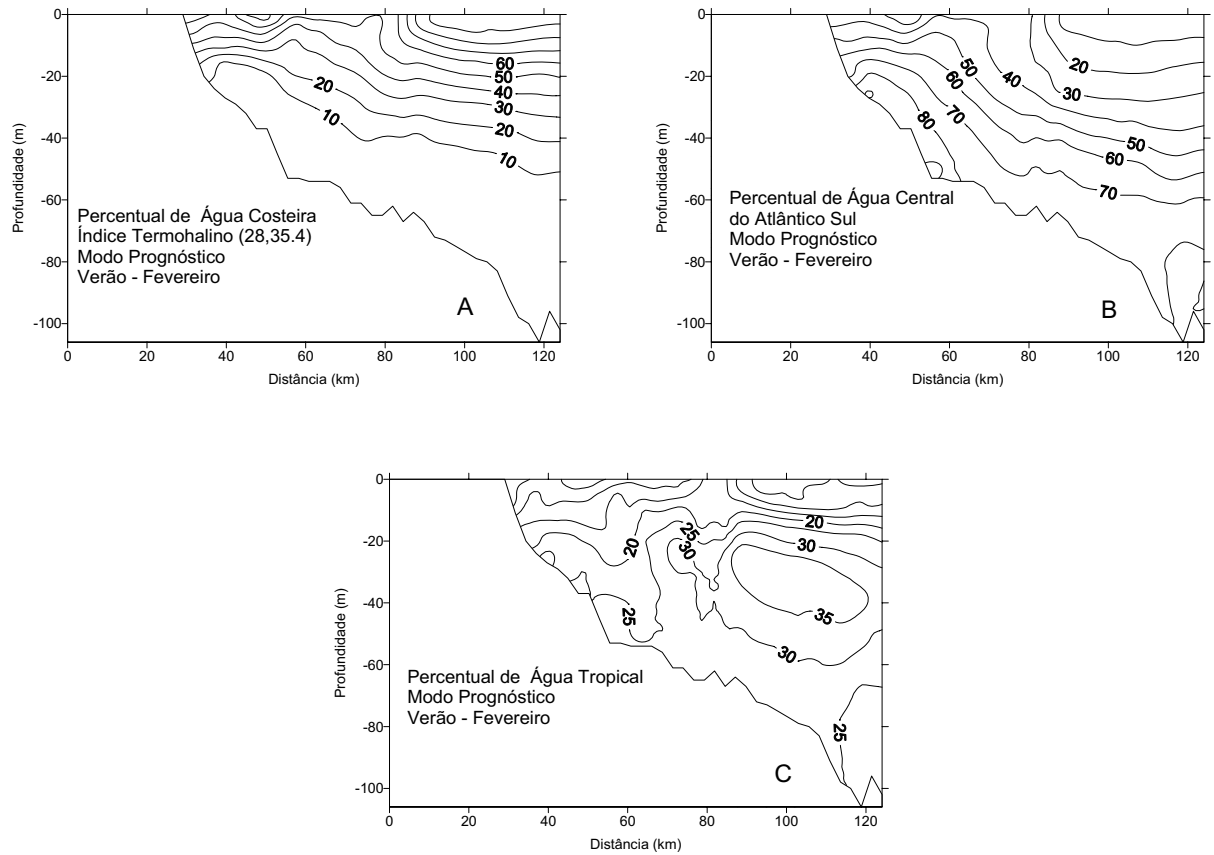
em profundidades menores; por exemplo, a isohalina de 35,8 interceptava o fundo em 60 m de profundidade e após 720 h de integração, passa a interceptá-lo em 40 m de profundidade; em decorrência deste mecanismo as salinidades costeiras tornam-se ligeiramente maiores do que as iniciais, passando de 35,0 a 35,3. Os extremos de densidade estão ambos a mesma distância da costa: o mínimo na superfície ( $24,6 \text{ kg.m}^{-3}$ , em unidades de Sigma-t) e o máximo no fundo ( $26,2 \text{ kg.m}^{-3}$ , em unidades de Sigma-t).

Os perfis verticais dos percentuais de massas de água (Fig. 28 A,B,C), mostram a AC ocupando os primeiros 30 m da coluna de água. A ACAS está limitada a uma pequena área na profundidade de 50 m, onde encontramos seu máximo (55%). O maior percentual de AT na seção (40%) é encontrado ao largo, abaixo da profundidade de 30 m.

As seções verticais das componentes de velocidade  $u$  e  $v$

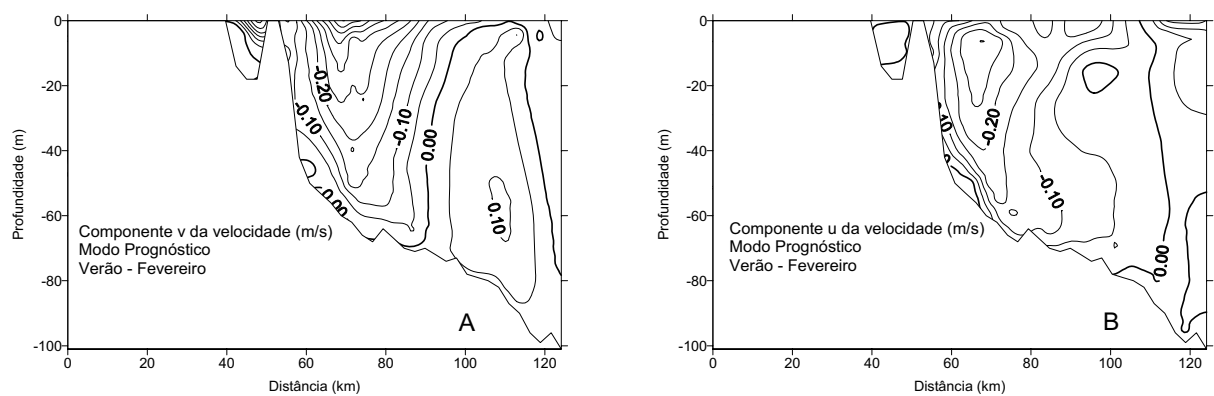
são apresentados na Fig. 29 A,B em uma seção transversal abrangendo também a entrada sul do CSS. As componentes  $v$  e  $u$  mostram que a circulação superficial é para sul. Ao largo da ISS há uma intensificação das correntes em direção sudoeste ao contornarem a ilha, com máximo de  $0,25 \text{ m.s}^{-1}$  para  $v$ , na superfície, e máximo de  $0,08 \text{ m.s}^{-1}$  para  $u$  em sub-superfície. Uma fraca contra corrente com direção nordeste se evidencia ao lado da ISS, sugerindo que correntes superficiais abandonando o CSS contornam o sul da ISS, recirculando. No interior do CSS, desde a superfície até quase o fundo, as correntes fluem para sul com máximo de  $0,15 \text{ m.s}^{-1}$  para a componente  $v$ . No setor esquerdo inferior do CSS as correntes fluem para norte com intensidade que não chega a  $0,05 \text{ m.s}^{-1}$ . A componente  $u$  indica que no interior do CSS, na superfície, as correntes fluem para oeste e no resto da seção, as correntes fluem para leste. Este fato sugere que nesta estação, as águas que penetram o CSS, pela entrada sul, fluem da





**Figura 17** – Distribuição vertical dos percentuais das massas de Água Costeira (A), Água Central do Atlântico Sul (B) e da Água Tropical (C) na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de verão – fevereiro.

**Figure 17** – Coastal water (A), South Atlantic Ocean water (B) and Tropical water (C) percentage cross-shore sections in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Summer numerical simulation – February.



**Figura 18** – Distribuição vertical das componentes de velocidade paralela (A) e perpendicular (B) à costa na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de verão – fevereiro.

**Figure 18** – Along-shore (A) and cross-shore (B) sea currents in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Summer numerical simulation – February.

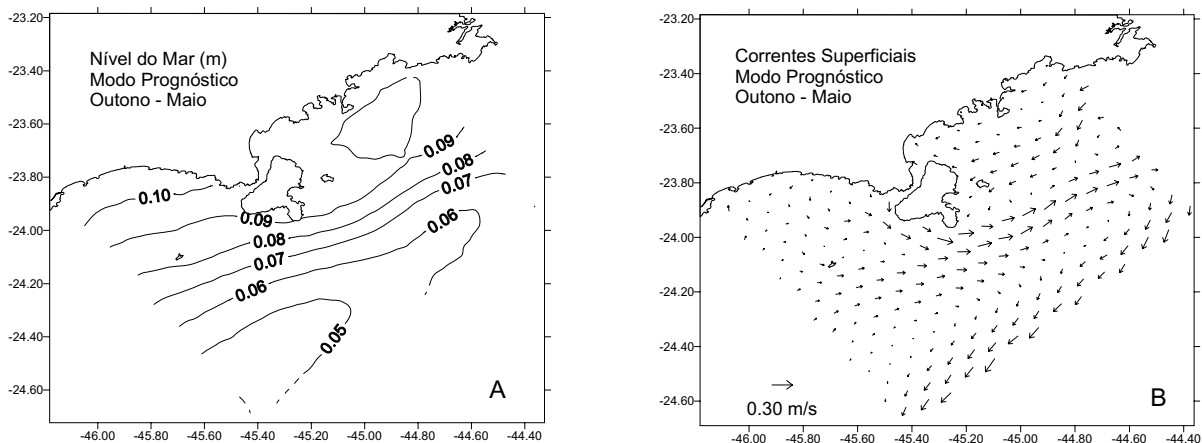


Figura 19 – Nível do Mar (A) e Correntes Superficiais (B) na PCI. Simulação de outono – maio.

Figure 19 – Sea level (A), superficial currents (B) in the inner continental shelf. Autumn numerical simulation – May.

costa e não do largo, como se verificou no verão (Fig. 18A).

## CONCLUSÕES

Os objetivos do modelo foram o de simular numericamente a circulação e a distribuição das propriedades temperatura, salinidade e densidade na região costeira adjacente à ISS.

As correntes na região apresentaram-se para sudoeste nas estações de primavera, verão e inverno, alinhando-se aos campos de ventos. As maiores intensidades foram observadas no verão. No outono as correntes são para nordeste em decorrência de que o padrão do campo de ventos nesta estação não é bem definido para sudoeste. O nível do mar em concordância com o campo de ventos se apresenta com os menores níveis na costa na primavera, verão e inverno sendo que no outono encontramos os maiores níveis na costa.

Os campos de temperatura e salinidade ou a eles associados mostram a aproximação da ACAS da costa nas estações de primavera e verão em relação aos campos iniciais sendo que não se encontram vestígios dessa massa de água no outono e no inverno. O modelo foi bastante eficaz em mostrar que isotermas de temperaturas mais baixas são advectadas para a costa, em regime de ventos para sudoeste. O modelo mostra também que a ACAS penetra o CSS através de sua entrada sul, pelo fundo.

## REFERÊNCIAS

AMOR CC. 2004. Intrusões da Água Central do Atlântico Sul sobre a Plataforma Continental situada entre a Ilha de São Sebastião (SP) e o Cabo de São Tomé (RJ). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 254 p.

BLUMBERG AF & MELLOR GL. 1987. A Description of a Three-Dimensional Coastal Ocean Circulation Model, In: Three-Dimensional Coastal Ocean Models, N. Heaps (Ed.), p. 1–16, American Geophys. Union, EUA.

CASTRO BM de. 1985. Subtidal response to wind forcing in the South Brazil Bight during the winter. Ph.D. Dissertation. RSMAS, University of Miami, 211 p.

CASTRO BM de, MIRANDA LB de & MIYAO SY. 1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. Bolm Inst. Oceanogr., S. Paulo, 35(2): 135–151.

CASTRO BM de. 1996. Correntes e Massas de Água da Plataforma Continental Norte de São Paulo. Tese de Livre-Docência, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 248 p.

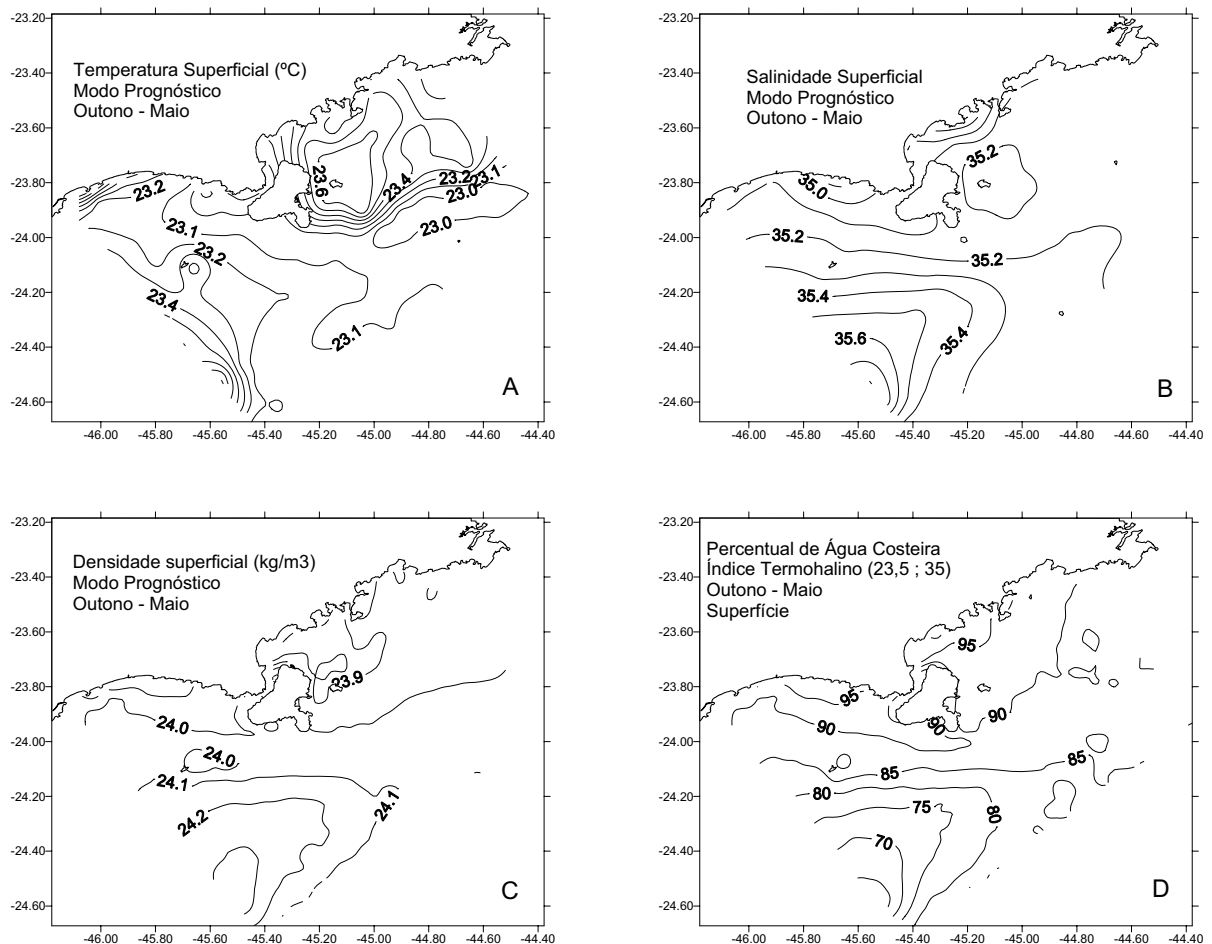
CHAPMAN DC. 1985. Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model. J. Phys. Oceanogr., 15: 1060–1075.

COELHO AL. 1997. Massas de água e circulação no Canal de São Sebastião (SP). Dissertação de mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 244 p.

HARARI J. 1985. Desenvolvimento de um modelo numérico hidrodinâmico tridimensional linear, para a simulação e a previsão de circulação na plataforma brasileira, entre 23° e 26°S. Bolm. Inst. Oceanogr., S. Paulo, 33(2): 159–191.

MARTINSEN EA & ENGEDAHL H. 1987. Implementation and testing of a Lateral Boundary Scheme as an Open Boundary Condition in a Barotropic Ocean Model, Coastal Eng., 11: 603–627.

MIRANDA LB & CASTRO BM. 1995. Variabilidade da circulação e do



**Figura 20** – Distribuição horizontal superficial da temperatura (A), da salinidade (B), da densidade convencional (C) e do percentual da massa de Água Costeira (D) na PCI. Simulação de outono – maio.

**Figure 20** – Horizontal variation of superficial temperature (A), superficial salinity (B), superficial density (C) and superficial percentages of Coastal water (D) in the inner continental shelf. Autumn numerical simulation – May.

transporte de volume no Canal de São Sebastião (SP). Publicação esp. Inst. Oceanogr., S. Paulo, 11(1-9).

MIRANDA LB. 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, 123 p. + figs.

ORLANSKI I. 1976. A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows, J. Comput. Phys., 21: 251–269.

PALMA ED & MATANO RP. 1998. On the implementation of open boundary conditions to a general circulation model: The barotropic mode, J. Geophys. Res., 103: 1319–1341.

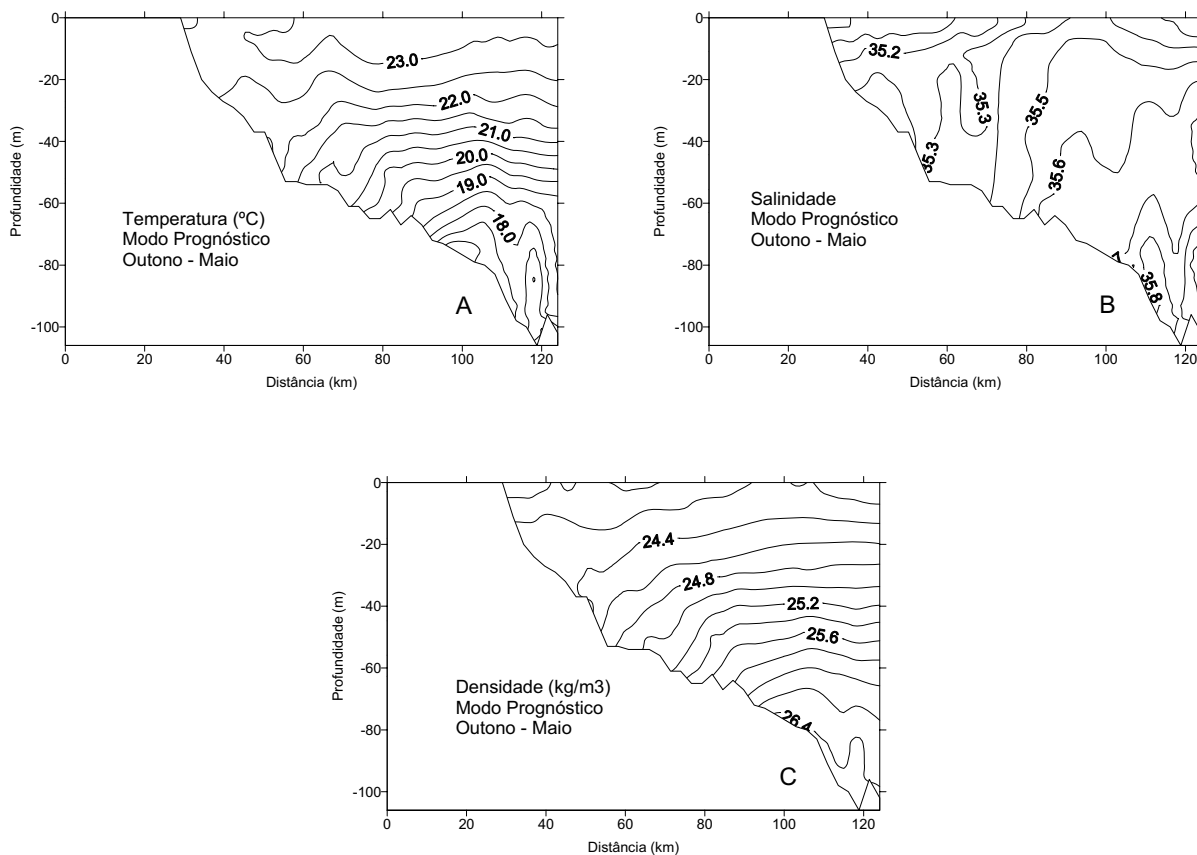
REZENDE JHM de. 2003. Intrusões da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste durante o verão. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 120 p.

SILVA L dos S. 1995a. Condições Oceanográficas no Canal de São Sebastião: fevereiro de 1994 a março de 1995. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 130 p.

SILVA L dos S. 2001. Estudo Numérico da Circulação e da Estrutura Termohalina no Canal de São Sebastião. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 256 p.

SILVA L dos S, MIRANDA LB de & CASTRO BM. 2001. Relatório do Projeto “Oceanografia da Plataforma Interna de São Sebastião” (OPISS). Rel. Téc. Inst. Oceanogr., (47): 1–31.

SILVA MP. 1995b. Caracterização Físico-Química das Massas de Água da Bacia de Santos durante o Projeto COROAS. Verão e inverno de 1993. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 135 p.



**Figura 21** – Distribuição vertical da temperatura (A), da salinidade (B) e da densidade convencional (C) na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de outono – maio.

**Figure 21** – Temperature (A), salinity (B), and density (C) cross-shore sections in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Autumn numerical simulation – May.

ZEMBRUSCKI SG. 1979. Geomorfologia da Margem Continental Sul Brasileira e das Bacias Oceânicas adjacentes (Relatório Final). In: Re-

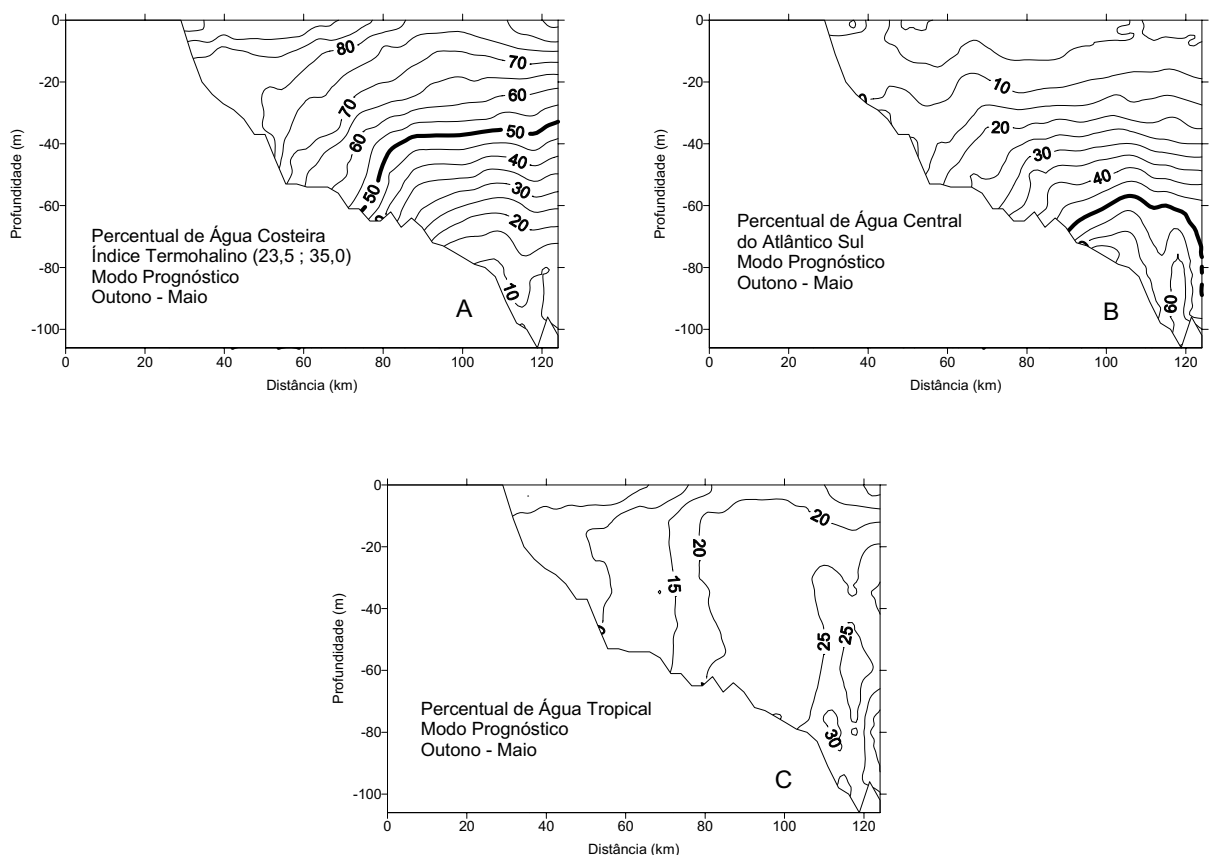
conhecimento Global da Margem Continental Brasileira, Ed. Chaves, H.A.F. PETROBRAS, p. 129–177.

## NOTAS SOBRE OS AUTORES

**Lourval dos Santos Silva.** Engenheiro Eletricista pela Universidade Santa Cecília (Santos-SP). Doutor e mestre em Oceanografia Física pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Atualmente é professor titular de matemática no Centro Universitário Lusiada, Santos-SP.

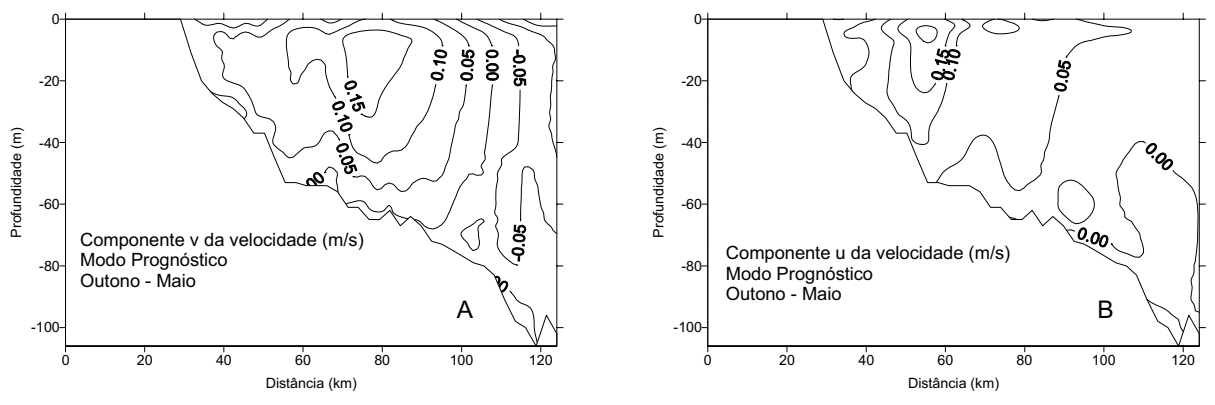
**Luiz Bruner de Miranda.** Licenciado em Física pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Doutor em Física (oceanografia física) pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Atualmente é professor emérito do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

**Belmiro Mendes de Castro Filho.** Licenciado em Física pela Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. Mestre em Oceanografia Física pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Doutor (PhD) em Oceanografia Física pela Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science da Universidade de Miami, Flórida, Estados Unidos da América. Atualmente é professor titular e diretor do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.



**Figura 22** – Distribuição vertical dos percentuais de massas de Água Costeira (A), Água Central do Atlântico Sul (B) e da Água Tropical (C) na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de outono – maio.

**Figure 22** – Coastal water (A), South Atlantic Ocean water (B) and Tropical water (C) percentage cross-shore sections in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Autumn numerical simulation – May.



**Figura 23** – Distribuição vertical das componentes de velocidade paralela (A) e perpendicular (B) à costa na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de outono – maio.

**Figure 23** – Along-shore (A) and cross-shore (B) sea currents in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Autumn numerical simulation – May.

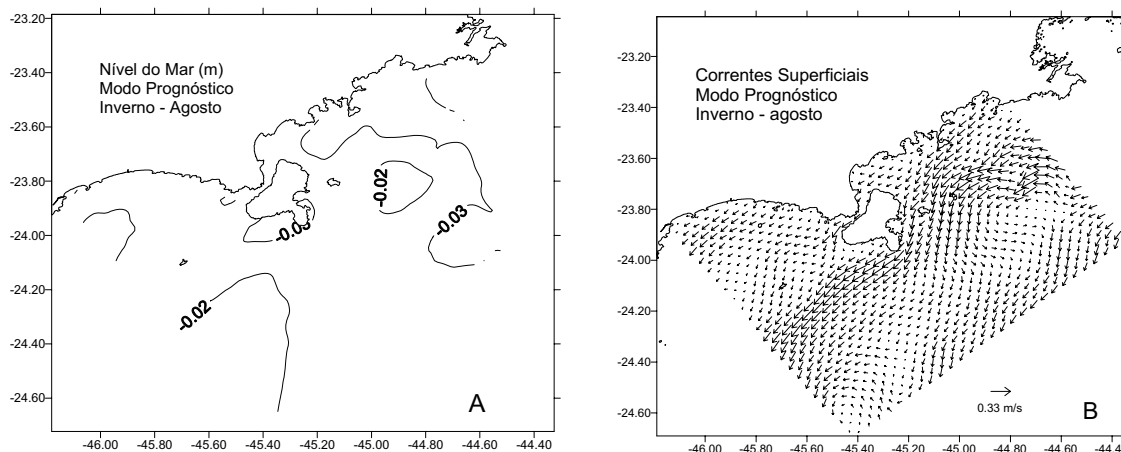


Figura 24 – Nível do Mar (A) e Correntes Superficiais (B) na PCI. Simulação de inverno – agosto.

Figure 24 – Sea level (A), superficial currents (B) in the inner continental shelf. Winter numerical simulation – August.

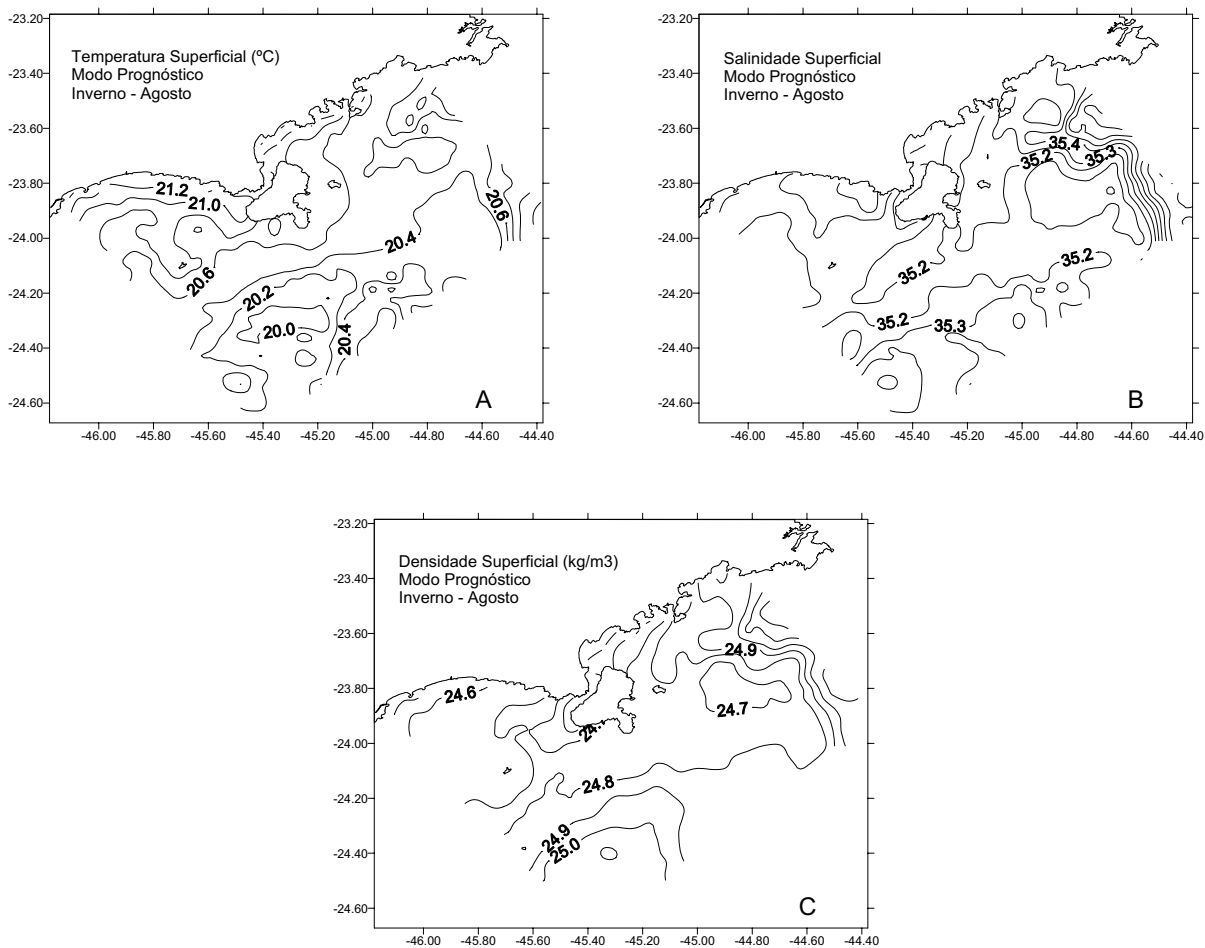
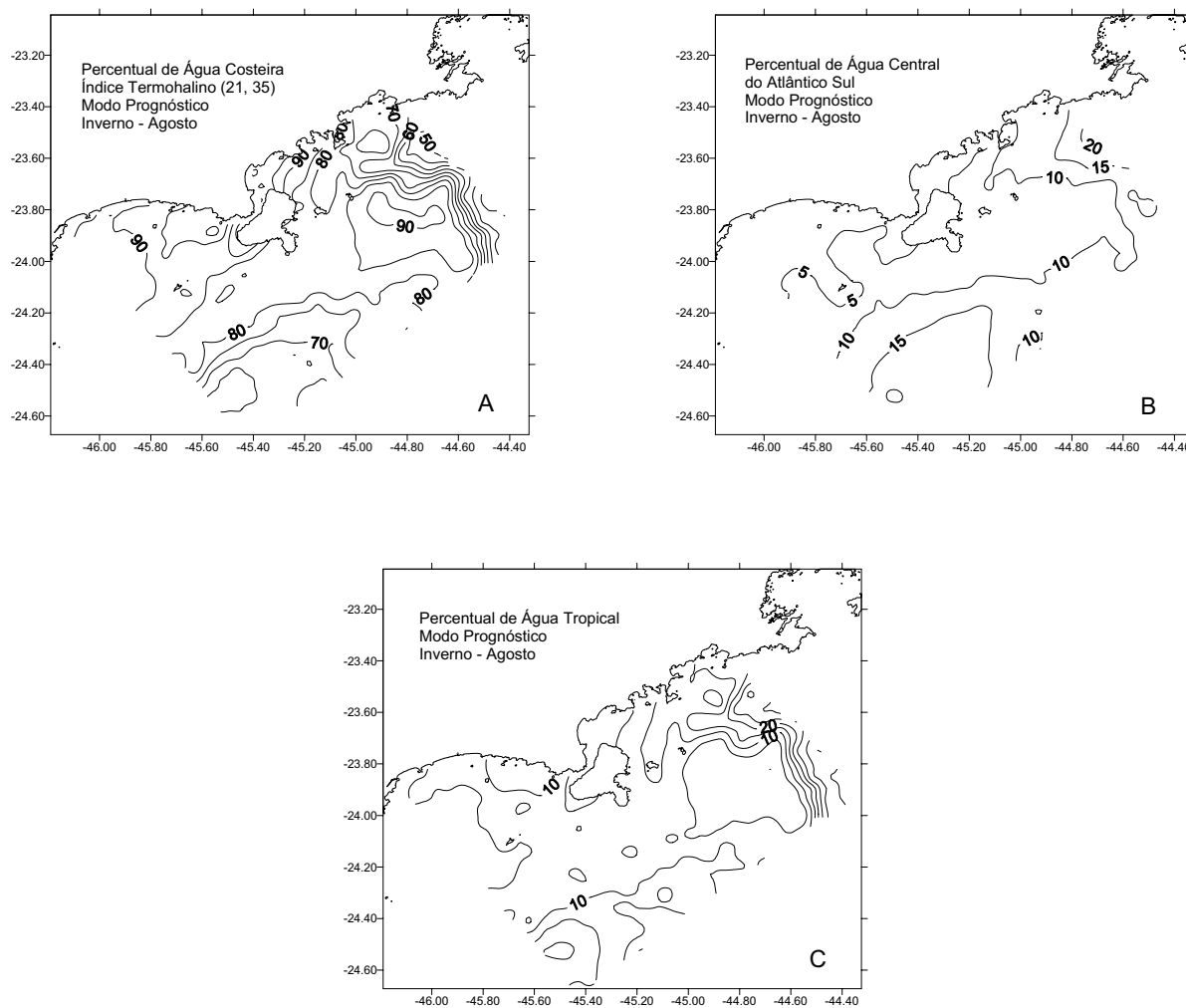


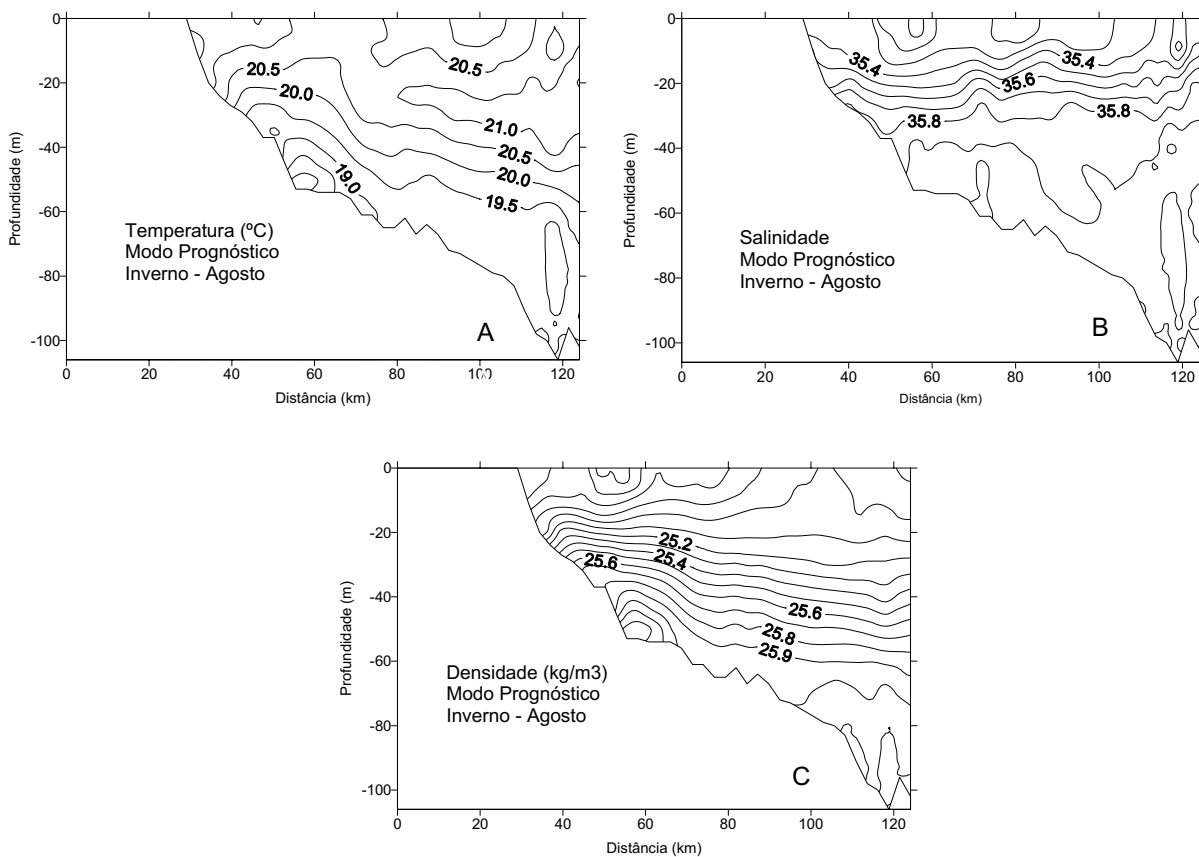
Figura 25 – Distribuição horizontal superficial da temperatura (A), salinidade (B) e da densidade convencional (C) na PCI. Simulação de inverno – agosto.

Figure 25 – Horizontal variation of superficial temperature (A), superficial salinity (B) and superficial density (C) in the inner continental shelf. Winter numerical simulation – August.



**Figura 26** – Distribuição horizontal dos percentuais das massas de Água Costeira (A), Água Central do Atlântico Sul (B) e da Água Tropical (C) na PCI. Simulação de inverno – agosto.

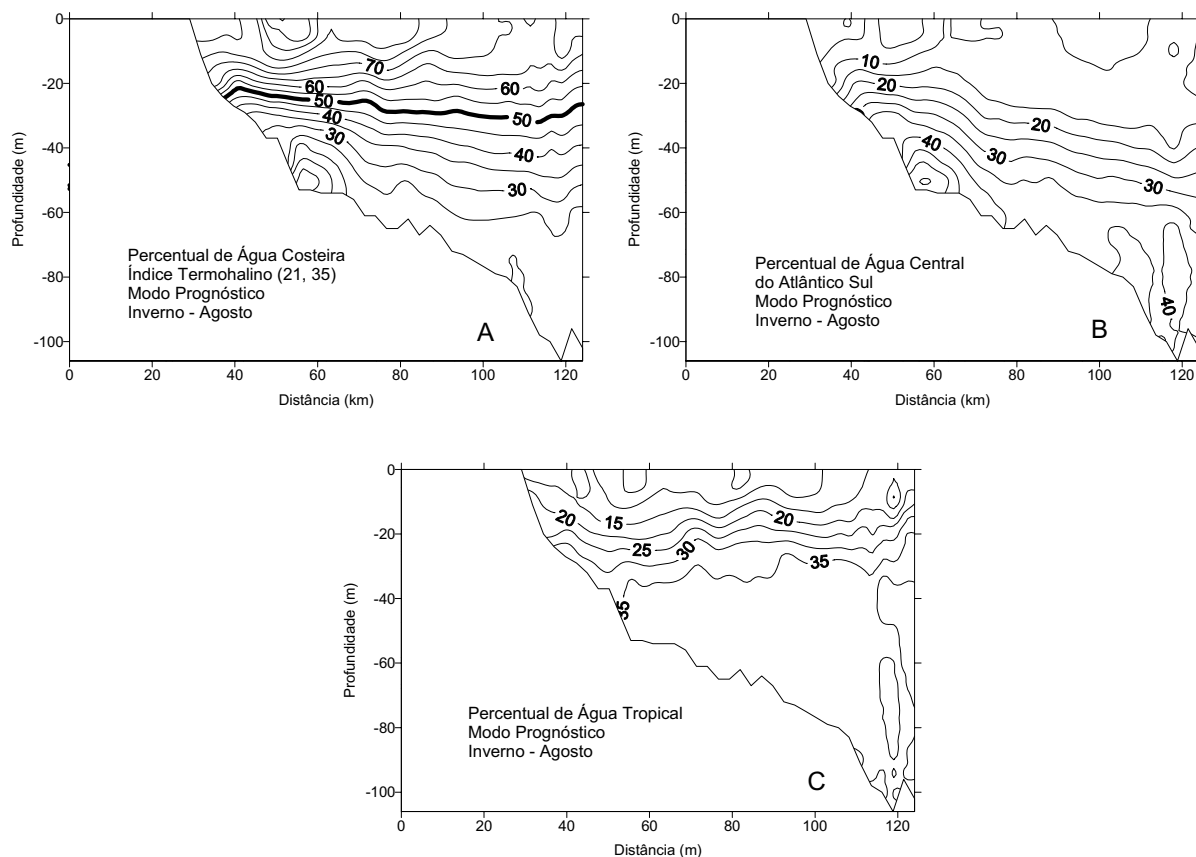
**Figure 26** – Horizontal variation of superficial percentages of Coastal water (A), South Atlantic Central water (B) and Tropical water (C) in the inner continental shelf. Winter numerical simulation – August.



**Figura 27** – Distribuição vertical da temperatura (A), salinidade (B) e da densidade convencional (C) na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de inverno – agosto.

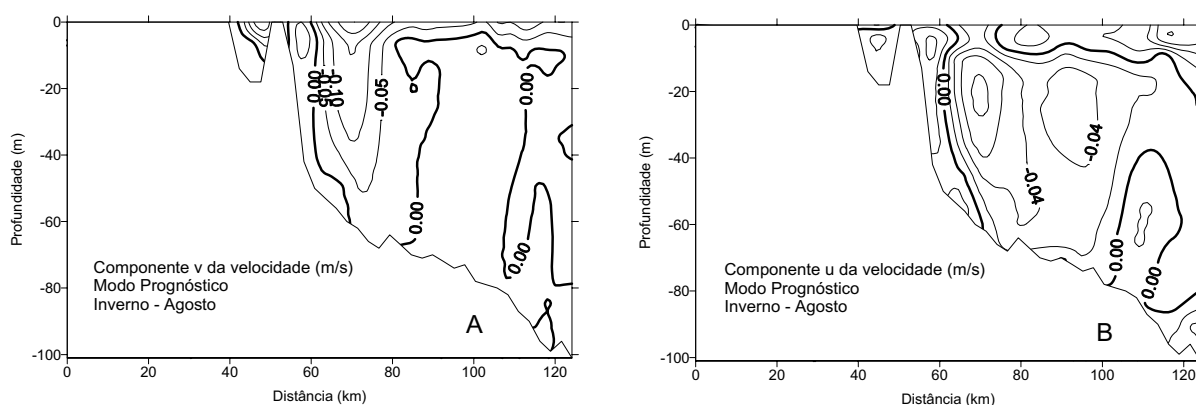
**Figure 27** – Temperature (A), salinity (B), and density (C) cross-shore sections in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Winter numerical simulation – August.





**Figura 28** – Distribuição vertical dos percentuais das massas de Água Costeira (A), Água Central do Atlântico Sul (B) e Água Tropical (C) na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de inverno – agosto.

**Figure 28** – Coastal water (A), South Atlantic Ocean water (B) and Tropical water (C) percentage cross-shore sections in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Winter numerical simulation – August.



**Figura 29** – Distribuição vertical das componentes de velocidade paralela (A) e perpendicular (B) à costa na PCI ao sul do Canal de São Sebastião. Simulação de inverno – agosto.

**Figure 29** – Along-shore (A) and cross-shore (B) sea currents in the inner continental shelf at south of São Sebastião Channel. Winter numerical simulation – August.