

Caracterização oceanográfica da região Nordeste e Leste brasileira

CT (T) Marcia H. Moreira Valente, M. Sc.
marciahelenam@chm.mar.mil.br;

Oc. Danielle Sara Alves
danielle@chm.mar.mil.br;

Renata Maia

Divisão de Informações Ambientais – Centro de Hidrografia da
Marinha (CHM)
renata_ocn@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Na última década, vem crescendo o interesse pela dinâmica e parâmetros físicos das Regiões Oceânicas Nordeste e Leste do Brasil. Conseqüentemente, vem aumentado o número de estudos realizados nestas regiões, quer sobre a plataforma continental, quer em águas profundas.

As propriedades físicas da água do mar (temperatura e salinidade) nesta região permitem o conhecimento da distribuição das diversas massas d'água nela presentes, pela utilização de diagramas TS. As massas d'água identificadas nesta região são a AT, ACAS, AIA, APAN e AAF, estratificadas na coluna d'água em função da sua densidade e cujos índices termo-halinos foram definidos por Pickard & Emery (1990) e Stramma & Schott (1999), entre outros.

A análise das correntes na região nordeste e leste da ZEE (Zona Econômica Exclusiva) brasileira deve ser avaliada por dois caminhos diferentes: o primeiro refere-se a acompanhar a origem e a intensificação da Corrente Norte do Brasil (CNB), que flui para norte, e o segundo, acompanhar a origem e o fluxo da Corrente do Brasil, para sul.

Segundo Silveira *et al.*, (1994) a CNB, historicamente, originava-se ao sul do equador quando a Corrente Sul Equatorial (CSE) se aproximava da costa brasileira. A figura 1 apresenta a circulação desta região nos primeiros 500m de acordo com Stramma (1991). Como resultado deste trabalho, Silveira *et al.* (1994) verificam que a CNB se forma ao sul de 10° 30'S e a Subcorrente Sul Equatorial (SEUC) entre 4 e 5°S.

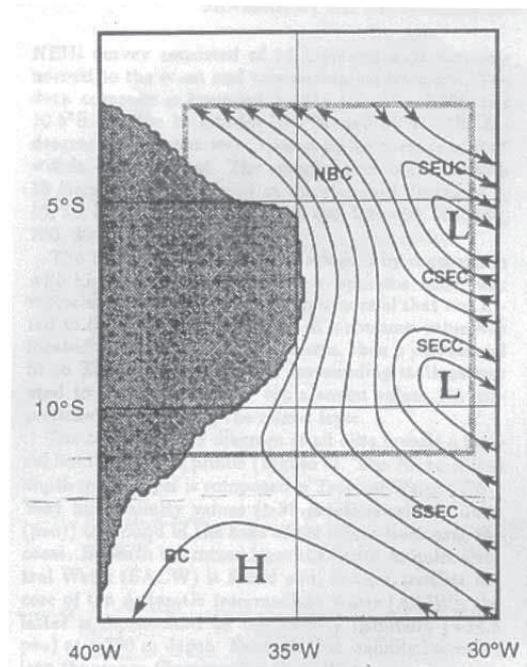


Figura 1 – Esquema da circulação nos 500 metros superiores do Atlântico sudoeste tropical. Fonte: Stramma *et al.*, 1990 *apud* Silveira *et al.*, 1994.

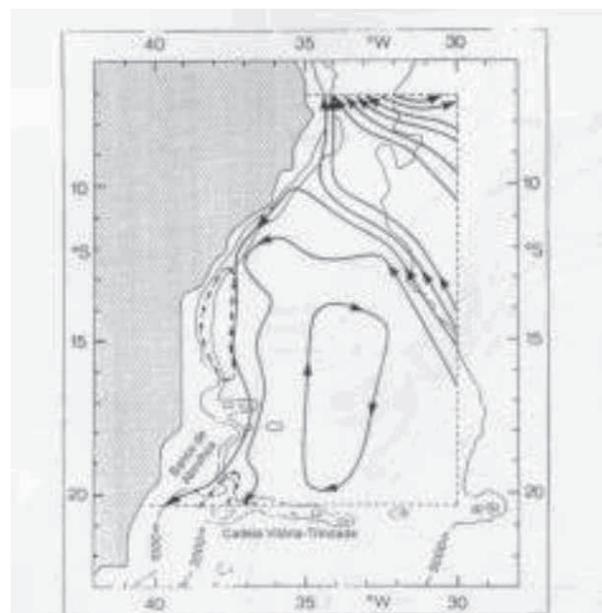


Figura 2 – Esquema da região de origem da CB. Cada linha sólida representa um transporte de 2 Sv. Fonte: Silveira *et al.*, 2000.

Na bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (SSEC) forma-se, além da CNB, a Corrente do Brasil (CB), que flui para sul bordejando o continente sul-americano até à região da Convergência Subtropical entre 33° – 38° S, onde encontra a Corrente das Malvinas e se separa da costa (Silveira *et al.*, 2000). Na região nordeste/leste brasileira, onde se forma a CB, esta transporta as massas d'água AT e ACAS, podendo atingir a profundidade de 800 metros.

A figura 2 deste trabalho demonstra esquematicamente a região de origem da CB e o seu transporte para sul. Para as latitudes entre 09 e 13° S a velocidade máxima observada até 500 metros de profundidade foi 0,31 m/s acordo com Stramma *et al.* (1990). Comparando a figura 1 com a figura 2 observa-se que a CNB apresenta transporte até 19 Sv nos primeiros 500 metros enquanto que a CB transporta até 4 Sv.

METODOLOGIA

Os dados analisados no presente trabalho foram adquiridos em duas Comissões realizadas pelo Navio Oceanográfico “Antares”. A Comissão Oceano Nordeste II, entre outubro a dezembro de 2004, e a Comissão Oceano Leste II, em fevereiro e março de 2005.

Em ambas as comissões, foram efetuadas perfilagens com o equipamento CTD (“Conductivity-Depth-Profiler”), modelo SBE9plus, do fabricante “Sea-Bird Electronics, Inc.”. Todos os dados de temperatura e salinidade foram adquiridos em tempo real, processados a bordo, e filtrados com o auxílio de rotinas do próprio fabricante. Dados de corrente foram obtidos através de um perfilador acústico instalado no casco do navio (ADCP - “Acoustic Doppler Current Profiler”) modelo RDI-BB-75 KHz “RD Instruments”.

Seções verticais de temperatura e salinidade foram confeccionadas para os perfis (“transects”), bem como diagramas TS, visando identificar os índices termohalinos das massas d'água presentes na região em estudo. De posse destes valores, foram elaboradas seções verticais de distribuição e porcentagem de massas d'água.

Os dados de correntometria coletados pelo ADCP de casco foram analisados pelo pacote CODAS versão 3.1 (Common Oceanographic Data Access System) elaborado pela Universidade do Haváí (1995). Foram

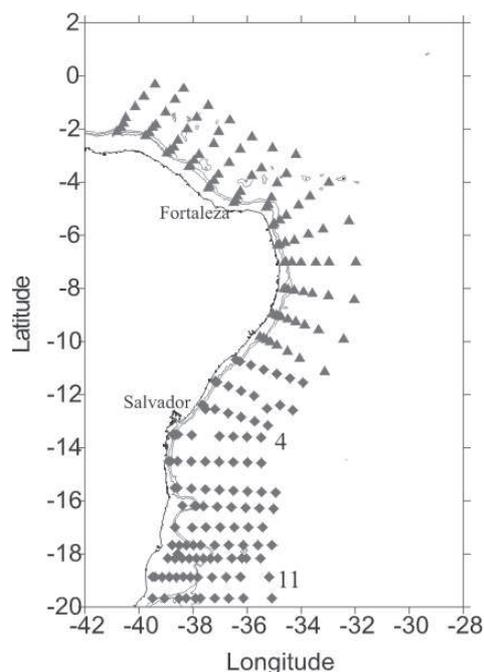


Figura 3 – Localização dos perfis oceanográficos realizados nas duas comissões. Em verde, Comissão ONEII; em vermelho, Comissão OEII. Os números e letras identificam as seções apresentadas neste trabalho.

escolhidas seções ao longo da área de coleta que identificassem as correntes existentes, confeccionando seções verticais das componentes zonal e meridional de velocidade. Na plotagem destas seções não foram excluídos os dados adquiridos enquanto o navio realizava as estações oceanográficas. A figura 3 ilustra as estações oceanográficas realizadas nas duas comissões (94 estações na ONEII, e 112 na OEII).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As massas d'água raramente são encontradas no oceano isoladas umas das outras, como que em compartimentos estanques. Na verdade, as massas sofrem mistura entre si, sendo tais processos devidos a várias forçantes, como o vento, diferenças de densidade entre massas adjacentes, etc. Deste modo, é importante considerar, para a área em estudo, seja costeira ou oceânica, a proporção em que elas se apresentam em determinado ponto, indicando o seu grau de mistura.

Para obter esta informação, são utilizados os diagramas TS (temperatura x salinidade), através dos quais são identificadas as massas d'água existentes na

área de interesse e seus respectivos índices termohalinos.

A figura 4 apresenta os diagramas TS sobre a plataforma continental e o diagrama TS espalhado total da comissão OEII. A figura 5 ilustra o diagrama confeccionado para o perfil 3N da comissão ONEII, que pode ser considerado como representativo para a região em questão. Pode-se observar que nas duas comissões existe registro de ACAS sobre a plataforma, por meio da ocorrência de temperaturas inferiores a 19°C neste ambiente.

Pelos diagramas TS, identificamos a distribuição vertical das massas d'água existentes na região de plataforma e oceânica. A camada de mistura é preenchida por AT, quente e salina. Na termoclina está a ACAS, e na camada profunda (abaixo de 800 metros) registra-se a AIA, com seu mínimo de salinidade, a APAN, mais salina, e a AAF, com temperaturas inferiores a 2°C a profundidades abaixo de 4000 metros. Para uma melhor visualização da distribuição dos parâmetros e massas na transição entre a plataforma e o talude, são apresentadas figuras na escala de até 300 metros.

Observa-se na figura 6, a seguir, a ascendência da ACAS sobre a plataforma, pela inclinação das isotermas e pelos contornos de percentuais da massa, sendo este processo mais intenso na seção 4. Na região Nordeste, feições semelhantes também podem ser observadas, como na figura 7, a seguir.

No entanto, a intensidade da penetração da ACAS sobre a plataforma Nordeste é menos significativa do que nos perfis situados na região Leste. Na maioria das seções, as isotermas se apresentam estratificadas, ou, até afundando ligeiramente em direção à costa.

Nos metros superiores da coluna d'água, podem ser registradas duas tendências: nas estações junto à costa, a salinidade aumenta progressivamente em direção ao oceano devido à mistura com a água oceânica e observa-se um núcleo subsuperficial de salinidade mais elevada (acima de 37.2) na base da camada de mistura. Este registro corresponde ao máximo de salinidade subsuperficial devido ao próprio processo de formação da AT, originada nos trópicos pelo excesso de evaporação sobre precipitação encontrados nestas latitudes e, sendo consideravelmente mais salina, afunda. No entanto, como também é quente, não afunda abaixo de 120-130 metros (Stramma & Schott, 1999). Logo, o máximo de salinidade subsuperficial se localiza próximo à base da camada de mistura,

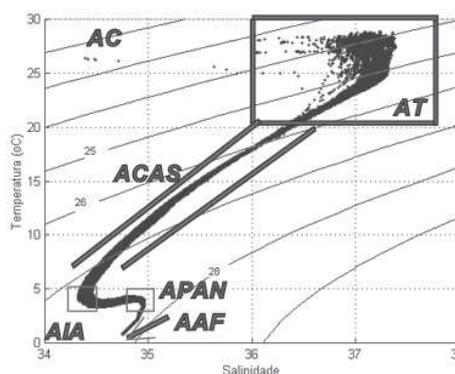
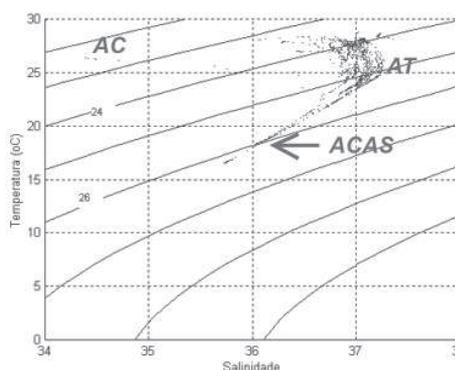


Figura 4 – Diagramas TS espalhado para a Comissão OEII. Esquerda: sobre a plataforma; Direita: plataforma + região oceânica.

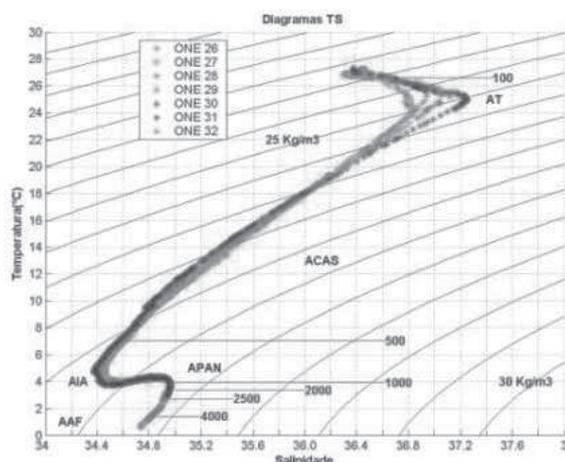


Figura 5 – Diagrama TS espalhado para o perfil 3N, ONEII. Fonte: NOC. Antares.

podendo ser usado como traçador do núcleo subsuperficial da CNB (Silveira *et al.*, 1994).

A figura 8 apresenta a seção vertical de salinidade correspondente ao perfil 3N. Note-se a presença de núcleos mais salinos na base da camada de mistura. Apresenta-se também a seção vertical de densidade

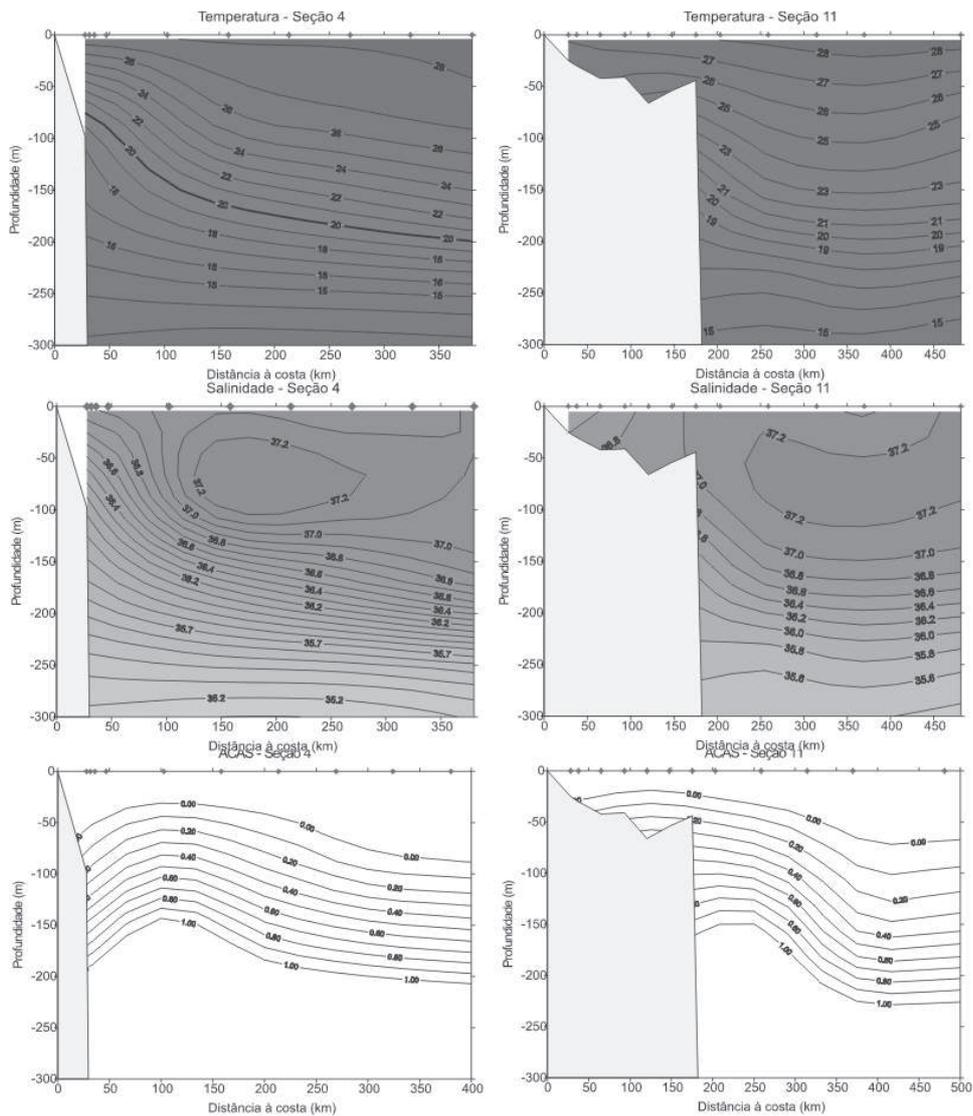


Figura 6 – Seções verticais de temperatura, salinidade e porcentagem de ACAS para as seções 4 e 11 (vide Figura 2).

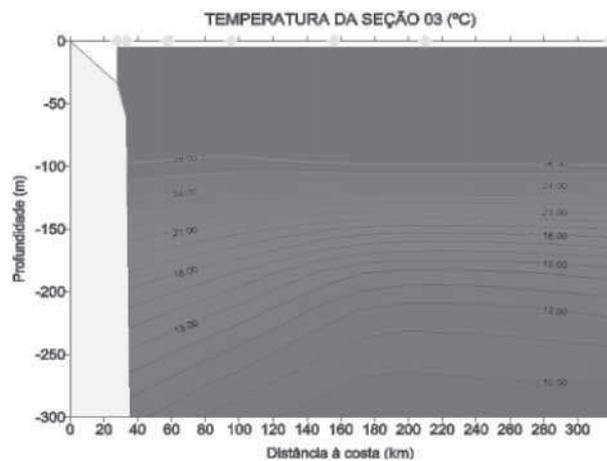


Figura 7 – Seção vertical de temperatura do perfil 5N.

(sigma-theta), elaborado para o perfil 5N. Observe o adensamento das isopicnais entre 100 e 150 de profundidade, a 300 km da costa, indicando uma intensificação da corrente na transição entre a camada de mistura e o topo da termoclina, onde se localiza o máximo de velocidade da CNB.

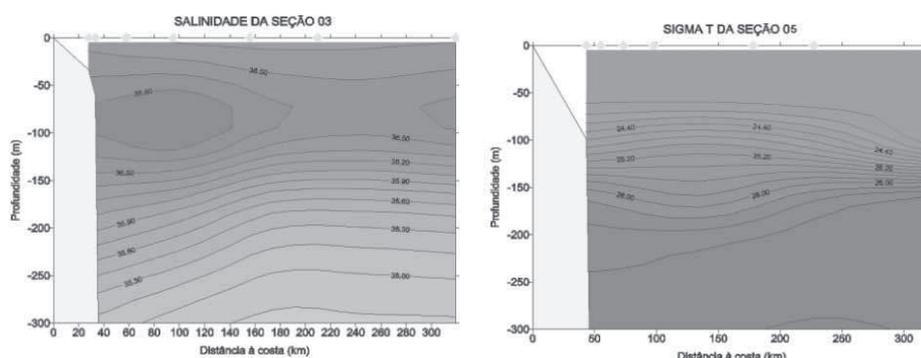


Figura 8 – Seções verticais de salinidade (seção 3N) e sigma-theta (seção 5N)

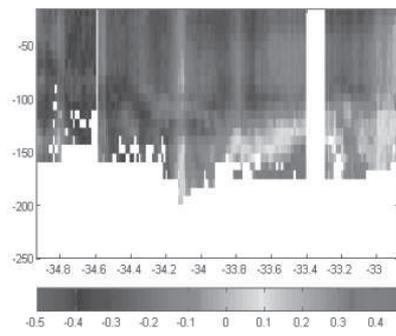
Os dados de correntometria obtidos durante a primavera de 2004 e verão de 2005 mostram núcleos de corrente fluindo para noroeste em todos os perfis da Comissão NEII e no perfil 1 ($10^{\circ} 30'S$), o perfil mais ao norte da Comissão EII. A posição destes núcleos varia de $34^{\circ} W$ a $36^{\circ} W$, junto à queda da plataforma, dependendo do contorno da costa. O fluxo apresenta-se abaixo da profundidade de 50 metros com o núcleo a 150 metros. A intensidade da componente v aumenta entre as latitudes 9 e $7^{\circ} S$, alcançando valores superiores a 1.5 m/s a $5^{\circ} S$; no perfil 5N a intensidade da componente v da velocidade volta a decrescer para 1.0 m/s. Esses núcleos bem determinados caracterizam a CNB em subsuperfície fluindo ao longo da quebra da plataforma.

A componente u de velocidade dos perfis NE mostra uma grande variação com inversão especialmente no oceano aberto entre 32 e $34^{\circ} W$. Na seção 4N é observado o aparecimento de uma contracorrente bem determinada a 150 metros de profundidade entre 33 e $34^{\circ} W$. Cabe ressaltar que em todos os perfis o valor máximo da componente u de velocidade não ultrapassou 0.50 m/s.

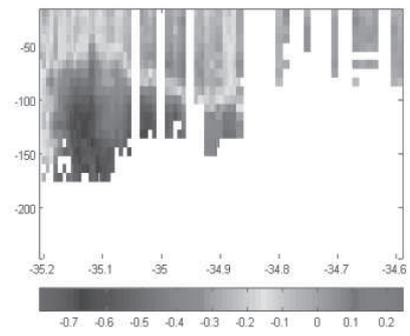
Os perfis a oeste de Fortaleza apresentam outra configuração da corrente, pois nesta região a costa brasileira possui direção W-E e não mais N-S, como os demais perfis. Na seção 5N, próximo à queda da plataforma, observa-se um fluxo para NW e o mesmo núcleo da corrente agora mais afastada da plataforma, acompanhando a mesma longitude do perfil anterior

(35.2 a $34.2^{\circ} W$). A componente u da velocidade (neste caso N-S, pois transversal à costa) na seção 5N apresenta, nesta mesma longitude, inversão da corrente em direção à costa (Figura 9, a seguir). Segundo Goes *et al.* (2005), estas inversões caracterizam a presença de retroflexões formadas a partir da CNB em subsuperfície. O posicionamento da CNB nas camadas superiores e em subsuperfície é determinado a partir da isopicnal de 24.5 onde o gradiente entre as isopicnais se torna bem maior (figura 8). A CNB em subsuperfície transporta três vezes mais do que nas suas camadas superiores (Goes *et al.*, 2005).

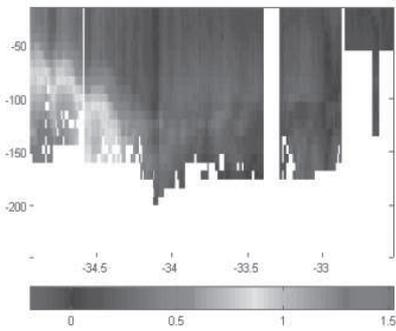
Nos perfis 4 e 11 da Comissão EII (figura 10, a seguir), as seções transversais da corrente apresentam não mais a CNB e sim a CB, originada pela bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (Figura 2). A CB flui para SE, bem estreita, próximo à queda da plataforma atingindo os primeiros 50 metros no perfil 4 e devido à conformação da costa pode meandrar em direção à plataforma interna. No perfil 4, é observada à superfície uma inversão na componente transversal da corrente no oceano aberto, evidenciando uma possível retroflexão da CB, conforme sugere Stramma *et al.* (1990). Já no perfil 11, não se observam inversões na componente transversal da corrente. Neste perfil a CB aparece novamente estreita, junto à plataforma, enquanto que, em direção ao largo, observa-se a corrente fluindo para noroeste, como parte integrante de um grande vórtice sugerido por Stramma *et al.* (1990) e ilustrado na figura 2.



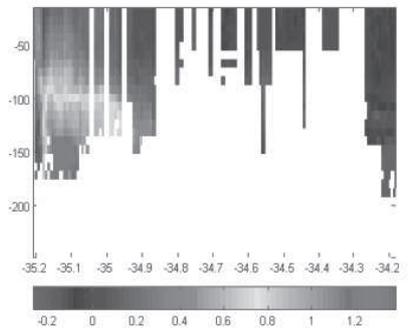
Seção Vertical U – Perfil 4N



Seção Vertical U – Perfil 5N

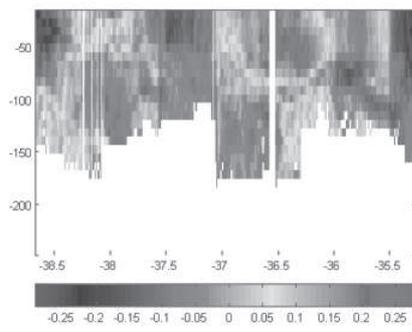


Seção Vertical V – Perfil 4N

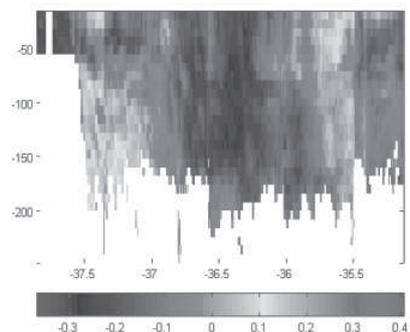


Seção Vertical V – Perfil 5N

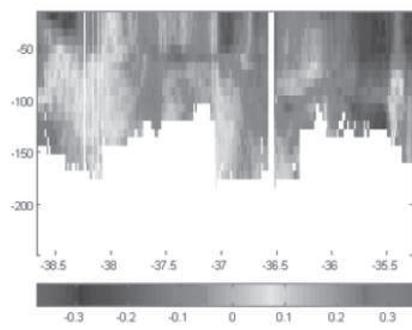
Figura 9 – Seções verticais dos componentes de velocidade para as seções 4N e 5N.



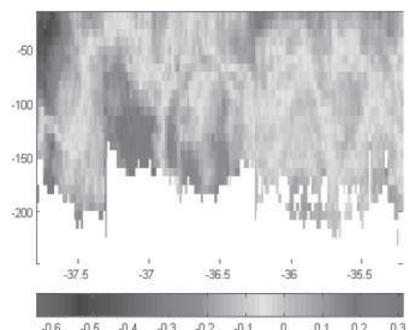
Seção Vertical U – Perfil 4



Seção Vertical U – Perfil 11



Seção Vertical V – Perfil 4



Seção Vertical V – Perfil 11

Figura 10 – Seções verticais dos componentes de velocidade para as seções 4 e 11.

CONCLUSÕES

A ascensão da ACAS junto à costa leste brasileira é favorecida pela topografia do fundo oceânico. De fato, a plataforma e o talude continental do nordeste do Brasil são extremamente íngremes, e este gradiente acentuado facilita a ressurgência das águas mais profundas, impulsionada, por sua vez, pela constância dos ventos nordeste. Os alísios de nordeste, especialmente intensos nesta região e época do ano, provocam, via Transporte de Ekman, um afastamento das águas superficiais em direção ao mar aberto. As águas mais profundas, mais frias e menos salinas, por conservação de massa, são deslocadas em direção à superfície. A intensidade desta ascensão, contudo, não é suficiente para provocar o afloramento destas águas mais frias (ou seja, não chegam a ser registradas à superfície), porém todo o deslocamento é facilmente identificado a níveis subsuperficiais, em seções verticais, especialmente nas profundidades de transição entre a camada de mistura e a termoclina.

A formação de correntes na região nordeste e leste brasileiras decorre da bifurcação da CSE, pertencente ao contorno oeste do giro sul equatorial. Esta bifurcação foi verificada ao sul de 10° 30', confirmando as análises de Silveira *et al.* (1994). Nesta área se formam importantes núcleos de correntes (CNB) que transportam grandes volumes de água em superfície e em subsuperfície em direção ao hemisfério norte. Por outro lado, o transporte da CB possui menor velocidade, mas um grande volume de massas como AT e a ACAS até a confluência com a corrente das Malvinas. Na região próxima ao cabo de São Tomé verifica-se a formação de vórtices e meandros devido à configuração da linha de costa.

Próximo à latitude de 5° Sul foi verificada a intensificação da CNB, atingindo da superfície a 200 metros, com o núcleo de maior velocidade se localizando próximo aos 150 metros de profundidade, estratificando fortemente a coluna d'água (sigma-theta entre 24.5 e 26.8). Mais ao largo desta região são registradas retroflexões do ramo norte da CSE também em superfície, como havia sido constatado por Goes *et al.* (2005).

REFERÊNCIAS

- CODAS (1995). Processing ADCP Data with the CODAS Software System Version 3.1 by Eric Firing e Julie Ranada. University of Hawaii (USA). 211p.
- GOES, M. et al. Retroreflections of Brazil Current during February 2002. Deep-Sea Research Part I 52 pages 647-667(2005).
- SILVEIRA, I.C.A.; MIRANDA, L.B.; BROWN, W.S., 1994, On the origins of the North Brazil Current, J. of Geophysical Research, 99, 22501-22512
- SILVEIRA, I.C.A.; SCHIMIDT, A.C.K.; CAMPOS, E.J.D.; GODOI, S.S.; IKEDA, Y.; A, 2000, Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira; Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 48, 171-183
- STRAMMA, L. & SCHOTT, F. 1999. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. Deep Sea Research II, 46: 279-303

Resumo

Os dados analisados neste trabalho foram adquiridos em duas Comissões realizadas pelo Navio Oceanográfico "Antares". A Comissão Oceano Nordeste II ocorreu na primavera de 2004, e a Comissão Oceano Leste II no verão de 2005. Foram coletados perfis de temperatura e salinidade, simultaneamente a dados espaço-temporais de corrente, possibilitando uma análise comparativa das informações obtidas.

Assim, foram definidas as massas d'água para esta região como sendo: Água Tropical (AT), preenchendo a camada de mistura, a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), nas profundidades correspondentes à termoclina, e abaixo desta, a Água Intermediária Antártica (AIA), a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e a Água Antártica de Fundo (AAF).

A circulação oceânica apresentou várias feições interessantes, como a bifurcação da Corrente Sul Equatorial, originando a Corrente Norte do Brasil (CNB) e a Corrente do Brasil (CB).

Abstract

The data analyzed in this work were collected during two Oceanographic Surveys of the Oceanographic Ship "Antares". The Survey "Oceano Nordeste II" occurred in the spring of 2004 and the Survey "Oceano Leste II" in the summer of 2005. Temperature and salinity were profiled, as well as current data with an acoustic profiler, which provides a comparative analysis of the data.

The water masses that were identified in this region are: Tropical Surface Water (TSW), in the surface mixed layer, South Atlantic Central Water (SACW), which occupies the thermocline, and below this one, are the Antarctic Intermediate Water (AIW), North Atlantic Deep Water (NADW) and Antarctic Bottom Water (ABW).

Several interesting dynamic features, such as the bifurcation of the South Equatorial Current, which originates the North Brazil Current (NBC) and the Brazil Current (BC), characterize this part of the Atlantic.