

SOBRE A RELAÇÃO TS NA PORÇÃO CENTRAL DO ATLÂNTICO SUDOESTE: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA VARIABILIDADE OCEÂNICA NO ENTORNO DA CADEIA VITÓRIA-TRINDADE.

MATHIAS R. VAN CASPEL^{1,3}, MAURICIO M. MATA^{1,4} & MAURO CIRANO^{2,5}

¹Universidade Federal do Rio Grande – Instituto de Oceanografia – Laboratório de Estudos dos Oceanos e Clima – Av. Itália Km 08, 96201-900 Rio Grande – RS – Brasil. ²Universidade Federal da Bahia – Instituto de Física – Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia – Grupo de Oceanografia Tropical – Travessa Barão de Geremoabo, s/n Campus Ondina – 40170-280 – Salvador (BA), Brasil. ³oцемrvc@gmail.com; ⁴mauricio.mata@furg.br; ⁵mcirano@ufba.br

RESUMO

O projeto MOVAR (Monitoramento da Variabilidade do Transporte de Calor entre o Rio de Janeiro-RJ e a Ilha da Trindade-ES) foi criado com intuito de estudar a circulação na região oceânica ao sul da Cadeia Submarina de Vitória-Trindade. A amostragem periódica na área é possível graças ao uso de navios de oportunidade para lançar batitermógrafos descartáveis (XBT). Para investigar os fluxos oceânicos de volume usando o método geostrofico com base nos dados mensurados, temperatura apenas, optou-se por utilizar uma metodologia baseada na correlação regional entre temperatura e salinidade (TS). Dentro deste contexto, foram obtidos e testados polinômios de ordem 1 a 10 que possibilitassem estimar a salinidade em função da temperatura. Para tal foram utilizados dados TS do WOD-05 (*World Ocean Data Base 2005*) e dos perfiladores ARGO disponíveis na região. Após uma seqüência de testes, os polinômios de primeira a quarta ordem foram descartados, sendo os demais utilizados para estimar o transporte ao longo de três seções. Os resultados obtidos com os polinômios foram muito semelhantes entre si, levando à escolha da equação mais simples, P5, para representar a relação TS da região. As estimativas de transporte foram satisfatórias e indicaram que o polinômio pode ser utilizado para este fim.

PALAVRAS CHAVE: temperatura, salinidade, circulação oceânica, XBT, Atlântico Sudoeste

ABSTRACT

On the TS relationship in the central region of the Southwest Atlantic: a contribution for the study of ocean variability in the vicinity of the Vitória-Trindade chain.

The MOVAR (Monitoring the variability of heat transport between Rio de Janeiro-RJ and Trindade Island-ES) project was created in order to study the oceanic circulation south of the Vitória-Trindade seamount chain. The periodic sampling in the area is possible by using ships of opportunity to launch expendable bathythermographs (XBT). In order to investigate the oceanic volume flows using the geostrophic method based on the measured data, which is the temperature only, we have chosen to use a methodology based on the regional correlation between temperature and salinity (TS). Within this context, polynomials of order 1 to 10 were obtained and tested, in order to enable the estimation of salinity as a function of temperature. Hence, to reach this purpose, TS data from the WOD-05 (*World Ocean Data Base 2005*) as well as ARGO profiles available in the region were used. After a sequence of tests, the polynomials of first to fourth order were discarded, while the remaining polynomials were used to estimate the transport along three sections. The results obtained with the polynomials were very similar to each other leading to the choice of the simpler equation, P5, to represent the TS relation for the region. Estimates of transport were satisfactory and indicated that the polynomial can be used for this purpose.

KEY WORDS : temperature, salinity, ocean circulation, XBT, Southwest Atlantic

INTRODUÇÃO

O estudo da circulação de grande e meso-escala é essencial para a compreensão da variabilidade climática do planeta, pois o oceano é o mais importante reservatório de calor do sistema climático (e.g. Oort *et al.* 1989). Apesar dessa grande importância, o conhecimento adquirido em várias regiões oceânicas ainda é proveniente de um pequeno montante de dados ou mesmo, em alguns casos, apenas em esforços de modelagem numérica. Reduzir este problema foi um dos objetivos do WOCE (*World Ocean Circulation Experiment*, 1990-2002) e, atualmente, diversos programas de pesquisa dão continuidade aos esforços de obtenção de dados oceanográficos. Como exemplo deste esforço, podemos citar o programa ARGO, sob a égide do GOOS (*Global Ocean Observing System*) e da

Organização Meteorológica Mundial (WMO). O ARGO mantém uma rede de perfiladores oceânicos autônomos e um banco de dados com as informações coletadas. Os perfiladores (cerca de 3000) estão distribuídos por todos os oceanos do globo e as medições feitas (temperatura, salinidade, pressão), associadas à sua posição geográfica são de acesso livre. O GOOS, por sua vez, tem por objetivo otimizar a pesquisa sobre os oceanos através da organização das informações coletadas por diferentes grupos de pesquisa. Associado a isto, o GOOS também fornece suporte para o desenvolvimento de trabalhos em regiões subamostradas. Em 2004, a porção oceânica ao sul da Cadeia-Submarina de Vitória-Trindade constituía uma destas regiões de grande escassez de dados oceanográficos, o que levou à proposição do projeto MOVAR (Monitoramento da Variabilidade do Transporte de Calor entre o Rio de Janeiro-RJ e a Ilha

da Trindade-ES) junto ao programa GOOS-Brasil.

O MOVAR propôs, e vem executando periodicamente desde 2004, a coleta de dados de temperatura nos primeiros 700 m da coluna d'água ao longo de uma seção que se inicia na quebra da plataforma continental ao largo de Cabo Frio-RJ e se estende até a Ilha da Trindade-ES (Figura 1). Essa seção é designada pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) como AX97. O projeto utiliza embarcações da Marinha do Brasil, como

navios de oportunidade, para realizar o lançamento de batitermógrafos descartáveis (XBT) doados pela NOAA. Estes dois fatores reduzem os custos e garantem a viabilidade do projeto, que já conta com 20 repetições da seção. A amostragem é feita com alta resolução espacial, de aproximadamente 15 milhas náuticas entre estações, o que possibilita o estudo da Corrente do Brasil (CB) e das feições de meso-escala que ocorrem na região (e.g. Schmid *et al.* 1994, Stramma & England 1999).

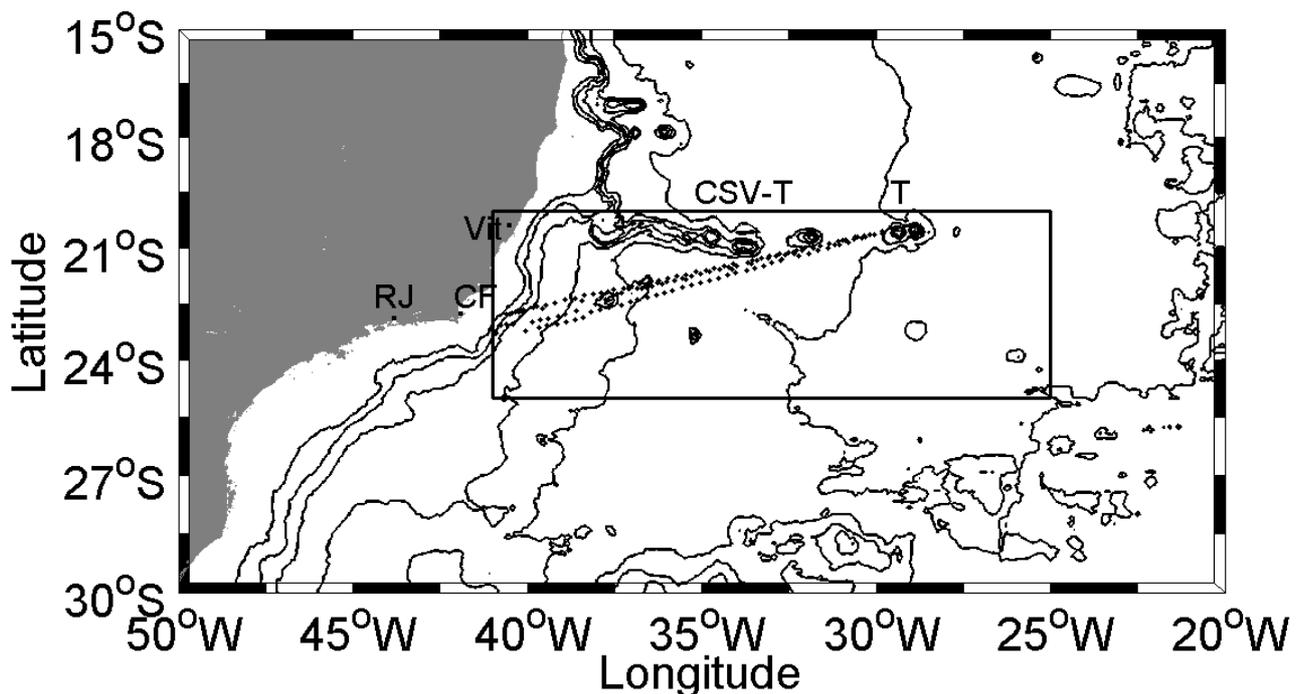


Figura 1: Mapa da região de estudo mostrando as isóbatas de 200 m, 1000 m, 2000 m, 3000 m, 4000 m e 5000 m. Os pontos (linhas pontilhadas) indicam a posição das amostragens do MOVAR. O retângulo indica a área de seleção dos dados hidrográficos. As siglas 'RJ', 'CF', 'Vit', 'CSV-T' e 'T' significam Rio de Janeiro, Cabo Frio, Vitória, Cadeia Submarina de Vitória-Trindade e Trindade, respectivamente.

DADOS E MÉTODOS

O monitoramento da temperatura é, sem dúvida, uma grande conquista para a pesquisa oceanográfica de oceano aberto no país. Todavia, sem a aplicação de uma metodologia adequada, estes dados não podem revelar muito sobre a variabilidade das correntes oceânicas. Para conseguir acessar as características da circulação na região de estudo optou-se por utilizar um procedimento baseado na relação entre a temperatura e a salinidade em águas subtropicais (relação TS - e.g.

Stommel 1947) e no método dinâmico (e.g. Fomim 1964). Esta combinação é frequentemente utilizada para otimizar o uso de dados de XBT, e sua utilidade pode ser constatada em diversos trabalhos ao longo das últimas décadas (e.g. Evans *et al.* 1983, Roemmich & Cornuelle 1990, Morris *et al.* 1996, Rintoul *et al.* 2002, Baringer & Garzoli 2007).

A aplicação do método dinâmico requer que a densidade seja conhecida e, para uma dada pressão, ela pode ser calculada a partir dos valores de TS (Fofonoff & Millard 1983). A primeira providência para o cálculo das velocidades de corrente geostrófica

referentes à AX97 é a obtenção dos valores de salinidade não mensurados. Como uma contribuição ao MOVAR, o objetivo principal do presente trabalho é determinar um polinômio regional que possibilite obter os valores para a salinidade e demonstrar a aplicação dos dados TS no estudo da circulação. Para elaboração desse estudo foram utilizados dados do WOD-05 (*World Ocean Data Base 2005* - Johnson *et al.* 2006) e dos perfiladores ARGO (Carval *et al.* 2008), os resultados do WOA-05 (*World Ocean Atlas 2005* – Antonov *et al.* 2006, Collier & Durack 2006, Locarnini *et al.* 2006), dados da Comissão Sudeste IV (CSE-IV) e dados de XBT obtidos pelo MOVAR. O tratamento dos dados e a metodologia empregada são descritos a seguir.

Para obtenção da relação TS foram utilizados dados de temperatura e salinidade do WOD-05 e dos perfiladores ARGO compreendidos entre os paralelos 20° S e 25° S e entre os meridianos 25° W e 41° W (Figuras 1 e 2). Foram utilizadas todas as estações oceanográficas (garrafas/tradicionais, CTD-*Conductivity Temperature Depth*, bóias de deriva de superfície e perfiladores autônomos) do WOD-05 que se encontravam em locais com profundidade local

superior a 500 m, procedimento adotado para evitar a possível influência de águas costeiras. Dentre os dados dos ARGO, foram selecionados apenas os dados coletados a partir de fevereiro de 2005, uma vez que os dados coletados até esta data já estão incluídos no WOD-05. Outro critério para escolha dos dados dos perfiladores foi o de que as medições de temperatura, salinidade e pressão tivessem passado pelo teste de coerência de perfilagem (*profile test* – Wong *et al.* 2008).

Após a união das informações do WOD-05 e dos ARGO, os pares TS com a salinidade fora do intervalo entre 34 e 37,5 foram eliminados. A média e o desvio padrão da temperatura e da salinidade foram calculados para intervalos de 5 m e os dados com valores diferentes da média ± 3 vezes o desvio padrão foram removidos. A salinidade média e o desvio padrão referentes a intervalos de 1° C foram obtidos sendo excluídos os valores diferentes da média ± 3 vezes o desvio padrão, tratamento semelhante ao aplicado por Pearce (1981). Os dados restantes estão distribuídos conforme apresentado na Figura 2. Na Figura 3 são apresentados os perfis verticais de temperatura e salinidade e o diagrama TS.

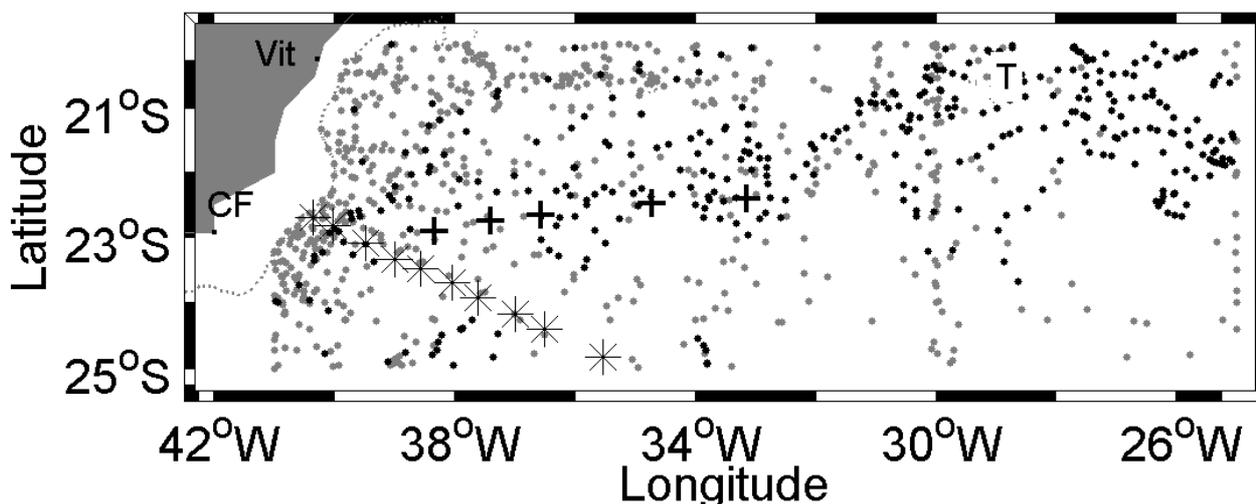


Figura 2: Distribuição dos dados hidrográficos utilizados. Os pontos cinza são referentes aos dados do WOD-05, os pontos pretos aos dados dos perfiladores ARGO, os '+' indicam as estações da seção 2 e os '*' os dados da seção 3. As siglas significam o mesmo que na figura 1. A linha pontilhada representa a isóbata de 500 m.

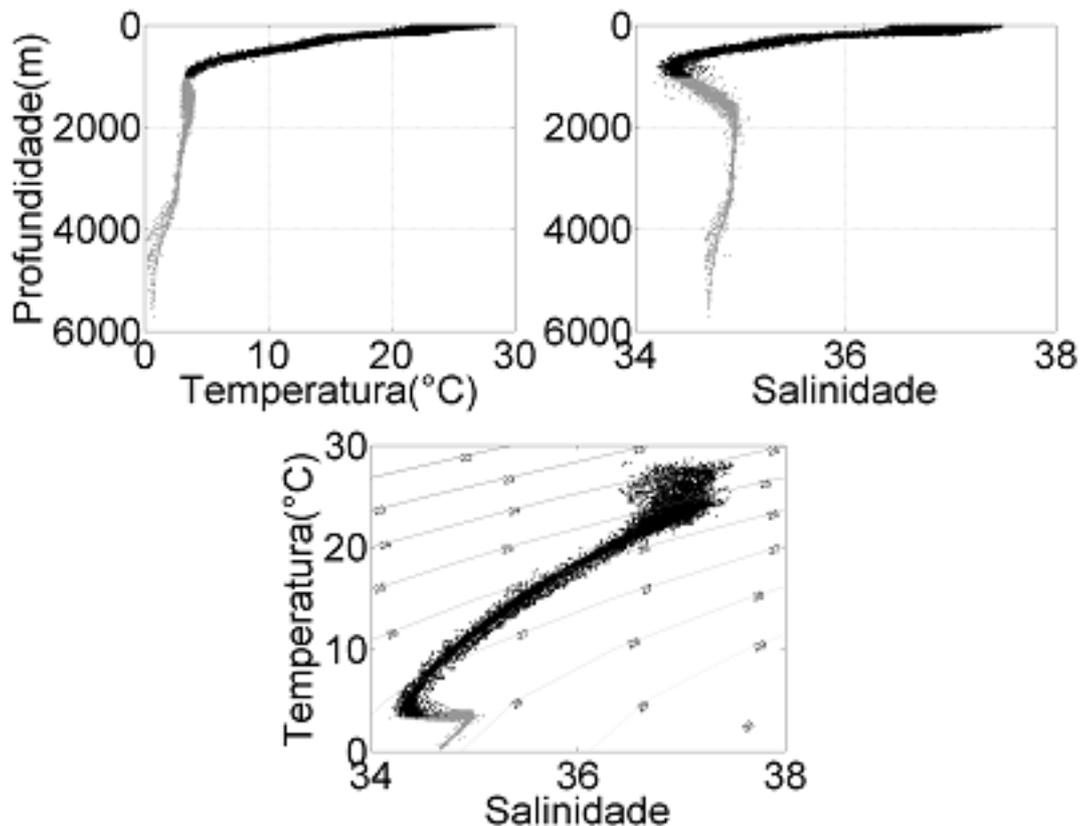


Figura 3: Gráficos de temperatura por profundidade, superior à esquerda, de salinidade por profundidade, superior à direita, e de salinidade por temperatura (diagrama TS), abaixo. Os dados até 1000 m de profundidade estão em preto.

O uso da relação TS foi proposto por Stommel (1947) e pode ser aplicado para regiões onde as variações de salinidade estão associadas a mudanças de temperatura. Analisando o diagrama TS da região (Figura 3), podemos verificar que este pressuposto é violado na interface entre a Água Intermediária Antártica (AIA - valores mínimos de salinidade, e.g. Tomczak & Godfrey 1994) e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN – valores máximos de salinidade em grande profundidade, Tomczak & Godfrey 1994). Devido a essa característica termohalina, optou-se por utilizar apenas as medições realizadas acima dos 1000 m de profundidade (profundidade aproximada de interface entre a AIA e a APAN). Esta restrição, contudo, não compromete os objetivos do MOVAR porque o nível de não movimento a ser utilizado para aplicação do método dinâmico (interface entre Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e a AIA) e a profundidade máxima atingida pelos XBT usados (760 m) encontram-se acima dos 1000 m.

Os dados restantes apresentaram o coeficiente

de correlação entre a temperatura e a salinidade de 0,98, o qual é maior do que correlação de 0,93 entre a profundidade e a salinidade, reforçando assim a escolha do uso da metodologia proposta por Stommel (1947). Além disso, a profundidade dos XBT é determinada pela equação de mergulho da sonda (*fall rate equation*) e, como estas podem conter erros (e.g. Wijffels *et al.* 2008), o uso das profundidades para estimar a salinidade poderia acarretar na propagação dos erros. O ideal para estudos de variabilidade, neste caso o MOVAR, seria obter uma estimativa sazonal para a relação TS regional (assim possibilitando minimizar a contaminação do ciclo anual da temperatura) mas, infelizmente, a distribuição temporal da série de dados não permite tal abordagem. Para expressar a relação entre temperatura e salinidade foram elaborados polinômios de primeira a décima ordem (os quais passarão a ser referenciados como P1 a P10, respectivamente). Estes polinômios foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados, sugerido por

Emery & Thomson (1998), e foram comparados a partir da diferença média quadrática entre o valor real e o estimado para intervalos de 5 m de profundidade.

Com intuito de avaliar a propagação do erro gerado pela estimativa da salinidade foram utilizadas 3 seções de temperatura e salinidade, uma do WOA-05, uma do WOD-05 e uma da CSE-IV, para o cálculo do transporte de volume. O WOA-05 é disponibilizado em diversas configurações e, neste trabalho, optou-se por utilizar as médias anuais dos dados interpolados objetivamente para intervalos de 1° latitude e longitude (Locarnini *et al.* 2006, Antonov *et al.* 2006). Para este estudo, foi escolhida uma seção entre os meridianos 25,5° W e 39,5° W e ao longo do paralelo 22,5° S (seção 1), onde os intervalos de profundidade originais foram mantidos. Entre os dados do WOD-05, foi selecionada uma seção quase-sinótica composta por 5 estações (seção 2 - Figura 2), as quais tiveram seus dados interpolados linearmente para profundidades padrão (0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, e 700 m). A seção da CSE-IV (seção 3 – Figura 2) é formada por 10 estações de CTD realizadas em março de 2006. Os dados da seção 3 foram interpolados linearmente para intervalos de 10 m entre a superfície e 700 m de profundidade.

O método dinâmico foi aplicado aos conjuntos de dados termohalinos para obtenção das velocidades baroclínicas e estas usadas para o cálculo do transporte de volume. As velocidades foram obtidas assumindo um nível de não-movimento em 700 m. A profundidade selecionada representa a interface entre a ACAS e a AIA, massas de água que, na área de estudo, fluem em direções opostas (Stramma & Schott 1999). A literatura regional sugere valores variados para a profundidade de referência nas proximidades da área de interesse (Stramma & England 1999, da Silveira 2000). Entretanto, a carência de medições diretas de velocidade e a grande flutuação deste nível em correntes de contorno oeste análogas a CB (e.g. Lee *et al.* 1990, Mata *et al.* 2000) tornam a escolha deste nível uma tarefa não trivial. Conhecendo as limitações e as possíveis falhas associadas ao método, optou-se por utilizar uma profundidade que possibilite aproveitar ao máximo as medições obtidas pelo MOVAR.

Os polinômios que apresentaram melhores

resultados foram utilizados para calcular as salinidades referentes às três seções e o método dinâmico aplicado aos pares TS formados. Os resultados de velocidade e transporte foram então comparados com aqueles obtidos com a salinidade original. Após a escolha do polinômio a ser utilizado, as amostragens de agosto de 2004, fevereiro e agosto de 2005 e fevereiro de 2006 da AX97 foram escolhidas para demonstrar a viabilidade da metodologia escolhida nesse estudo. Depois de removidos os sinais espúrios inerentes aos dados de XBTs (*spikes*), cada uma das seções foi interpolada objetivamente para intervalos regulares de longitude e profundidade, e a salinidade foi estimada. A estes dados foi aplicado o método dinâmico assumindo, novamente, o nível de não-movimento em 700 m. Em sequência a isso, o transporte de volume referente ao campo de velocidade geostrófica resultante foi calculado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira abordagem para avaliar os polinômios foi feita comparando a salinidade medida e a estimada através de gráficos de salinidade por profundidade e salinidade por temperatura (não apresentados). Com base nesse procedimento, foi constatado que as equações de primeira e segunda ordem (P1 e P2) não representaram adequadamente a distribuição da salinidade e, portanto, estas não foram incluídas nas análises subseqüentes.

Para os polinômios de terceira a décima ordem, a maior diferença média quadrática entre os valores estimados e reais, 0,2 de salinidade, encontra-se na superfície. A diferença média quadrática diminui gradualmente até os 200 m, onde atinge valores de 0,10 para P3, de 0,07 para P4 e, aproximadamente 0,06 para as demais equações. Entre 200 e 1000 m de profundidade, a diferença oscila aleatoriamente entre 0,02 e 0,15, sendo difícil escolher diretamente qual o melhor polinômio. Para auxiliar na escolha do polinômio, as diferenças foram integradas verticalmente da superfície até 1000 m (Figura 4). Pela análise da integração, verifica-se que tanto P3 como P4 se diferenciam dos demais estimadores nas proximidades de 200 m e 500 m, respectivamente. Com base nestes resultados, optou-se por não utilizar P3 e P4 nos próximos testes.

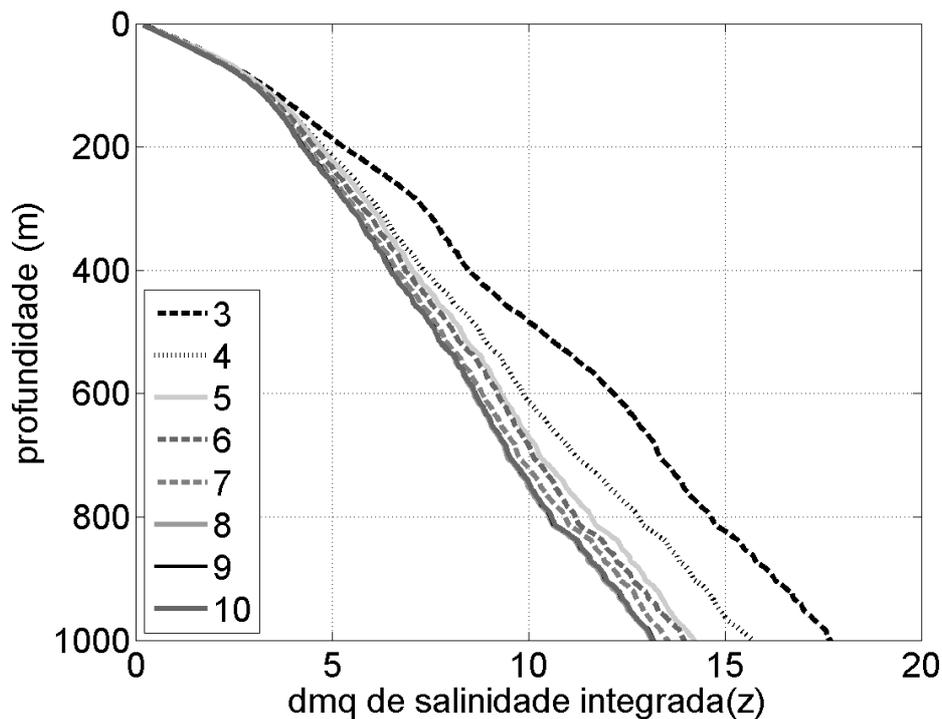


Figura 4: Integração vertical, da superfície ao fundo, da diferença média quadrática (dmq) entre a salinidade estimada e salinidade medida. Os números da legenda indicam a ordem do polinômio usado para estimar a salinidade.

A dificuldade em reproduzir a salinidade próxima à superfície está associada à grande variabilidade dos índices termohalinos nesta porção do oceano. Outros autores também evidenciaram tal dificuldade e apontam para a mesma justificativa (Pearce 1981, Morris *et al.* 1996, Hansen & Thacker 1999, Baringer & Garzoli 2007). Hansen & Thacker (1999) compararam diversas metodologias para estimar a salinidade e apenas a inclusão de medições de salinidade próximas à superfície foi capaz de reduzir o erro nos primeiros 50 m superficiais. Este fato pode ser relevante no caso de medidas tomadas a partir de embarcações com termosalinógrafo de casco. Uma provável causa para a variação do erro em profundidades superiores a 200 m é a pequena quantidade de dados simultâneos de temperatura e salinidade em alguns níveis. Isso, no entanto, não deve interferir significativamente na eficiência dos polinômios avaliados aqui.

Os resultados obtidos com o método dinâmico a partir dos dados do WOA-05 ao longo da seção 1 mostram que as velocidades do escoamento para norte (positivas) foram predominantes, ocorrendo também a presença de dois jatos escoando para sul (Figura 5). Os campos de velocidade obtidos utilizando a salinidade estimada com os polinômios de quinta à décima (P5 a P10) ordem foram muito similares entre si e foram representados pelos cálculos feitos com P5 (Figura 6). O resultado esboçado usando a relação TS apresentou divergências daquele alcançado apenas com informações do atlas climatológico, principalmente com relação às velocidades negativas. Em 37° W, o escoamento para sul é mais raso e intenso quando a salinidade estimada é utilizada. Por outro lado, em 30° W, o escoamento referente ao polinômio apresenta sentido contrário ao observado a partir dos dados do WOA-05, ou seja, para norte

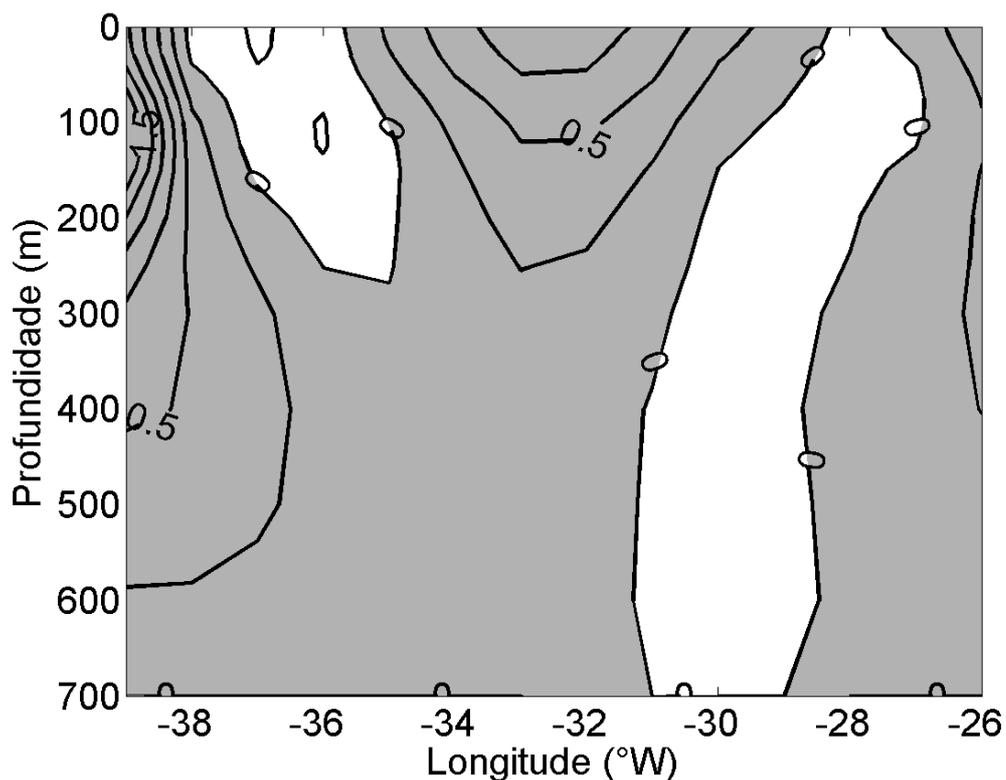


Figura 5: Velocidade baroclínica obtida a partir dos dados de temperatura e salinidade do WOA-05 (seção 1). As áreas em branco indicam fluxo para sul, e a parte em cinza velocidades para norte. A unidade da velocidade é cm/s e o espaçamento das isolinhas é de 0,25 cm/s.

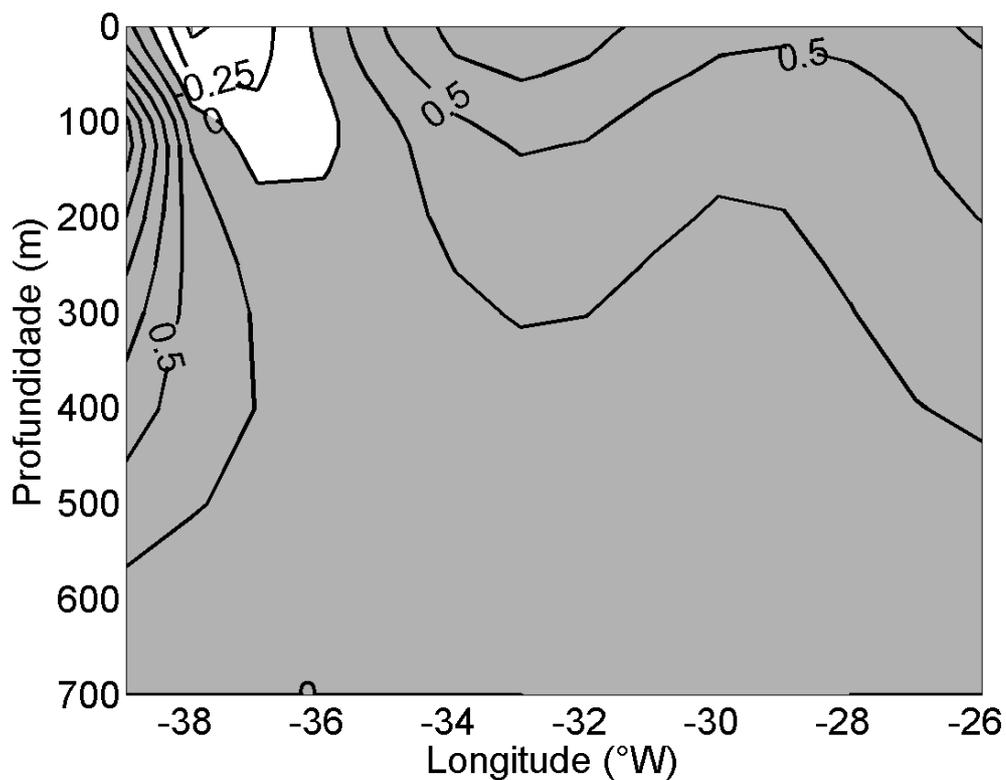


Figura 6: Velocidade baroclínica obtida a partir dos dados de temperatura do WOA-05 e da salinidade estimada com o polinômio de 5ª ordem. A área em branco indica fluxo para sul, e a parte em cinza velocidades para norte. A unidade da velocidade é cm/s e o espaçamento das isolinhas é de 0,25 cm/s.

Como esperado, o transporte de volume entre o nível de não movimento e a superfície, 0 a 700 m, ao longo de toda seção referente aos distintos perfis de velocidade (Figura 7) foi diferente. O transporte total obtido usando a salinidade calculada com os polinômios foi de 2,4 Sv (1 Sv = 10^6 m³/s) sendo 0,8

Sv maior do que o calculado com base na salinidade do atlas. Entretanto, analisando a integração zonal de oeste para leste (Figura 7) verifica-se que na porção central, 35° W a 31° W, as diferenças são muito pequenas, menores que 0,1 Sv, atingindo o mínimo de 0,02 Sv em 34,5° W.

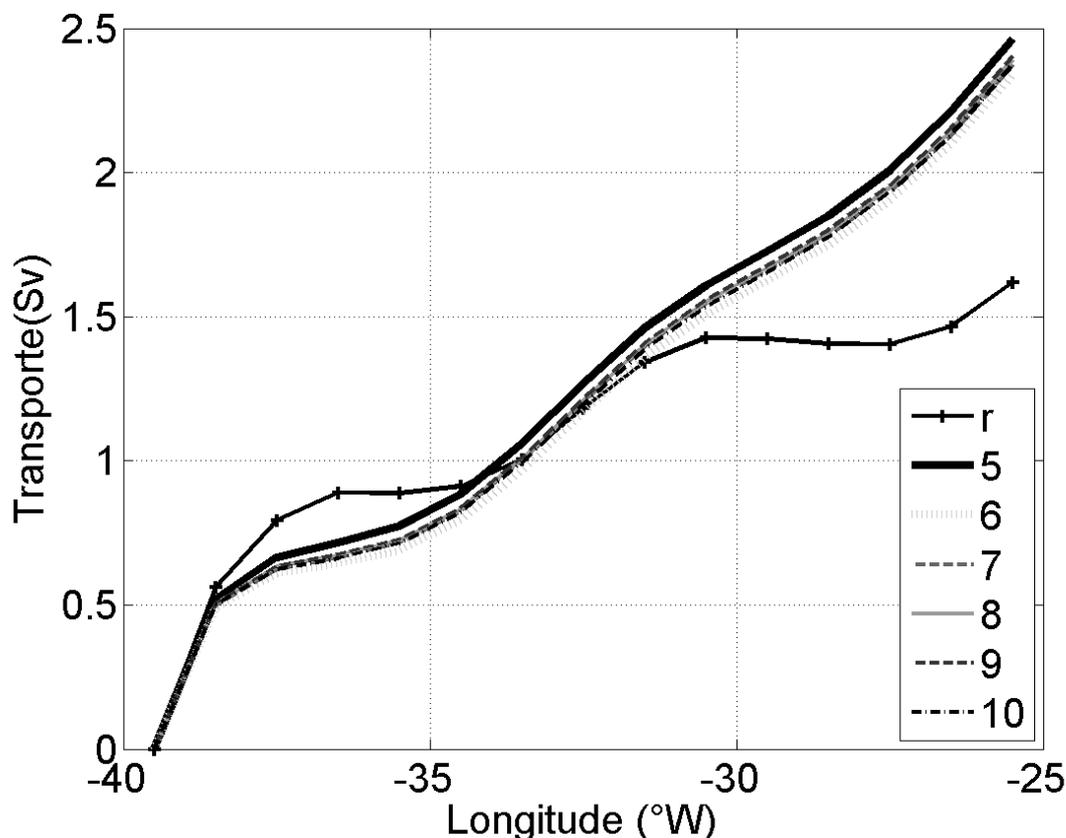


Figura 7: Transporte de volume nos 700 m superficiais acumulado zonalmente, de oeste para leste, ao longo as seção 1. O 'r' na legenda representa o transporte calculado com a salinidade do WOA-05 e os números indicam a ordem do polinômio usado para estimar a salinidade.

As discrepâncias descritas no parágrafo anterior podem ser consequência de dois fatos distintos: (1) reprodução inadequada da salinidade por parte do WOA-05 ou (2) dos erros associados aos polinômios obtidos no presente estudo. A metodologia empregada para gerar as cartas climatológicas globais é bem embasada, mas pode apresentar falhas em regiões pouco amostradas (Ridgway *et al.* 2002, Antonov *et al.* 2006). No caso da seção escolhida, existem diversos pontos onde a salinidade

média foi calculada com poucos dados ou, em casos extremos, apenas em função de dados adjacentes (Figura 8). Os polinômios, por um lado, foram gerados com um número maior de dados, mas por outro, expressam a relação TS de toda a área. Tendo em vista as vantagens e limitações de cada metodologia, é possível desenvolver estudos na região utilizando tanto a salinidade do WOA-05 como aquela calculada a partir da relação TS, caso da proposta deste trabalho.

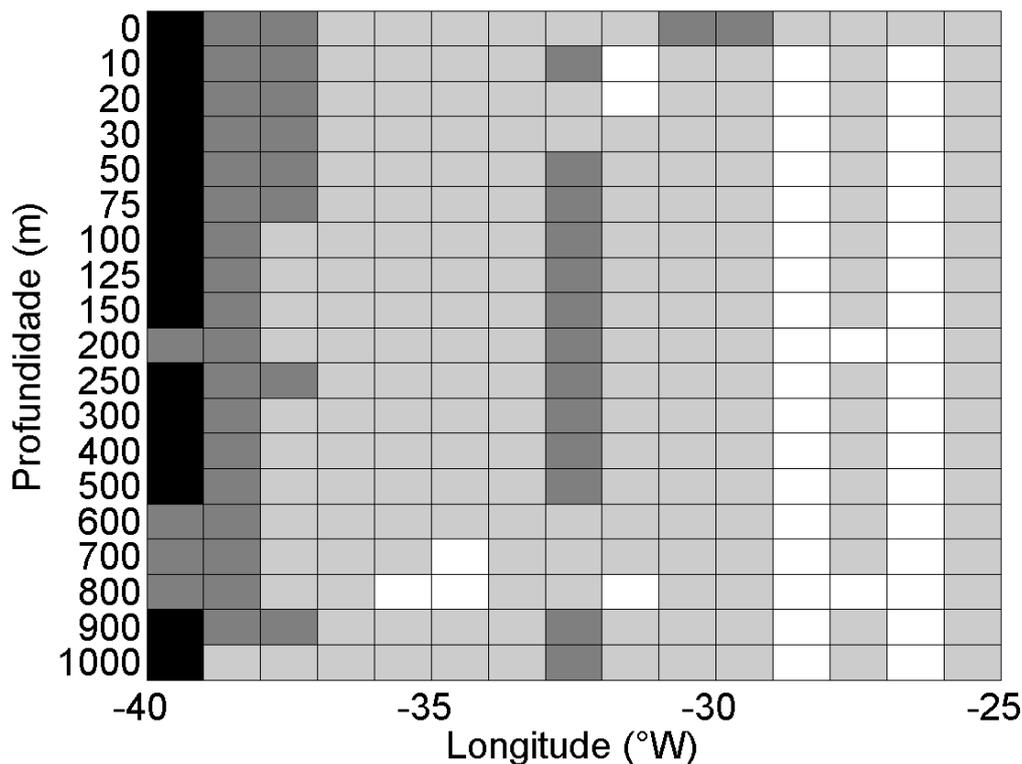


Figura 8: Número de dados usados para calcular a salinidade do WOA-05. A cor preta representa pontos com mais de 15 dados, cinza escuro pontos contendo mais de 5 e até 15 dados, cinza claro de 1 a 5 e branco a ausência de dados.

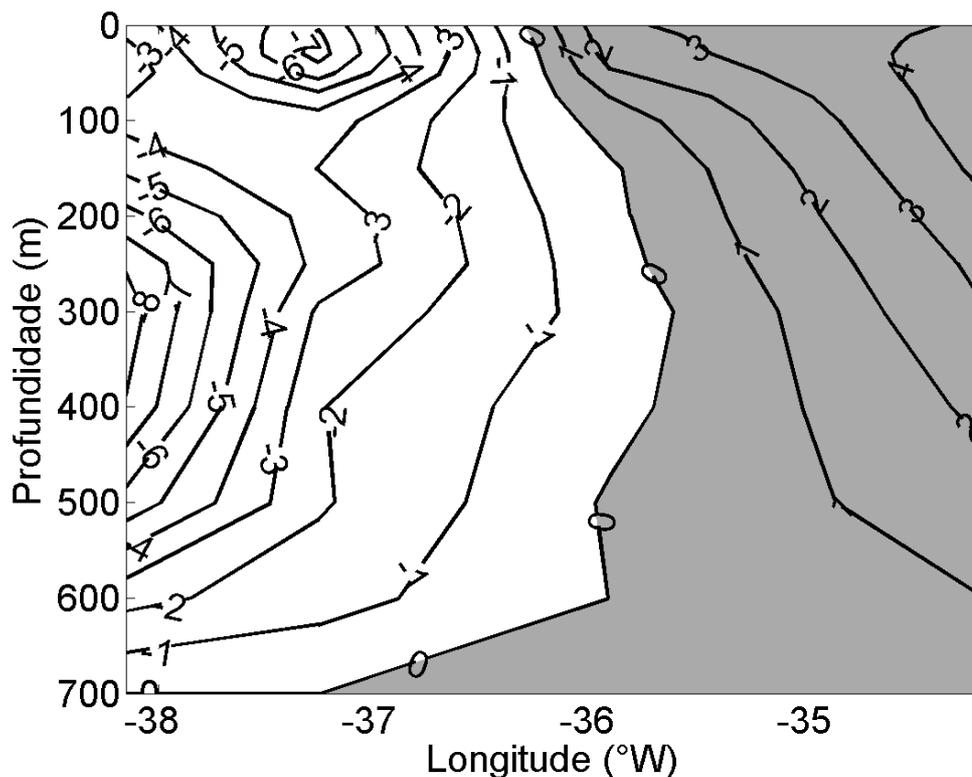


Figura 9: Velocidade baroclínica ao longo da seção 2 obtida a partir dos dados de temperatura e salinidade do WOD-05. A área em branco indica fluxo para sul, e a parte em cinza velocidades para norte. A unidade da velocidade é cm/s e o espaçamento das isolinhas é de 1 cm/s.

Com relação aos resultados obtidos para os dados do WOD-05, seção 2, o campo de velocidade relativo aos valores mensurados (Figura 9) apresenta direção para norte na porção leste, e para o sul na porção oeste da seção. Do mesmo modo que para seção 1, as velocidades obtidas com base na relação TS apresentaram padrão semelhante e foram representados pelo polinômio P5 (Figura 10). Os padrões de circulação baseados no campo termohalino estimado são bastante semelhantes aos obtidos com os dados reais, mas, em geral, a variação das velocidades negativas ocorre de maneira mais suave. Outra diferença notável é que a longitude de inversão da velocidade, lugar em que as velocidades para sul dão lugar ao fluxo para norte,

ficou deslocada para leste. Este fato é o responsável por grande parte da discordância no transporte de volume entre 0 e 700 m ao longo de toda seção 2 (Figura 11). O transporte total foi de $-2,0$ Sv para os dados originais e $-3,5$ Sv para os dados estimados. Se os pares de estação forem considerados de maneira independente, os polinômios representaram satisfatoriamente o transporte de volume em 3 dos 4 pares possíveis. Sabendo que na região existe a presença de vórtices (Schmid *et al.* 1994, Gaeta *et al.* 1999) e que estes podem introduzir anomalias significativas na relação TS durante sua existência, é de se esperar que o estimador não seja capaz de reproduzir todas as possíveis condições termohalinas da região.

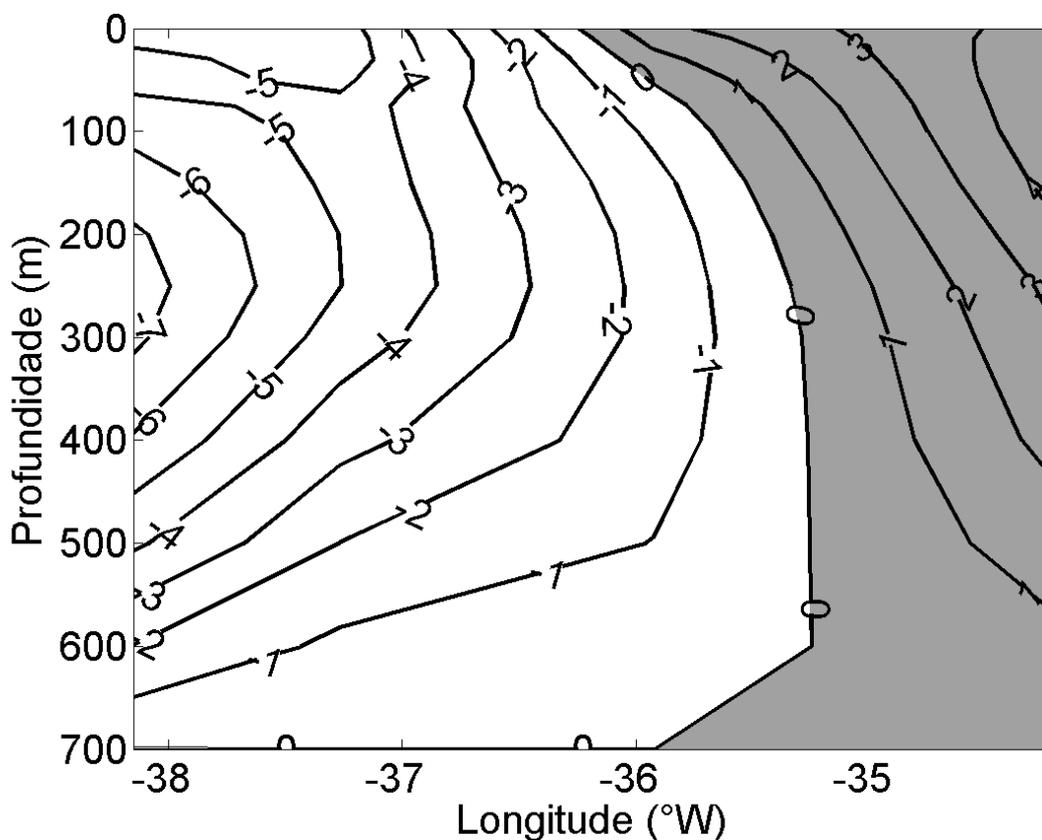


Figura 10: Velocidade baroclínica ao longo da seção 2 obtida a partir dos dados de temperatura do WOD-05 e a salinidade estimada com o polinômio de 5^a ordem. A área em branco indica fluxo para sul, e a parte em cinza velocidades para norte. A unidade da velocidade é cm/s e o espaçamento das isolinhas é de 1 cm/s.

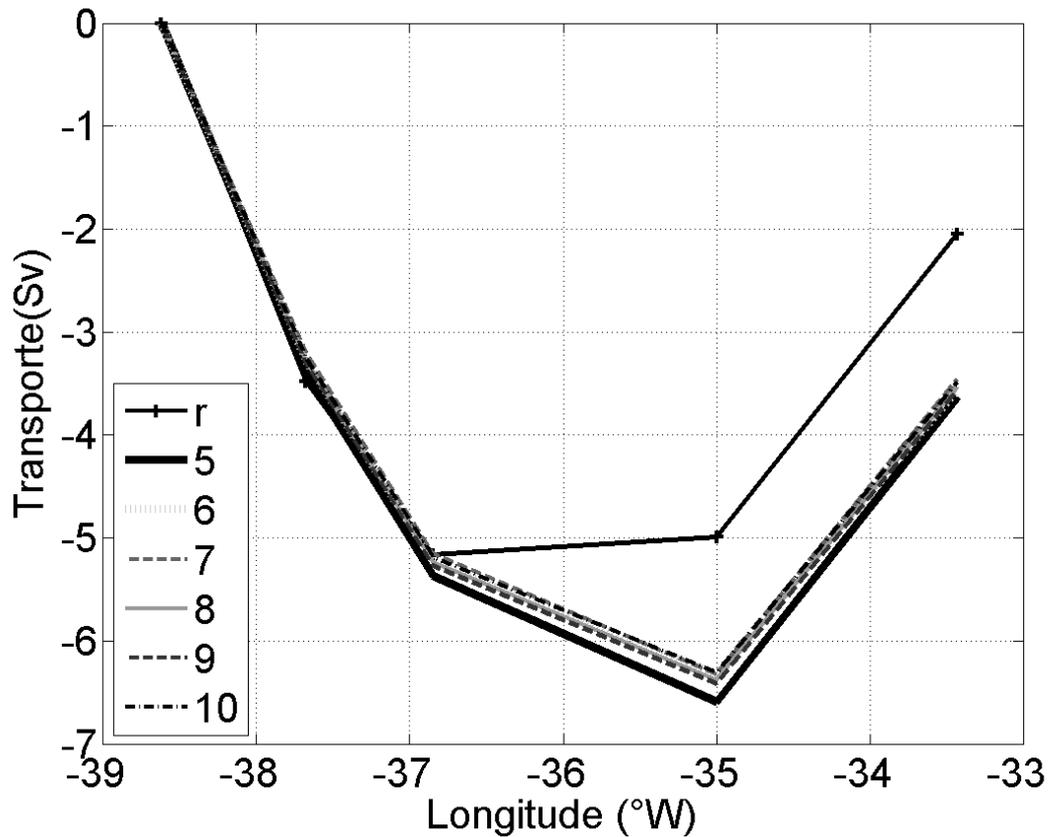


Figura 11: Transporte de volume nos 700 m superficiais acumulado zonalmente, de oeste para leste, ao longo da seção 2. O 'r' na legenda representa o transporte calculado com a salinidade do WOD-05 e os números indicam a ordem do polinômio usado para estimar a salinidade.

A velocidade baroclinica obtida a partir da seção 3, dados da CSE-IV, mostra claramente a presença da CB na porção oeste da seção (Figura 12) e imediatamente a leste da CB é observado jato pouco intenso para norte. A utilização da salinidade estimada para o cálculo da velocidade (Figura 13) resultou em uma pequena intensificação do núcleo da CB, de -85 cm/s para -95 cm/s, e a intensificação de

dois núcleos de velocidades na porção leste da seção sendo com velocidades positivas e outro com negativas. A integração zonal do transporte de volume (Figura 14) mostra que as maiores diferenças estão associadas às intensificações observadas na porção leste, mas estas discrepâncias ficam bastante reduzidas na integração total da seção.

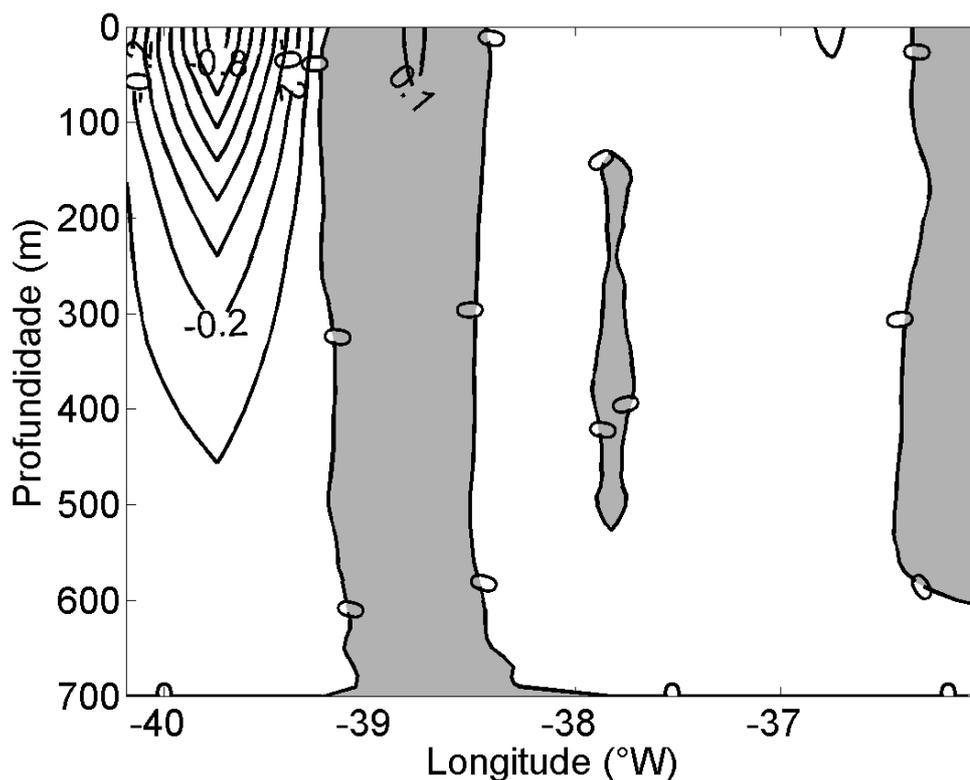


Figura 12: Velocidade baroclínica ao longo da seção 3 obtida a partir dos dados de temperatura e salinidade da CSE-IV. A área em branco indica fluxo para sul, e a parte em cinza velocidades para norte. A unidade da velocidade é m/s e o espaçamento das isolinhas é de 0,1 m/s.

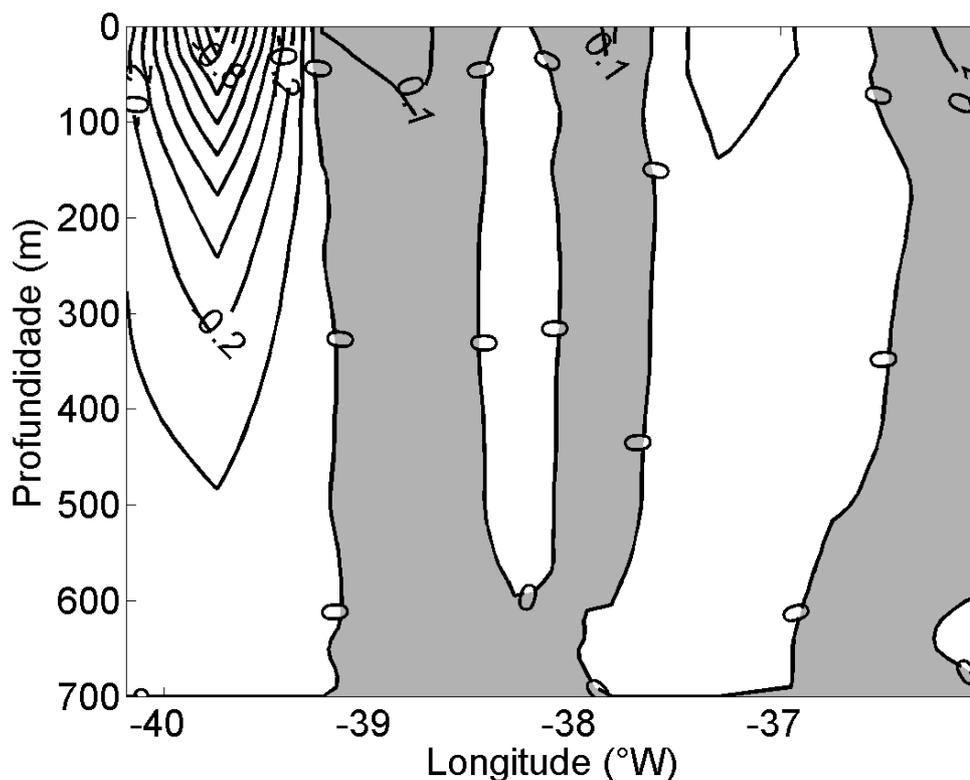


Figura 13: Velocidade baroclínica ao longo da seção 3 obtida a partir dos dados de temperatura da CSE-IV e a salinidade estimada com o polinômio de 5ª ordem. A área em branco indica fluxo para sul, e a parte em cinza velocidades para norte. A unidade da velocidade é m/s e o espaçamento das isolinhas é de 0,1 m/s.

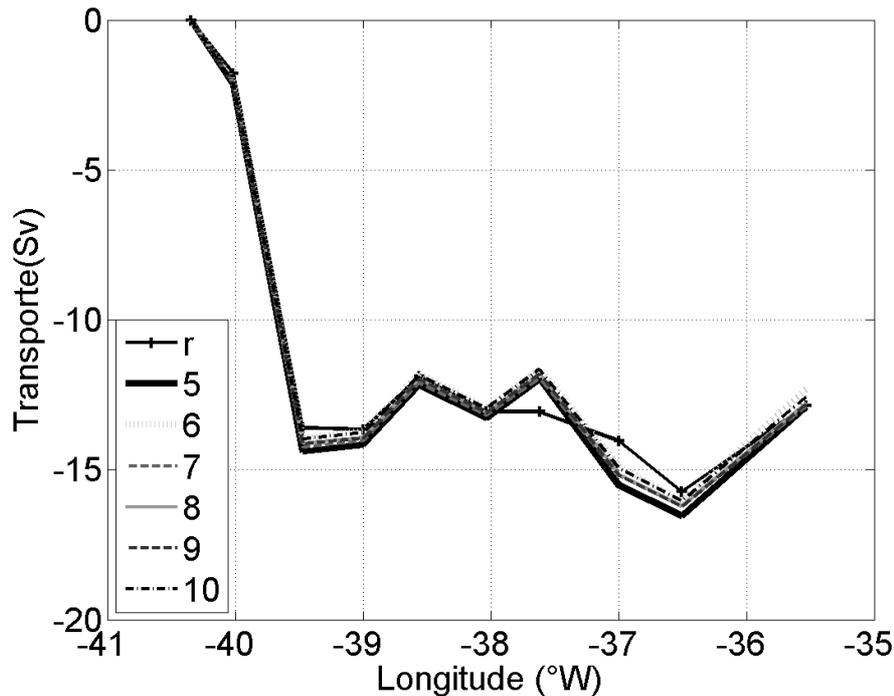


Figura 14: Transporte de volume nos 700 m superficiais acumulado zonalmente, de oeste para leste, ao longo da seção 3. O 'r' na legenda representa o transporte calculado com a salinidade da CSE-IV e os números indicam a ordem do polinômio usado para estimar a salinidade.

A avaliação dos resultados de velocidade e de transporte de volume realizada utilizando dados independentes dos utilizados para obtenção dos polinômios demonstra a eficiência dos estimadores obtidos. O potencial dos polinômios também foi demonstrado utilizando valores médios, representada pelo uso de uma seção extraída do WOA-05, e com uma seção extraída dos dados do WOD-05. Considerando estas três avaliações dos polinômios e a discussão dos respectivos resultados apresentados anteriormente, pode-se verificar que o aumento da

ordem da equação de regressão apresenta melhoras consideráveis até o quinto grau. Como a partir desta ordem, a diferença dos resultados encontrados foi pequena, e para evitar o aumento desnecessário da complexidade dos trabalhos subseqüentes, optou-se pela utilização do polinômio de quinta ordem (Equação 1) junto aos dados do MOVAR. Os resultados apresentados a seguir servem como indicativo do potencial da ferramenta desenvolvida neste trabalho.

Equação 1

$$S = (-1.607980973067401 * 10^{-6}) * T^5 + (9.898453940587239 * 10^{-5}) * T^4 + (-2.423257989541643 * 10^{-3}) * T^3 + (3.483811461746307 * 10^{-2}) * T^2 + (-1.784589259234494 * 10^{-1}) * T + 3.469061170505277 * 10$$

Sendo 'S' a salinidade estimada e 'T' a temperatura medida

As velocidades obtidas para as seções do MOVAR (não mostradas) apresentam uma série de inversões de corrente, as quais refletem diretamente no transporte de volume (Figura 15). Apesar das diferenças, os resultados para os quatro cruzeiros mostram o ápice do transporte para sul concentrado na margem oeste das seções, o que indica a presença da CB nessa região. Ao leste dessa área existe um leve

transporte para norte ou a quase ausência de transporte meridional. A média dos transportes (Figura 16) mostra ainda mais claramente a presença da CB. Os resultados obtidos nesse trabalho indicam presença de alta variabilidade na região e mostram que a continuidade do monitoramento é imprescindível para o estudo da variabilidade da CB e sua provável influencia em áreas mais ao sul.

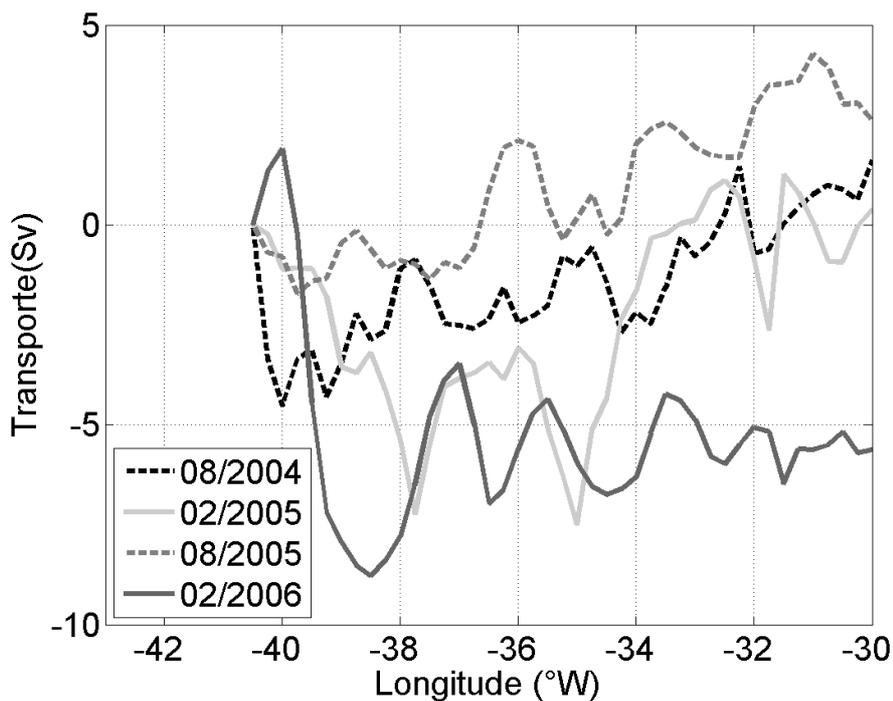


Figura 15: Transporte de volume nos 700 m superficiais acumulado zonalmente, de oeste para leste, ao longo da seção AX97. A legenda indica o mês e ano das amostragens.

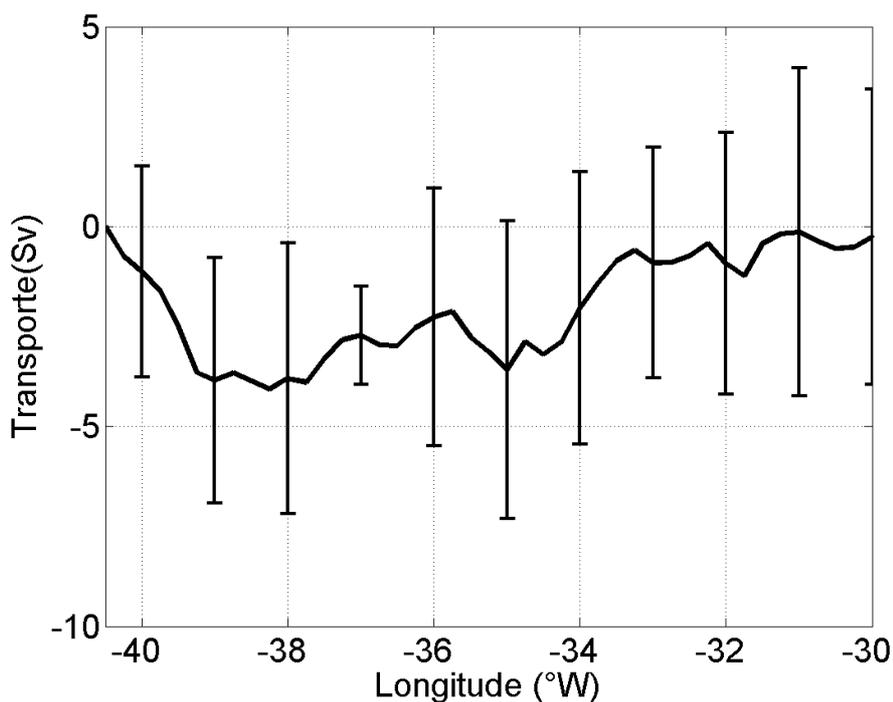


Figura 16: Transporte de volume médio nos 700 m superficiais acumulado zonalmente, de oeste para leste, ao longo da seção AX97. A linha contínua mostra o valor médio e as linhas tracejadas a média +/- o desvio padrão.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma metodologia que permitiu estimar o transporte de volume a partir dos dados de temperatura coletados *in situ* pelo MOVAR. A proposta baseou-se na obtenção de um polinômio regional, possibilitando a estimativa da salinidade a partir de dados medidos de temperatura. Os dados termohalinos resultantes foram então utilizados para aplicação do método dinâmico, permitindo assim estudar variabilidade do transporte ao longo da seção AX97.

Os objetivos do presente estudo se resumiram a primeira etapa, ou seja, obter e testar um estimador de salinidade. Para tal, foram elaborados e testados polinômios de primeira a décima ordem, que expressassem a relação TS anual na camada entre a superfície e 1000 m de profundidade. A relação TS anual foi utilizada em detrimento da sazonal devido à

escassez de dados. O limite de 1000 m foi imposto ao método, uma vez que abaixo desse nível as mudanças de salinidade não estão relacionadas com alterações de temperatura devido às características termohalinas da camada de mistura entre AIA e APAN. Após uma seqüência de testes, os polinômios de primeira a quarta ordem foram descartados, sendo os demais utilizados para estimar o transporte ao longo de duas seções.

Os experimentos utilizando tanto campos sinóticos como campos médios mostraram que existem divergências entre os resultados obtidos com a salinidade original e os obtidos com a salinidade estimada. Entretanto, essas diferenças são justificáveis e não invalidam os estimadores. Como os resultados obtidos com os polinômios de quinta a décima ordem foram muito semelhantes entre si, decidiu-se pela escolha da equação mais simples, P5, para representar a relação TS da região.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é uma contribuição aos projetos MOVAR (CNPq, processo: 486.277/2006-2) e PRO-Abrolhos (CNPq, processo: 420219/2005-6). O Projeto MOVAR faz parte do Programa GOOS-Brasil e tem recebido substancial apoio da SeCIRM, DHN/CHM-Marinha do Brasil e NOAA-AOML (Estados Unidos). M.R.Caspel agradece o apoio da Agencia Nacional do

Petróleo PRH-27-FURG e M.M Mata e M. Cirano o apoio do CNPq (Pq-2 processos 301623/2006-6 e 303928/2008-5), respectivamente. Os autores também gostariam de manifestar seus agradecimentos aos colegas de laboratório pelas discussões e sugestões que muito contribuíram na elaboração deste estudo. Agradecem também as críticas e sugestões apresentadas pelos revisores que contribuíram para a versão final deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- ANTONOV, J. I., R. A. LOCARNINI, T. P. BOYER, A. V. MISHONOV & H. E. GARCIA. 2006. World Ocean Atlas 2005, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 62, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. :182 p.
- BARINGER, M. O. & S. L. GARZOLI. 2007. Meridional Heat Transport determined with Expendable Bathothermographs. Part 1: error estimates from model and hydrographic data. Deep Sea Res. Part 1: Oceanogr. Res. Pap., 54(8):1390-1401
- CARVAL, T, B KEELEY, Y TAKATSUKI, T YOSHIDA, S LOCH, C SCHMID, R GOLDSMITH, A WONG, R MCCREADIE, A THRESHER & A TRAN. 2008. Argo data management: User's manual. Version 2.1. ar-um-02-01: 61 p.
- COLLIER, M. A. & P. J. DURACK. 2006. CSIRO netCDF version of the NODC World Ocean Atlas 2005. Version 2.1. CSIRO Marine and Atmospheric Research Paper 015: 43p
- DA SILVEIRA, I. C. A., A. C. K. SCHMIDT, E. J. D. CAMPOS, S. S. GODOI & Y. IKEDA, 2000. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira, Rev. Bras. Ocean., 48(2): 171-183
- EVANS, D. L., S. R. SIGNORINI & L. B. MIRANDA. 1983. A Note on the Transport of the Brazil Current, J. of Phys. Oceanog., 13(9): 1732-1738
- EMERY, W. J. & R. E. THOMSON. 1998. Data and their analysis methods in Physical Oceanography. Amsterdam, Pergamon Press, 634 p
- FOFONOFF, N. P. & R. C. MILLARD. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. Unesco Tech. Pap. Mar. Sci., 44: 53p.
- FOMIN, L. M.. 1964. The dynamical method in oceanography. Amsterdam, Elsevier, 212 pg.
- GAETA, S. A., J. A. LORENZETTI, L. B. MIRANDA, S. M. M. SUSINI-RIBEIRO, M. POMPEU & C. E. S. DE ARAUJO. 1999. The Vitoria Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. Arch. Fish. Mar. Res., 47(2/3): 253-270.
- HANSEN, D. V. & W. C. THACKER. 1999. Estimation of salinity profiles in the upper ocean. J. of Geophys. Res., 104(C4): 7921-7933
- JOHNSON, D. R., T. P. BOYER, H.E. GARCIA, R. A. LOCARNINI, A. V. MISHONOV, M. T. PITCHER, O. K. BARANOVA, J. I. ANTONOV & I.V. SMOLYAR. 2006. World Ocean Database 2005 Documentation. Ed. Sydney Levitus. NODC Internal Report 18, U.S. Gov. Printing Office, Washington, D.C., 163 p
- LEE, T. N., W. JOHNS, F. SCHOTT & R. ZANTOPP. 1990. Western Boundary Current Structure and Variability East of Abaco,

- Bahamas at 26.5°N. *J. of Phys. Oceanog.*, 20(3):446-466
- LOCARNINI, R. A., A. V. MISHONOV, J. I. ANTONOV, T. P. BOYER & H. E. GARCIA. 2006. *World Ocean Atlas 2005, Volume 1: Temperature*. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 61, U.S. Gov. Printing Office, Washington, D.C.: 182 p.
- MATA, M. M., M. TOMCZAK, S. WIJFFELS & J. A. CHURCH. 2000. East Australian Current volume transport at 30°S: Estimates from World Ocean Circulation Experiment hydrographic sections PR11/P6 and the PCM3 current meter array. *J. of Geophys. Res.*, 105(C12): 28509-28526
- MORRIS, M., D. ROEMMICH & B. CORNUELLE. 1996. Observations of variability in the South Pacific Subtropical Gyre. *J. of Phys. Oceanog.*, 26(11): 2359-2380
- OORT, A. H., S.C. ASCHER, S. LEVITUS & J. P. PEIXOTO. 1989. New estimates of the available potential energy in the World Ocean. *J. of Geophys. Res.*, 94(C3): 3187-3200.
- PEARCE, A.. 1981: Temperature-Salinity relationships in the Tasman Sea. *Aust. CSIRO Div. Fish. Oceanog. . Rep.* 135: 41 p.
- RIDGWAY, K. R., J. R. DUNN, J. L. WILKIN. 2002. Ocean Interpolation by Four-Dimensional Weighted Least Squares—Application to the Waters around Australasia. *J of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19: 1357-1375.
- RINTOUL, S. R., S. SOKOLOV & J. CHURCH. 2002. A 6 year record of baroclinic transport variability of the Antarctic Circumpolar Current at 140°E derived from expendable bathythermograph and altimeter measurements. *J. of Geophys. Res.*, 107 (C10): 3155, 10.1029/2001JC000787
- ROEMMICH, D. & B. CORNUELLE. 1990. Observing the fluctuations of Gyre-Scale Ocean Circulation: A study of Subtropical South Pacific. *J. of Phys. Oceanog.*, 20(12):1919-1934
- SCHMID, C., H. SCHÄFER, G. PODESTÁ & W. ZENK. 1994. The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current. *J. of Phys. Oceanog.*, 25(11): 2532-2546
- SIGNORINI, S. R., L. B. MIRANDA, D. L. EVANS, M. R. STEVENSON & H. M. INOSTROZA. 1989. Corrente do Brasil: estrutura térmica entre 19° e 25°S e circulação geostrófica. *Bolm Inst. Oceanog.*, 37(1): 33-49
- STOMMEL, H.. 1947. Note on the use of the T-S correlation for dynamic height anomaly calculations. *J. Mar. Res.*, 6(2): 85-92
- STRAMMA, L. & M. ENGLAND. 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *J. of Geophys. Res.*, 104(C9): 20863-20883
- STRAMMA, L. & F. SCHOTT. 1999. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean, *Deep-Sea Res. Part 2: Trop. Stud. Oceanogr.*, 46(1-2): 279-303
- TOMCZAK, M. & J. S. GODFREY. 1994. *Regional Oceanography: An introduction*. Elsevier, New York, 422p.
- WIJFFELS, S. E., J. WILLIS, C. M. DOMINGUES, P. BARKER, N. J. WHITE, A. GRONELL, K. RIDGWAY & J. A. CHURCH. 2008. Changing expendable Bathythermograph fall-rates and their impact on estimates of thermosteric sea level rise. *NOAA XBT Fall Rate Workshop. Reading Material*, 3: 51p
- WONG, A., R. KEELEY, T. CARVAL & ARGO DATA MANAGEMENT TEAM. 2008. *Argo data management: Argo quality control manual*. 33p.

Recebido: 04/02/2009

Aceito: 16/03/2009