

CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA MODAL SUBTROPICAL NO ATLÂNTICO SUDOESTE: UM ESTUDO OBSERVACIONAL

Ferreira^{1,2}, M. B.; Bernardo², P. S.; Sato², O. T.; Polito², P. S.

¹*Marinha do Brasil – Centro de Hidrografia da Marinha – CHM
Rua Barão de Jaceguai, s/n^o - Ponta da Armação – Niterói – RJ CEP 24048-900*

²*Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo – IO-USP
Praça do Oceanográfico, 191 – Cidade Universitária – São Paulo – SP CEP 05508-120
marcioborges@usp.br*

RESUMO

Amplamente estudadas no Hemisfério Norte, as águas modais constituem grandes volumes d'água capazes de diagnosticar alterações climáticas ocorridas na atmosfera e mudanças nos processos de troca de calor oceano-atmosfera ao longo do tempo. Entretanto, no Atlântico Sul, são ainda escassos os estudos dos processos de formação, subducção e dissipação dessas feições, assim como a observação de seu volume médio, variabilidade e periodicidade. Este estudo decorre de dados obtidos por meio do primeiro cruzeiro oceanográfico que se tem registro, planejado e conduzido exclusivamente para o estudo de águas modais subtropicais no Atlântico Sul. Seu objetivo é a observação deste fenômeno e a descrição de parâmetros físicos que contribuem para a sua formação, manutenção e destruição e portanto preencher uma lacuna de conhecimento na região da Confluência Brasil-Malvinas.

Palavras chave: Água Modal, Confluência Brazil-Malvinas, Interação Oceano-Atmosfera

INTRODUÇÃO

Por suas características termohalinas, algumas regiões dos oceanos favorecem particularmente a formação de águas modais subtropicais. As regiões de encontro de Correntes de Contorno Oeste (CCO), no limite mais próximo dos pólos nos giros subtropicais, constituem exemplos típicos dessas áreas de formação. No Atlântico Sudoeste essa região de encontro recebe o nome de Confluência Brasil-Malvinas (CBM) e ocorre aproximadamente entre as latitudes de 36°S e 38°S, onde a Corrente do Brasil (CB) se afasta da costa, devido ao encontro de suas águas quentes e salinas com as águas de origem subpolar da Corrente das Malvinas (CM) (Garzoli & Garrafo, 1989).

O balanço negativo de calor total do oceano para a atmosfera que ocorre durante o inverno possibilita a formação de grandes volumes de águas modais nessas regiões. Esta perda de calor do oceano redundando no decréscimo do empuxo destas massas d'água formadas, provocando o movimento das mesmas da superfície para baixo.

O movimento convectivo que é gerado durante os invernos incrementa a mistura vertical das camadas da superfície até o fundo da camada de mistura. Posteriormente, com o desenvolvimento da termoclina sazonal durante a primavera e o verão, e reestratificação das camadas superiores, esta camada de mistura profunda gerada no inverno é isolada da superfície. Com isso, têm-se a água modal formada e confinada abaixo da termoclina sazonal e acima da termoclina permanente, com sua temperatura, salinidade e vorticidade potencial características homogêneas e bem definidas (Provost *et al.* 1999). Ao longo do ano, este

Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira

XI Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite
volume de água modal sofrerá advecção lateral ao longo de sua isopicnal e dissipação, provocando sua migração para regiões distantes de seu local de formação (Douglass *et al.* 2013).

Devido ao rápido aprofundamento das isopicnais em direção ao norte na região da CBM, através da frente encontrada no limite sul do giro subtropical do Atlântico Sul (Hanawa & Talley, 2001), a região compreendida entre o fluxo principal da Corrente do Brasil (CB) e o seu lóbulo de retroflexão, apresenta aspectos propícios para a formação de um espesso volume de água modal ao norte da frente e no lado mais quente desta, onde se encontra a CB. Tal região tem ainda potencializada sua capacidade de formação desta água modal devido à grande perda de calor latente ocorrida durante o inverno.

A escassez de estudos que elucidem a caracterização, o volume, o tempo de permanência e a deriva desta massa de água nesta região do Atlântico Sul, suscitou a realização deste trabalho.

OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é contribuir para o aumento da acurácia de modelos numéricos de previsão, como por exemplo, aqueles empregados pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Para tal, visamos aprofundar o conhecimento da variabilidade da Água Modal Subtropical do Atlântico Sul (AMST) na região da Confluência Brasil–Malvinas (CBM) e da retroflexão da Corrente do Brasil (CB), a fim de compreender melhor seus mecanismos formadores, sua distribuição espacial e suas implicações na região.

METODOLOGIA

Foram utilizados dados hidrográficos *in situ* (perfiladores Argo, CTD e XBT) para verificação da ocorrência da Água Modal Subtropical no sudoeste do Atlântico Sul (AMST) no período de 2002 a 2012. Esses dados são oriundos do sistema *In Situ Analysis System* (ISAS) (Gaillard *et al.* 2009) desenvolvido e mantido pelo *Laboratoire de Physique des Océans* (LPO) pertencente ao *Institut Français de Recherche pour l'exploitation de La Mer* (Ifremer). O mapa da persistência da AMST nos meses de abril e maio do período de dez anos supracitado serviu de referência para o planejamento das 45 estações oceanográficas do cruzeiro, na área compreendida entre 30°–38°S e 30°–40°W, realizadas pelo NHO “Cruzeiro do Sul” entre 01 de abril e 08 de maio de 2015.

Foram coletados dados de temperatura, salinidade, e pressão com sistema CTD/Rosette equipado ainda com sensores de oxigênio dissolvido, fluorímetro e turbidímetro. As amostras de água coletadas foram processadas e filtradas a bordo para posterior análise no Laboratório de Hidroquímica do Instituto Oceanográfico da Fundação Universidade do Rio Grande (FURG). Tal análise visa correlacionar os parâmetros físicos, químicos e biológicos obtidos nas amostras com características típicas da AMST. Com isso, visamos identificar possíveis traçadores e a interação destes com os processos de formação e subducção da água modal.

O tratamento inicial dos dados hidrográficos consistiu na aplicação de um filtro para remoção de valores maiores ou menores que 3 vezes o desvio padrão do trecho de coluna de água adjacente. Em seguida foi realizada a média em caixas, a fim de estabelecer o espaçamento vertical dos dados, e realizada a interpolação horizontal 2-D por *spline* suave dos dados obtidos, por nível amostrado, a fim de obter a distribuição horizontal dos dados numa grade regular de 1°X 1°, na área compreendida entre 30°–38°S e 30°–40°W.

Os mapas horizontais interpolados foram então sobrepostos, a fim de possibilitar o cálculo da vorticidade potencial (Q), negligenciando a parcela devido à vorticidade relativa, sendo $Q = (f/\rho)(\partial\rho/\partial z)$, onde f é o parâmetro de Coriolis, ρ é a densidade potencial na camada

Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira

XI Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite e z é a coordenada vertical (Hanawa & Talley, 2001). Assim sendo, valores de Q menores que $1,5 \times 10^{-10} \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$ e gradiente vertical de temperatura menor que $0,01^\circ\text{C}/\text{m}$, foram classificados como possíveis amostras de água modal subtropical. Posteriormente, apenas para os perfis classificados como contendo água modal subtropical, foi aplicado o critério de temperatura e salinidade médias de $15,0 \pm 0,9^\circ\text{C}$ e $35,6 \pm 0,2$, respectivamente, a fim de detectar aqueles que continham a AMST (Sato & Polito, 2014).

RESULTADOS

Os mapas da distribuição horizontal de volume, espessura, profundidades mínima e máxima da camada de AMST detectada por meio dos dados interpolados das 45 estações oceanográficas (Figura 1) demonstraram a existência da AMST em menores profundidades ($\sim 100\text{m}$) na porção SE da área de estudo, com maior espessura da camada na porção intermediária e ocorrência em regiões mais profundas (de 250 a 330m) na porção NW da área de estudo.

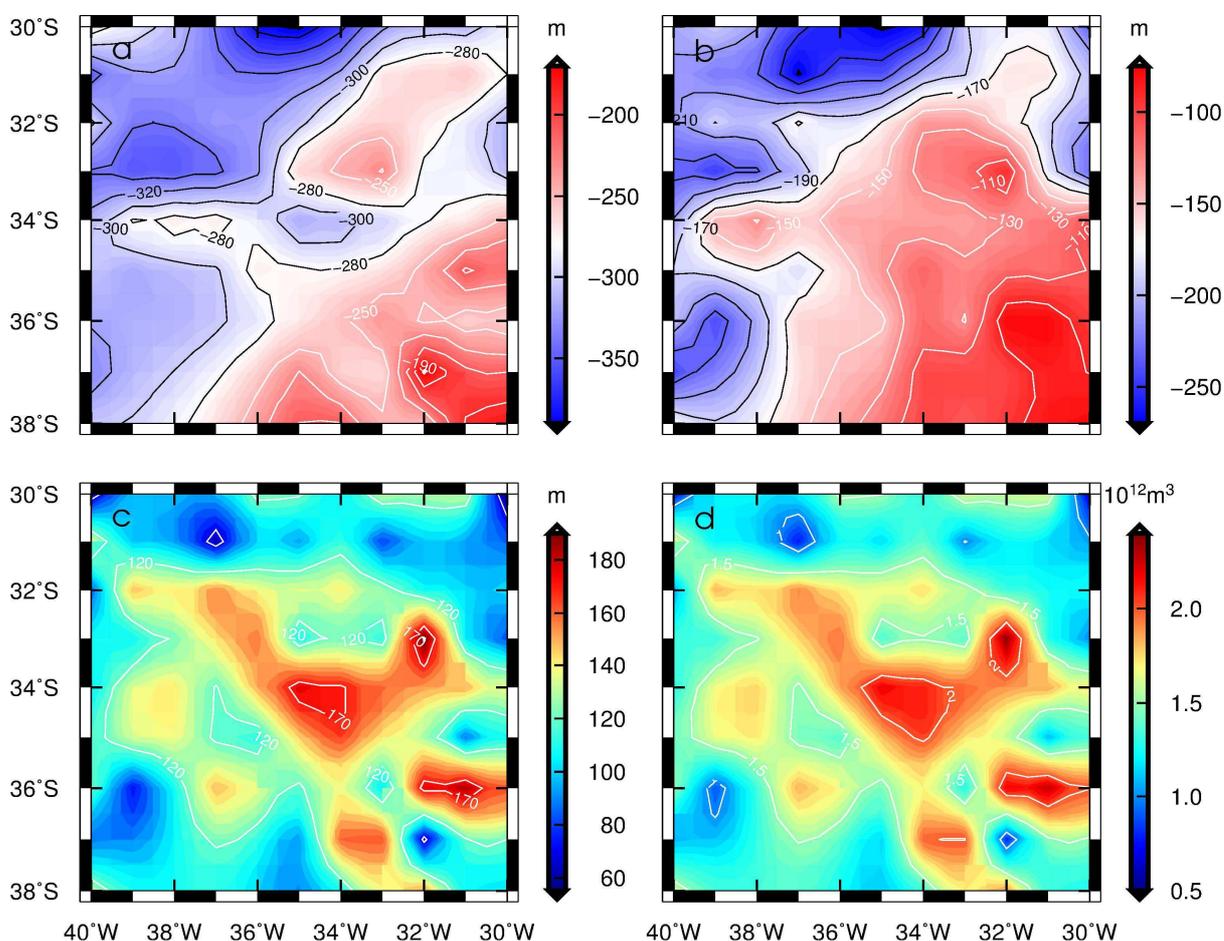


Figura 1 – Mapa horizontal de profundidades máxima e mínima em metros (painéis “a” e “b”), espessura em metros e volume (em m^3) (painéis “c” e “d”), da camada de AMST observada em cada ponto da área de estudo.

As posições dos perfis selecionados após o último critério foram plotadas em seções meridionais de temperatura, salinidade, densidade e oxigênio, para cada grau de longitude

XI Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite entre 30°W e 40°W, com anotação da espessura da camada observada no perfil. Tais seções evidenciaram a existência de três setores distintos na camada de AMST, conforme o observado nos mapas de distribuição horizontal da AMST na área de estudo.

CONCLUSÕES

Os dados coletados no cruzeiro permitiram observar a existência de uma espessa camada de água modal na área de estudo, com variação meridional da sua posição vertical na coluna d'água. Por tratar-se de um fenômeno diretamente relacionado com a interação oceano-atmosfera, é plausível considerar que as menores profundidades iniciais observadas ao sul da área de estudo se devem à existência de AMST formada recentemente e mais próxima da região de formação, quando comparada às maiores profundidades de ocorrência observadas ao norte da área de estudo, possivelmente associadas à AMST mais antiga. As espessuras maiores existentes na porção central da área denotam uma zona de transição em que ocorre o acúmulo maior de volumes de AMST formados em diferentes invernos.

A análise química das amostras de água coletadas no cruzeiro pode permitir a identificação da data de formação da AMST no futuro. Além disso, a realização de um novo cruzeiro oceanográfico entre os meses de agosto e outubro deste ano, em complemento ao cruzeiro apresentado neste estudo, propiciará a identificação precisa do processo de formação e do volume de AMST recém formado ao término do inverno no Atlântico Sudoeste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOUGLASS, E. M.; KWON, Y.-O & JAYNE, S. R. 2013. A Comparison of North Pacific and North Atlantic Subtropical Mode Waters in a Climatologically-forced Model. *Deep-Sea Research II*. 91: 139–151.

GAILLARD, F.; BRION, E. & CHARRAUDEAU, R. 2009. ISAS_V5: Description of the Method and User Manual. *Rapport LPO 09-04*. 34p.

GARZOLI, S. L. & GARRAFO, Z. 1989. Transports, Frontal Motions and Eddies at the Brazil-Malvinas Currents Confluence. *Deep-Sea Research*. 36(5): 681–703.

HANAWA, K. & TALLEY, L. 2001. Mode Waters, in Ocean Circulation and Climate. *International Geophysics Series*. Academic Press, London, U. K. pp 373–386.

PROVOST, C.; ESCOFFIER, C.; MAAMAATAUIAHUTAPU, K.; KARTAVTSEFF, A. & GARÇON, V. 1999. Subtropical Mode Waters in the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*. 104(C9): 21033–21049.

SATO, O. T. & POLITO, P. S. 2014. Observation of South Atlantic Subtropical Mode Waters with Argo Profiling Float Data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 119, doi:10.1002/2013JC009438.