O IMPACTO DA PRESENÇA DA ÁGUA MODAL SUBTROPICAL EM NUTRIENTES

Birocchi[1] , P.; Bernardo[1], P. S.; Sato[1], O.T.

[1]*Laboratório de Oceanografia por Satélites (LOS)*
Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP)
Praça do Oceanográfico, 191 - CEP: 05508-120 - São Paulo, SP - Brasil
paula.birocchi@usp.br

RESUMO

A água modal subtropical do Atlântico Sul (AMST) é formada entre os meses de junho e outubro próximo à confluência Brasil-Malvinas. A hipótese do trabalho é que a presença da água modal influencia na distribuição dos nutrientes e na profundidade da nutriclina. Daddos climatológicos mensais e de modelo foram utilizados para identificar a água modal e determinar como ela modifica o conteúdo de nutrientes. Durante o ano todo a AMST pode ser observada em subsuperfície. No inverno ela se forma em superfície alcançando aproximadamente 250 m de espessura. A formação da AMST durante o inverno tem uma relação com a homogeneização vertical da concentração de nitrato na região.

Palavras chave: água modal, Atlântico Sul, nutriente

INTRODUÇÃO

A Água Modal Subtropical (AMST) no sudoeste do Atlântico Sul é caracterizada como um destacado volume de água confinado entre a termoclina sazonal e permanente. Ela é formada durante o inverno até o início da primavera entre os meses de julho e outubro (Sato e Polito 2014). Caracteriza-se por uma camada que possui propriedades físicas como temperatura (T) e salinidade (S) praticamente constantes tanto na horizontal, por aproximadamente 3000 km centrada em 35°S na direção zonal e 1000 km meridionalmente, quanto na vertical na coluna d'água alcançando em média 170 m.

Águas modais já foram identificadas em todas as bacias oceânicas e estão associadas ao lado quente de correntes ou de frentes oceânicas (Hanawa e Talley 2001). A AMST é gerada em associação à correntes de borda oeste nos giros subtropicais. A análise de Palter et al. (2005) sugere que a formação e advecção podem influenciar processos biogeoquímicos no giro subtropical por introduzir variabilidade no reservatório de nutrientes de subsuperfície.

OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é determinar se a presença da água modal subtropical no Atlântico Sul está correlacionada com a diminuição da concentração de nutrientes na região. O trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os campos climatológicos de nutrientes (nitrato, fosfato e silicato) na região de presença de água modal subtropical no sudoeste do Atlântico Sul;
- Através da utilização de um modelo físico-biológico, determinar a concentração integrada de nutrientes dentro do volume de água modal;
- Determinar como a concentração de nutrientes varia em escala sazonal através de análise dos dados e perfis verticais.

METODOLOGIA

Três conjuntos de dados foram utilizados neste trabalho:

- Dados de climatologia mensal de temperatura (T), salinidade (S), silicato, fosfato e nitrato do World Ocean Atlas 2013 (WOA13) (Locarnini et al. 2013; Garcia et al. 2014) que utilizaram a base de dados entre 1955 e 2012 para gerarem um campo 3D com resolução espacial de 1°. Os dados de T e S alcançam 1500 m (57 níveis) e de nutrientes alcançam apenas 500 m de profundidade (37 níveis).
- Dados médios semanais de nitrato, silicato e fosfato da análise global da Biogeoquímica dos Oceanos - MyOcean (Paul et al. 2015) - desenvolvida por Mercator Ocean em Toulouse, França. A grade é retangular com 1/2°de resolução horizontal com 52 níveis de 0 a 5500 m na vertical.
- Dados de T e S do In Situ Analysis System (ISAS) (Gaillard et al. 2009) desenvolvido pelo Laboratoire de Physique des Océans (LPO). Os dados dessa análise são globais separados em médias mensais de 2002 a 2012, sendo a longitude com resolução de 0.5 °e a latitude com resolução variada. A profundidade possui 152 níveis em intervalos não regulares.

Os dados de climatologia foram utilizados para identificação da água modal e para analisar como se encontra as concentrações de nutrientes na região de estudo. Analisamos os intervalos de T e S para água modal no conjunto de dados do ISAS conjuntamente com os dados de nutrientes do MyOcean para estudar se a presença AMST está relacionada com a diminuição da concentração de nutrientes. Os dados foram selecionados até 1000 m pois a água modal é um fenômeno que ocorre nas camadas superiores. Os dados foram interpolados linearmente na coluna d'água de 5 em 5 m. Realizamos a estimativa da temperatura potencial, densidade potencial e vorticidade potencial (q), sendo valores de $q <= 1.5 \times 10^{10} m^{-1} s^{-1}$ são indicativos da presença da água modal (Sato e Polito 2014) . Para calcular q utilizamos a seguinte fórmula:

$$q = \frac{f}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \tag{1}$$

ρ é a densidade potencial; f é o parâmetro de Coriolis e z é a profundidade.

A região de ocorrência da água modal é entre as latitudes de 50°S a 20°S e longitudes de 70°W a 20°W, usando-se os valores determinados por Sato e Polito (2014). Foram utilizadas temperatura entre 14.1°C e 18.5°C e salinidade entre 34.7 e 36.5 para identificar a AMST nos perfis de T e S. Uma vez que a região da água modal foi identificada na climatologia, perfis de nutrientes dos dados do MyOcean foram selecionados e correlacionados com os dados de T e S do ISAS para os meses de inverno (julho, agosto e setembro). Posteriormente, a concentração de nutrientes foi integrada na coluna d'água na região de presença da AMST para avaliarmos se a presença da água modal resulta em variações no conteúdo de nutriente na coluna d'água..

RESULTADOS

Baseando-se nos dados de climatologia, durante o verão (janeiro, fevereiro e março) a espessura máxima encontrada foi 145 m e a espessura média foi de 112 ± 5.0 m. Já no inverno, a espessura máxima foi de 250 m e espessura média foi de 155 ± 20.3 m (Figura 1). No inverno, foram encontrados 28 perfis verticais com a presença da AMST na superfície. Já no verão, a AMST se encontra em subsuperfície, de 100 m a 225 m de profundidade. Conforme previsto, a formação de AMST ocorre principalmente no inverno até o meio da primavera.

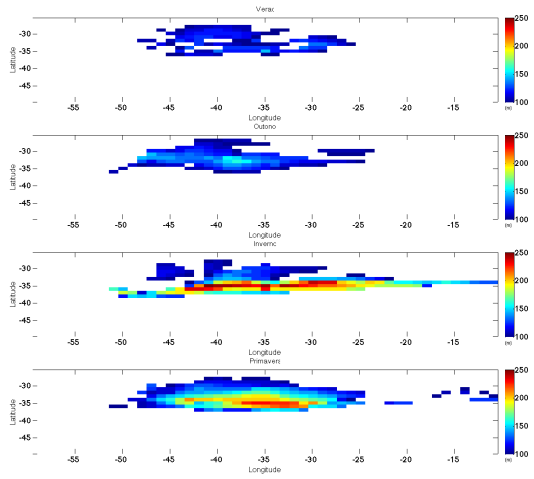

Figura 1: Locais onde foram encontradas espessuras maiores que 100 m para a AMST 1 para o verão (janeiro, fevereiro, março), outono (abril, maio, junho), inverno (julho, agosto, setembro) e primavera (outubro, novembro, dezembro) e os respectivos valores de espessura (m) indicados na barra de cores à direita dos mapas, utilizando os dados do WOA13.

O perfil vertical do WOA13 em 36.5°S, 36.5°W foi selecionado por representar uma região de formação da AMST durante o inverno, onde T e S apresentaram valores bastante homogêneos de 0 a 200 m e vorticidade potencial com valores iguais ou menores que $1.5 \times 10^{10} m^{-1} s^{-1}$ (Figura 2A) e onde as concentrações de nitrato e silicato apresentaram-se bastante uniformes e homogêneas desde 0 m até 100 m (Figura 2B). Além da homogeneidade na coluna d'água, os nutrientes apresentaram concentrações mínimas na mesma região do perfil vertical onde encontramos a água modal na Figura 2A.

Esse fato pode ser um indício de que a formação da AMST pode causar um aprofundamento da camada mínima de nutrientes, gerando o aprofundamento da nutriclina. Porém, não podemos fazer tal afirmação sem analisar a variação espacial e temporal da água modal e sua relação com os nutrientes. Para a análise espacial, a Figura 2C mostra três perfis verticais em regiões distintas com dados do MyOcean e do ISAS durante o mês de setembro de 2012, numa época que ocorre formação de água modal além de existir um volume submerso de águas modais formadas em anos anteriores. Esses perfis verticais foram selecionados na latitude de 36.5°S, mas em longitudes distintas. Da esquerda para a direita, temos os perfis situados em 36.5°W, que indica formação da AMST; em 24°W, indicando AMST em subsuperfície; e 20.5°W, que indica uma região sem presença da AMST (Figura 2C). Numa mesma latitude (36.5°S), foi encontrada a região de formação de água modal (36.5°W, 36.5°S) e o aprofundamento da camada mínima da concentração de nitrato até aproximadamente 150 m (Figura 2C). É possível observar que, esse aprofundamento ocorre no local onde a água modal atinge profundidade de aproximadamente 220 m. No perfil vertical com AMST em subsuperfície (Figura 2C, ao centro) e no perfil onde não houve detecção da AMST (Figura 2C, a direita), observamos que a camada mínima da concentração de nitrato alcança apenas 100 m de espessura. Dessa forma, podemos observar que possivelmente existe uma correlação entre a formação da AMST no sudoeste do Atlântico Sul e o aprofundamento da camada de concentração mínima de nitrato na região.

CONCLUSÕES

Nos dados de climatologia do WOA13, a espessura máxima da AMST no verão foi de 145 m e no outono foi de 160 m e a AMST foi detectada apenas em subsuperfície. Já no inverno e primavera, a água modal foi encontrada em superfície, em 28 perfis com espessura máxima de 250 m no inverno, e com espessuras de até 230 m em 16 perfis na primavera, ocorrendo formação de água modal nessas estações do ano. A partir dos mapas e perfis verticais

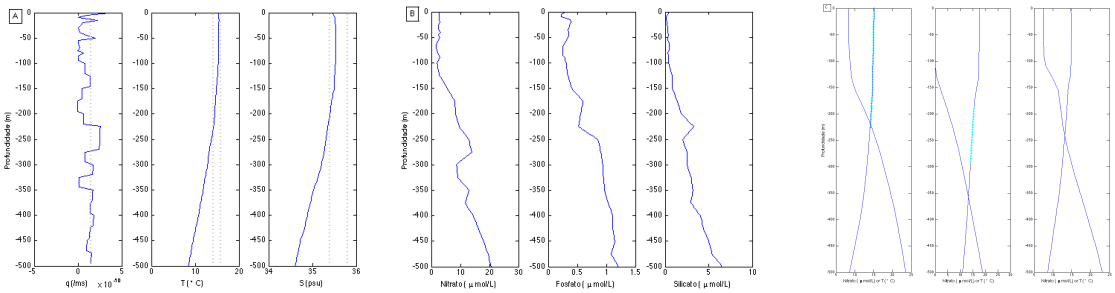

Figura 2: **(A)** Perfis verticais de q (esquerda), T (centro) e S (direita) para o inverno (WOA13) em 36.5°W e 36.5°S . A linha cinza tracejada indica os limites para água modal.**(B)** Concentrações de nitrato (esquerda), fosfato (centro) e silicato (direita) em 36.5°W, 36.5°S para o inverno (WOA13). **(C)** Perfis de T (ISAS) e concentrações de nitrato (μmol/L) (MyOcean), para a latitude 36.5°S, mas em longitudes diferentes: em 36.5°W (a esquerda), em 24°W (ao centro) e em 20.5 °W (a direita), para setembro de 2012.

analisados, podemos concluir que a principal formação de AMST ocorre no inverno até o meio da primavera.

Nos dados de climatologia de nutrientes do WOA13, mostramos a partir do perfil vertical, em 36.5°W e 36.5°S, que na mesma região de formação de água modal encontramos baixas concentrações de nutrientes da superfície até a subsuperfície em aproximadamente 150 m. Nos dados do modelo, em setembro de 2012, encontramos um aumento da espessura da camada de mínima concentração de nitrato em subsuperfície, na mesma região em que detectamos a água modal em superfície. Portanto, provavelmente que existe uma correlação entre o aprofundamento da camada superficial de concentração mínima de nitrato e a formação de água modal subtropical. Essa mesma relação foi encontrada por Palter et al. (2005) em seu trabalho no Atlântico Norte em julho de 1960 e 1997 para a Água de Dezoito Graus. Porém, essa relação depende de outros processos biogeoquímicos que não são inerentes ao processo de formação de água modal. Futuramente, pretendemos realizar uma análise temporal da formação de AMST juntamente com os dados de nutrientes. Pretendemos também analisar dados de clorofila-a adquiridos pelos resultados de modelo do MyOcean para relacionar com as concentrações de nutrientes encontradas para a água modal.

Referências

Gaillard, F., E. Brion, e R. Charraudeau (2009). Isas–v5: Description of the method and user manual. *IFREMER Rapport LPO*, 09–04.

Garcia, H., R. Locarnini, T. Boyer, J. Antonov, O. Baranova, M. Zweng, J. Reagan, e D. Johnson (2014). World ocean atlas 2013, volume 4: Dissolved inorganic nutrients (phosphate, nitrate, silicate), s. *A. Mishonov Technical Ed*, 1–25.

Hanawa, K. e L. Talley (2001). Mode waters, ocean circulation and climate. *International Geophysics Series 77*(5.4), 373–386.

Locarnini, R., A. Mishonov, J. Antonov, T. Boyer, H. Garcia, O. Baranova, M. Zweng, C. Paver, J. Reagan, D. Johnson, et al. (2013). World Ocean Atlas 2013. Vol. 1: Temperature. *A. Mishonov, Technical Ed. NOAA Atlas NESDIS 73*, 40.

Palter, J. B., M. S. Lozier, and R. T. Barber (2005). The effect of advection on the nutrient reservoir in the North Atlantic subtropical gyre. *Nature 437*(7059), 687–692.

Paul, J., C. Perruche, and A. Hameau (2015). Global ocean biogeochemistry analysis and weekly forecast: Product user manual.

Sato, O. e P. Polito (2014). Observation of South Atlantic subtropical mode waters with Argo profiling float data. *Journal of Geophysical Research: Oceans 119*(5), 2860–2881.