

Climatologia e variabilidade ambiental marinha na região do Banco dos Abrolhos determinada por satélites: resultados preliminares do projeto Pro-Abrolhos

Ronald Buss de Souza ¹
Douglas Francisco Marcolino Gherardi ¹
Olga Tiemi Sato ²
Paulo Simionatto Polito ²
Milton Kampel ¹
Carlos Alexandre Domingos Lentini ³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas 1758, 12227-010, São José dos Campos, Brasil
{ronald,douglas,milton}@dsr.inpe.br

² Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IOUSP
Praça do Oceanográfico 191, 05508-120, São Paulo, SP, Brasil
{olga,polito}@io.usp.br

³ Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME
Av. Rui Barbosa 1246, 60115-221, Fortaleza, Brazil
lentini@funceme.br

Abstract. Satellite-derived sea surface temperature (SST), chlorophyll concentration (CC), surface winds (SWind) and sea surface high (SSH) data are used here to characterize the climatology and space-time variability of the Abrolhos Bank coral reef vicinity in the South Atlantic Ocean. Results show that the SST, CC, SWind and SSH fields are related to processes occurring at both large and regional scales. The main mode of variability found for all the variables is the annual cycle as expected for the region. El Niño and La Niña events are found to impose noticeable changes in the SST and SSH fields of the study region.

Palavras-chave: Climatologia, variabilidade oceânica, TSM, vento, nível do mar, concentração de clorofila, Banco dos Abrolhos.

1. Introdução

O Banco dos Abrolhos abriga a Área de Proteção Ambiental Estadual Ponta da Baleia/Abrolhos, o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, a Reserva Extrativista Marinha do Corumbau e, no limite norte, o Parque Municipal do Recife de Fora. Essas unidades de conservação são responsáveis pela proteção de 84 % das espécies de corais e hidrocorais do Brasil e de pelo menos uma espécie de cetáceo ameaçada de extinção (baleia jubarte). Em contraste, a região tem grande potencial para a produção de petróleo, o que tem gerado um conflito de uso de proporções estratégicas para o Brasil. Para a solução desses conflitos, é importante a coleta de informações em diferentes escalas para o monitoramento das condições do mar e para a previsão ecológica.

O projeto “Produtividade, Sustentabilidade e Utilização do Ecossistema do Banco dos Abrolhos” (Pro-Abrolhos) visa investigar o funcionamento e manutenção do ecossistema marinho sobre o Banco dos Abrolhos para dar suporte ao gerenciamento racional de seus recursos vivos. A rede de pesquisa que compõe o projeto conta com um grupo dedicado à coleta e análise de dados de satélites que tem por objetivo específico identificar e analisar os padrões espaço-temporais e as condições ambientais médias e sinópticas de variáveis oceanográficas e atmosféricas relevantes. A relação observada entre as mudanças no estado físico-químico da água do mar e da atmosfera e efeitos como o branqueamento de corais

sugere que essas mudanças também possam causar impacto sobre outros organismos recifais (Glynn, 1993). Os impactos relatados extrapolam os limites dos sistemas ecológicos e interferem na socioeconômica das populações costeiras, incluindo a atividade turística. No Brasil, há relatos de branqueamento de corais em 1994 e 1997-1998 (Migotto, 1997; Leão et al., 2003) e de extensa mortalidade de espécies relacionada ao El Niño de 1998 (Kelmo et al., 2003, 2004, 2006).

Este trabalho apresenta uma análise preliminar da climatologia e variabilidade de variáveis ambientais marinhas estimadas por satélite consideradas de relevância para a integridade dos ecossistemas de corais. São elas: temperatura da superfície do mar (TSM), vento de superfície, anomalia da altura do nível do mar (AANM) e concentração superficial de clorofila (CSC). Essas variáveis foram estimadas através de dados obtidos por diversos satélites e sensores. O trabalho tem por objetivos específicos: (1) caracterizar a climatologia da região do Banco dos Abrolhos e (2) analisar a variabilidade temporal dos parâmetros em questão.

2. Material e métodos

2.1. Imagens de temperatura da superfície do mar

As imagens de TSM utilizados nesse trabalho são oriundas do banco de dados global conhecido como Pathfinder versão 5.0 (PV5). Os dados são derivados de dados históricos globais dos radiômetros AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo dos satélites NOAA desde o NOAA-9 até o presente. O banco de dados do Pathfinder representa um reprocessamento histórico de todas as séries de tempo de dados do AVHRR usando algoritmos mais consistentes para a determinação da TSM, melhor calibração individual e inter-satélites dos sensores, melhor controle de qualidade dos dados e algoritmo de detecção de nuvens (NODC/SOG, 2006).

Os dados do Pathfinder PV5 são fornecidos em grades globais regulares, sendo distribuídas gratuitamente no endereço <<http://pathfinder.nodc.noaa.gov>>. Os dados estão disponíveis para o período entre 1985 até o presente. Para este relatório foram usadas imagens médias mensais (representando todos os meses entre janeiro de 1985 e dezembro de 2004 – 240 imagens) e médias climatológicas mensais (12 imagens representando os meses entre janeiro e dezembro). Dados de anomalia de TSM (ATSM) foram gerados a partir da diferença entre as médias climatológicas mensais e as imagens de cada mês entre janeiro de 1985 e dezembro de 2004. As imagens foram recortadas para uma região de estudo que inclui a área do Banco dos Abrolhos entre 10° S e 25° S, 20° W a 50° W. Mapas de ATSM foram plotados na forma de um diagrama longitude x tempo (Hovmöller) ao longo da latitude de 17° S que é a latitude do Banco dos Abrolhos na área de estudo.

2.2. Imagens de concentração de clorofila

Para esse trabalho, imagens de concentração de clorofila *a* na superfície do mar (CSC) foram obtidas através do sensor SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*). Foram utilizadas médias mensais para o período de setembro de 1997 a setembro de 2006, com resolução espacial de 9 km. Os dados foram obtidos a partir do endereço eletrônico do grupo de trabalho *Ocean Biology Processing Group, Goddard Space Flight Center (OBPG/GSFC)* da NASA em <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>>. A estimativa da concentração clorofila *a* foi realizada a partir dos dados originais do sensor SeaWiFS utilizando-se o algoritmo empírico *Ocean Chlorophyll 4 bands*, versão 4 (OC4). Da mesma forma que para os dados de TSM, as imagens foram recortadas para a região entre 10° S e 25° S, 20° W a 50° W.

2.3. Dados de vento de superfície

Dados de vento de superfície na região de estudo foram obtidos a partir de observações do radar escatorômetro SeaWinds a bordo do satélite QuikSCAT da NASA. Os dados de magnitude e direção dos ventos cobrem um período de sete anos entre julho de 1999 a agosto de 2006. A resolução espacial dos dados é de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude/longitude e a resolução temporal é de 12 horas. Dados climatológicos mensais das componentes zonal e meridional do vento foram plotados para a região entre 10° S e 25° S, 20° W a 50° W.

A média zonal das componentes zonal e meridional do vento medido foi calculada e plotada na forma de séries de tempo para as latitudes de 12° S e 22° S. Essas são áreas ao norte e ao sul da latitude do Banco dos Abrolhos, servindo para ilustrar a variabilidade do vento nas regiões nordeste e sudeste da costa brasileira (norte e sul do Banco dos Abrolhos, respectivamente). Os dados foram também filtrados com um filtro de 60 dias a fim de remover as altas frequências e realçar o sinal anual do vento.

2.4. Dados de anomalia de altura do nível do mar

A anomalia de altura do nível do mar (AANM) reflete as anomalias na distribuição vertical de densidade do oceano, fornecendo informação importante sobre a dinâmica e a termodinâmica dos oceanos. O presente trabalho utiliza dados dos sensores altimétricos a bordo dos satélites TOPEX/Poseidon e Jason-1 (T/J). Esses dados são distribuídos pelo JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) no endereço <<http://podaac-www.jpl.nasa.gov/products/product157.html>>. Os dados são interpolados em pontos regularmente espaçados ao longo de cada passagem. A distância média entre os pontos é de 7 km e entre as passagens vizinhas é de 315 km no equador. Os dados altimétricos possuem um ciclo de repetição exata de 9,9156 dias. Esses dados são distribuídos contendo todas as correções padrão. A AANM é calculada em relação à média local do maior número de anos completos na série temporal de dados altimétricos.

No caso dos dados usados aqui, a média é tomada entre 1993 a 2005. Os dados foram inicialmente interpolados no espaço utilizando um algoritmo de mínima curvatura (Smith e Wessel, 1992). A grade de dados tem uma resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude/longitude e mantém a resolução temporal original. Mapas de AANM contendo um ciclo de 9,9156 dias foram convertidos em diagramas Hovmöller para quatro latitudes ao longo da região de estudo: $10,5^\circ$ S, $14,5^\circ$ S, $18,5^\circ$ S e $22,5^\circ$ S. A distribuição dos transectos zonais dos diagramas Hovmöller foi estabelecida para avaliar a variação meridional da AANM ao longo de toda a área de entorno do Banco dos Abrolhos. Os dados originais de AANM foram filtrados seguindo a metodologia descrita por Polito e Liu (2003). Apresenta-se aqui somente a componente não propagante do sinal (η_τ) na escala de bacia e com período anual ou maior.

3. Resultados e discussão

A **Figura 1** mostra os mapas das médias mensais climatológicas da TSM na região de estudo para os meses de janeiro e julho. Por restrição de espaço esses meses foram escolhidos para representar os períodos de verão e inverno. Na maioria dos meses (não mostrado), observa-se uma diferença entre a TSM da região profunda (> 200 m) e da região costeira. Isto se deve, em parte, pela presença da ressurgência de Cabo Frio e Cabo de São Tomé na porção sul da área de estudo entre 21° S e 24° S, visível nos mapas de verão e inverno. É importante chamar a atenção para a região entre o Banco dos Abrolhos (ao sul) e o Banco Royal Charlotte (ao norte) onde a plataforma continental se apresenta mais estreita. No verão, observa-se na costa a presença de águas com temperatura média inferior à região oceânica adjacente. A feição costeira acompanha o contorno da quebra da plataforma indicando uma possível influência topográfica no campo de TSM local. Em contrapartida, ao norte de 15° S as águas sobre a

plataforma apresentam as maiores TSMs da região, sendo isso o resultado da largura reduzida da plataforma e da proximidade dessa com o núcleo da Corrente do Brasil.

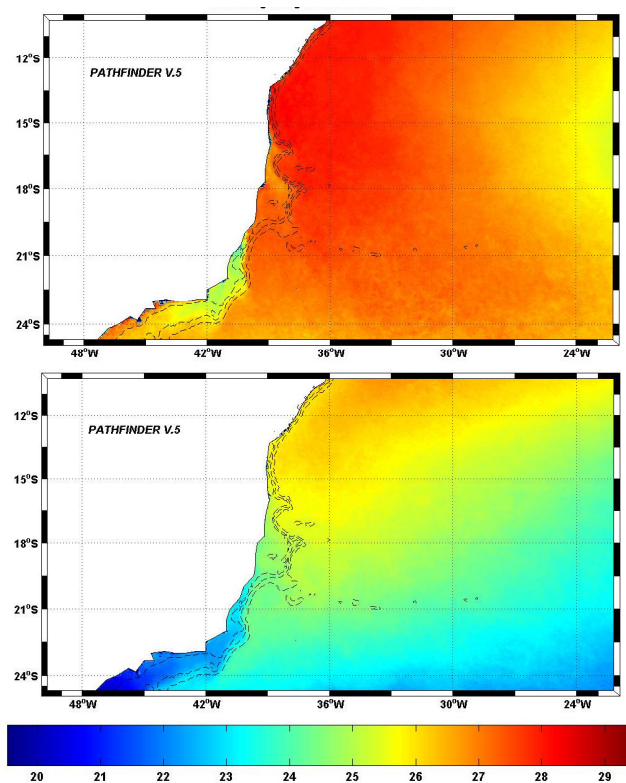


Figura 1 - Mapas de médias mensais climatológicas de TSM ($^{\circ}\text{C}$) obtidos através do sensor AVHRR do programa NOAA Pathfinder para os meses de janeiro (verão, acima) e julho (inverno, abaixo). As isóbatas de 100 m, 200 m e 500 m estão sobrepostas em cor preta.

Apesar da predominância de águas oligotróficas na região durante o verão, os campos médios de CSC registram claramente a influência da topografia de fundo nas estimativas obtidas do sensor SeaWiFS (**Figura 2**). As duas principais feições topográficas são o Banco dos Abrolhos e a Cadeia Vitória-Trindade, que parecem associadas a valores relativamente mais altos de CSC (0,5 a 3 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), em comparação com as concentrações observadas em regiões mais profundas a leste ($< 0,25 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). É no inverno, entretanto, que ocorrem os gradientes de CSC mais acentuados, coincidentes com o gradiente zonal de TSM (**Figura 1**, julho).

Comparando-se os valores de CSC de inverno aos campos de vento de superfície mostrados na **Figura 3**, é possível observar um padrão coincidente. Durante o inverno, ocorre um padrão divergente nos vetores de vento entre 18°S , e 22°S . Ventos mais intensos ocorrem ao norte de 21°S . Os ventos mais fracos ocorrem ao sul intensificando-se à medida que se aproxima da costa. As diferenças entre as CSCs ao norte e ao sul do Banco dos Abrolhos podem chegar a uma ordem de magnitude. Com base nessas observações, é possível especular que a dinâmica da TSM, CSC e ventos de superfície pode ser influenciada por processos de grande escala (e.g. a migração para norte da alta pressão subtropical do Atlântico Sul) e processos regionais (e.g. modulados pela topografia de fundo). A variabilidade do campo de vento superficial fica ainda mais evidente quando se observa a sua componente meridional ao longo do paralelo de 22°S (**Figura 4**). Nessa latitude, a componente meridional

do vento é frequentemente negativa. Isso indica uma tendência para a circulação direcionada ao sul. As amplitudes, no entanto, são comparáveis àquelas observadas em 12° S.

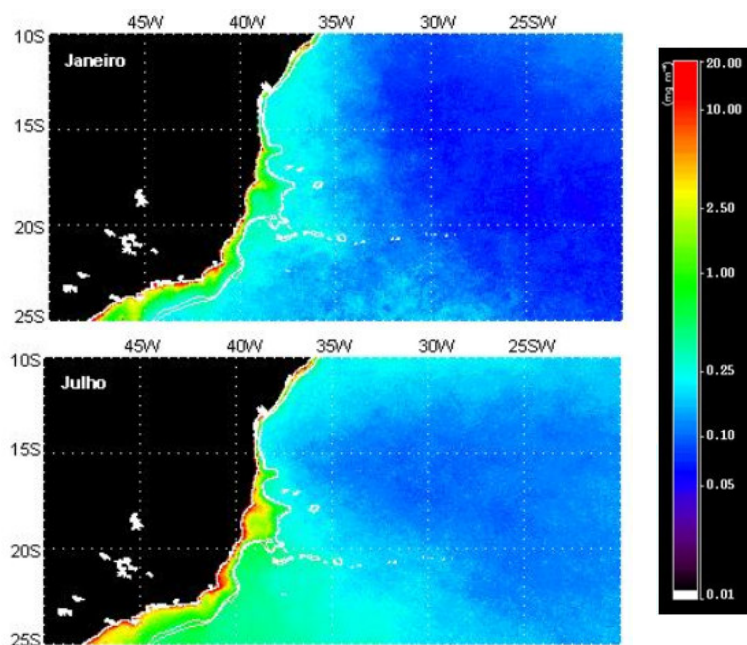


Figura 2. Mapas de médias mensais climatológicas de concentração de clorofila (mg.m^{-3}) obtidos a partir do sensor SeaWiFS para os meses de janeiro (acima) e julho (abaixo). As isóbatas de 500 m e 1000 m estão sobrepostas em cor branca.

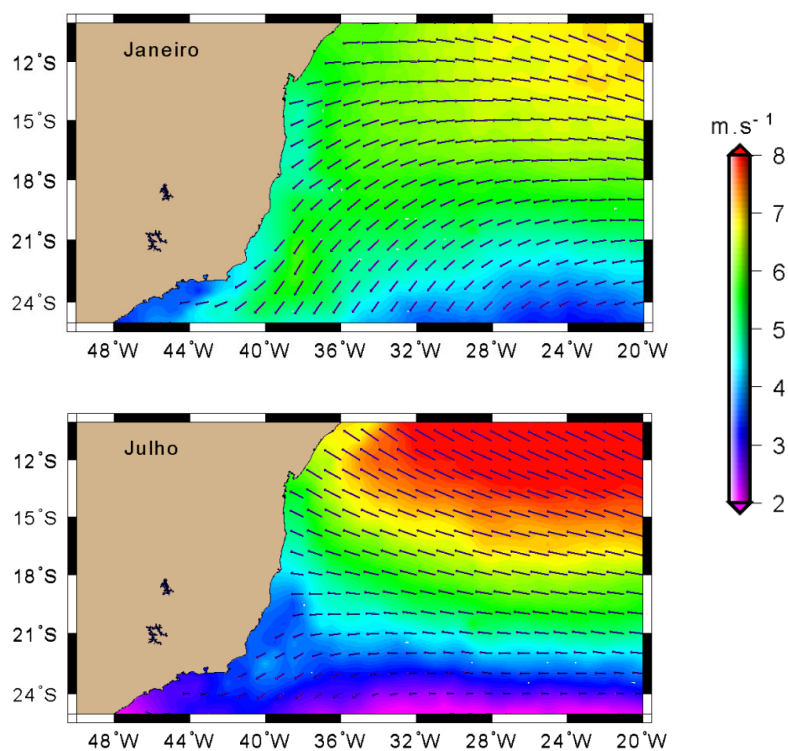


Figura 3. Mapas de médias mensais climatológicas do vento de superfície (m.s^{-1}) obtidos a partir do sensor QuikSCAT para os meses de janeiro (acima) e julho (abaixo).

As variabilidades observadas com os dados de satélites permitem também a investigação da relação destas com fenômenos de escala global como o El Niño e La Niña. Esses fenômenos têm influência direta sobre o branqueamento dos corais (Glynn, 1993; Woesik, 2001). A **Figura 5** mostra as ATSM em 17° S entre janeiro de 1985 e dezembro de 2004. O diagrama mostra a dominância do ciclo anual na variabilidade total dos dados, conforme esperado para a região (Fu, 1996). Os fortes episódios de El Niño e La Niña também são registrados na forma de ATSMs positivas e negativas, respectivamente. As ATSM positivas são vistas entre 1987-1988, 1997-1998 e 2002-2003. Os eventos frios esperados entre 1988-1989 e 1995-1996, contudo, não são tão evidentes.

É possível expandir a análise feita a partir da ATSM utilizando os dados de AANM. Esses são indicativos do calor armazenado causando um dilatamento da coluna d'água, assim como de processos oceânicos típicos de baixa frequência. A **Figura 6** mostra o diagrama longitude x tempo para várias latitudes em 10,5 °S; 14,5 °S; 18,5 °S e 22,5 °S. A comparação das diferentes seções zonais oferece uma visão regional da variabilidade da AANM não vista na **Figura 5**. As AANMs mostram que durante anos de eventos quentes (El Niño), como os ocorridos em 1994, 1998, 2003 e 2005, a região do Banco dos Abrolhos experimentou AANMs mais altas do que a região mais ao norte. Eventos frios como os de 1996-1997 e 1999-2000 resultaram em AANMs negativas e intensas sobre o Banco se comparadas às seções mais ao norte. Além disso, houve um predomínio de anomalias negativas entre 1993 e 1998. Sabe-se que o evento de 1998 acarretou mortalidade em massa das espécies ligadas às comunidades de coral no nordeste do Brasil (Kelmo, 2003, 2004, 2006).

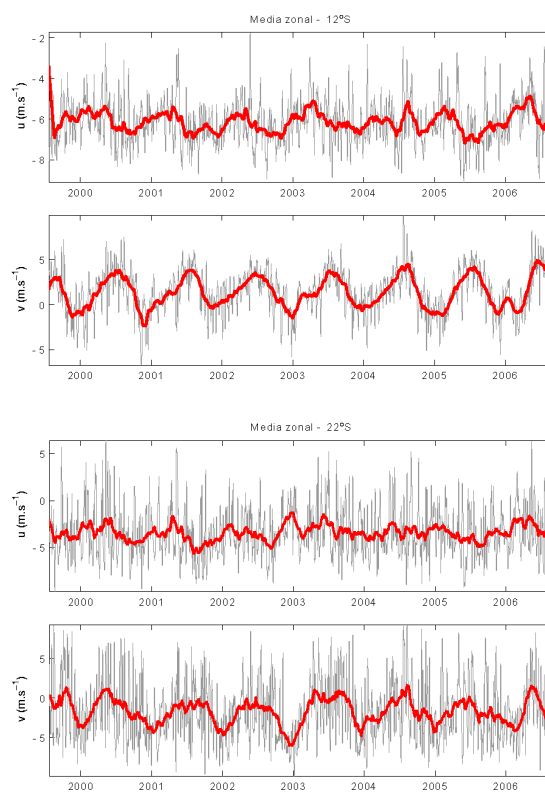


Figura 4. Média zonal da componente zonal e meridional do vento de superfície (m.s^{-1}) na latitude de 12 °S (dois painéis do topo) e na latitude de 22 °S (dois painéis de baixo). Os dados originais estão em cinza e o sinal filtrado para 60 dias está em vermelho.

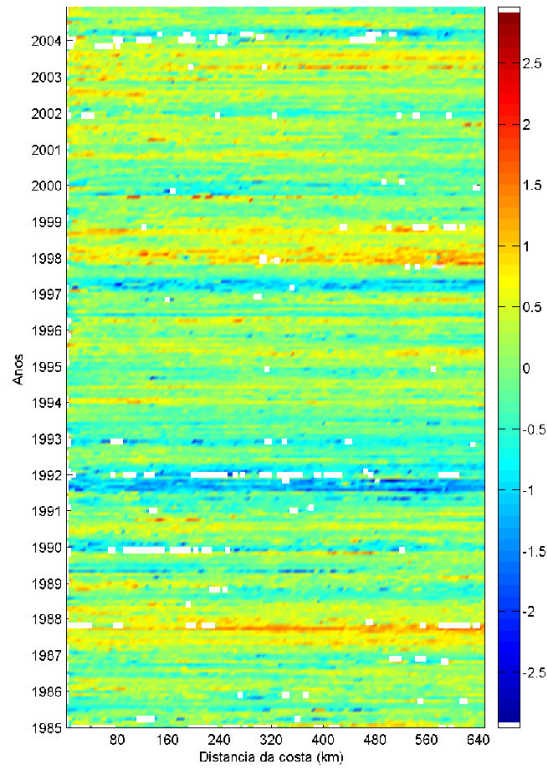


Figura 5. Diagrama Hovmöller da ATSM ($^{\circ}\text{C}$) referente a um perfil perpendicular à costa na latitude de 17°S entre janeiro de 1985 e dezembro de 2004.

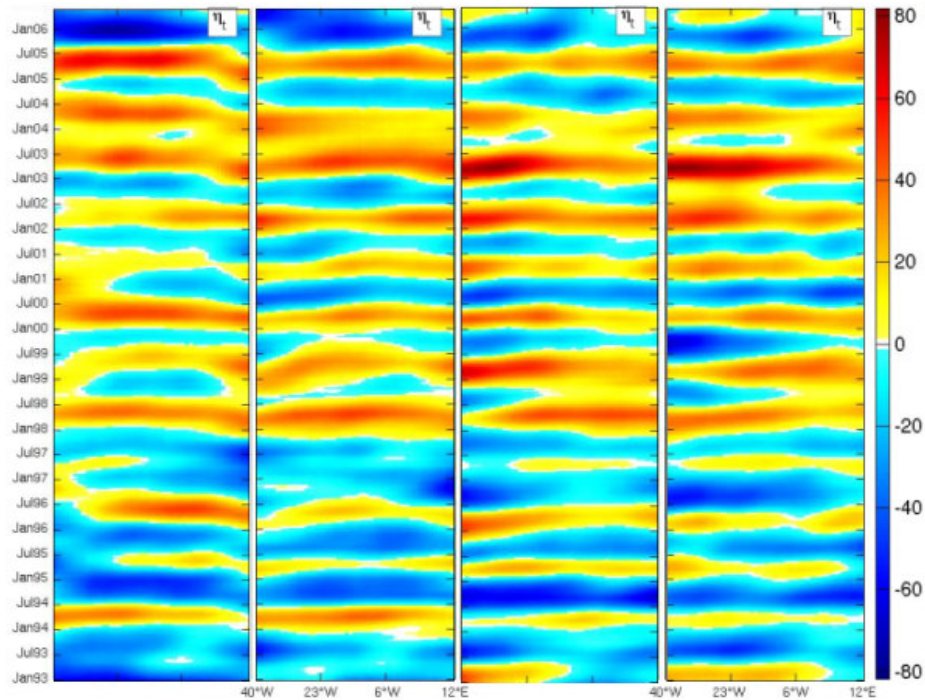


Figura 6. Diagrama Hovmöller do sinal não propagante da AANM (mm) em escala de bacia com período anual ou maior para quatro perfis perpendiculares à costa em $10,5^{\circ}\text{S}$; $14,5^{\circ}\text{S}$; $18,5^{\circ}\text{S}$ e $22,5^{\circ}\text{S}$ (esquerda para a direita, respectivamente).

4. Conclusões

No verão, observa-se na região entre o Banco dos Abrolhos e o Banco Royal Charlotte a presença de águas com temperatura média inferior à região oceânica adjacente. Isso indica uma possível influência topográfica no campo de TSM local. As duas principais feições topográficas da área de estudo (Banco dos Abrolhos e Cadeia Vitória-Trindade) parecem associadas a valores de CSC cinco vezes mais elevados do que aqueles das regiões mais profundas a oeste. A dinâmica da TSM, CSC e ventos de superfície é influenciada por processos de grande escala e regionais. As anomalias de vento, TSM e altura do nível do mar demonstram variabilidades na escala anual e ciclos coincidentes com o El Niño e La Niña. Esses fenômenos têm influência direta sobre o branqueamento dos corais. Numa próxima fase do projeto os ciclos descritos nesse trabalho serão analisados numericamente. Métodos estatísticos serão usados para que os dados de satélite alimentem um modelo de previsão ecológica de branqueamento e morte dos corais.

Agradecimentos. Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq ao projeto Pro-Abrolhos (No. 420219-2005-6). Agradecemos também a contribuição dos outros membros do Grupo Proponente de Sensoriamento Remoto do projeto: Wilton Z. Arruda, João A. Lorenzetti, José L. Stech, Arcilan T. Assireu e Mariana A. Soppa.

References

- Fu, L.-L. The circulation and its variability of the South Atlantic Ocean: first results from the TOPEX/POSEIDON mission. In: Wefer, G.; Berger, W.H.; Siedler, G.; Webb, D.J. (Orgs.), **The South Atlantic: Present and past circulation**, (p. 63-82). Springer-Verlag, Berlin, 644 p., 1996.
- Kelmo, F.; Attrill, M.J.; Jones, M.B. Effects of the 1997-1998 El Niño on the cnidarian community of a high turbidity coral reef system (northern Bahia, Brazil). **Coral Reefs**, v. 22, p. 541-550, 2003.
- Kelmo, F.; Attrill, M.J.; Gomes, R.C.T.; Jones, M.B. El Niño induced local extinction of coral reef bryozoan species from Northern Bahia, Brazil. **Biological Conservation**, v. 118, p. 609-617, 2004.
- Kelmo, F.; Attrill, M.J.; Jones, M.B. Mass mortality of coral reef ascidians following the 1997/1998 El Niño event. **Hydrobiologia**, v. 555, p. 231-240, 2006.
- NODC/SOG, National Oceanographic Data Center / Satellite Oceanography Group (2006). 4 km Pathfinder Version 5.0 User Guide. 2006 (<http://www.nodc.noaa.gov/sog/pathfinder4km/userguide.html>). Acesso em: 26 jun. 2006.
- Migotto, A. Anthozoa bleaching on the southeastern coast of Brazil in the summer of 1994. In: 6th International Conference on Coelenterate Biology, **Proceedings**, p. 329-335, 1997.
- Polito, P.S.; Liu, W.T. Global characterization of Rossby waves at several spectral bands. **Journal of Geophysical Research**, v. 108(C1), 3018, doi: 10.1029/2000JC000607, 2003.
- Smith, W.H.F.; Wessel, P. Gridding with a continuous curvature surface in tension, *Geophysics*, v. 55, p. 293-305, 1990.
- Woesik, R. van (2001) Coral bleaching: transcending spatial and temporal scales. *Trends in Ecology and Evolution*, 16: 119-121.
- Glynn, P.W. Coral reef bleaching: ecological perspectives. **Coral Reefs**, v. 12, p. 1-17, 1993.
- Leão, Z.M.A.N.; Kikuchi, R.K.P.; Testa, V. Corals and coral reefs of Brazil. In: **Latin American Coral Reefs**, Cortéz, J. (Org.), p. 9-52, 2003.