

TRANSPORTE DE CALOR ASSOCIADO ÀS ONDAS DE INSTABILIDADE TROPICAL NO ATLÂNTICO SUL

Hatsue Takanaca de DECCO^{1,2,4}, Luciano Ponzi PEZZI³, Audalio Rebelo TORRES JUNIOR⁴,
Luiz LANDAU¹

¹LAMCE/COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro

² hatsue@lamce.coppe.ufrj.br

³CPTEC/INPE – Cachoeira Paulista – São Paulo

⁴LAMMA/Depto. de Meteorologia / IGEO – Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO: As Ondas de Instabilidade Tropical (OITs) são reconhecidamente um fenômeno sazonal dos oceanos equatoriais e de forte influência nos padrões de temperatura da superfície do mar. O fluxo de calor associado às OITs vem sendo estudado, no entanto, estes são limitados devido à metodologia aplicada para a filtragem do sinal das ondas. Neste trabalho, as anomalias referentes às OITs são isoladas de maneira mais rigorosa e então são utilizados para avaliar os fluxos de calor de Reynolds da camada superficial dos oceanos a partir da simulação 2.1.6 das reanálises do *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA). Os padrões médios indicam que a advecção de calor pelas OITs é importante zonalmente para leste no equador e para oeste afastado do equador, meridionalmente em direção ao equador, e verticalmente, do fundo para a superfície ao norte do equador, sendo este último o padrão médio mais intenso. Isto representa uma importante disponibilidade de fonte de calor do oceano para a atmosfera.

ABSTRACT: Tropical Instability Waves (TIWs) are widely known as a seasonal phenomenon of equatorial oceans with intense influence on sea surface temperature patterns. The studies about heat flux associated to TIWs are usually limited to filtering methods. In this work, TIWs anomalies were isolated using a directional filter and they were used to investigate Reynolds heat flux at the surface layer of Simple Ocean Data Assimilation (SODA) ocean reanalysis, version 2.1.6. The average patterns found indicate that TIWs heat advection is zonally important to east just around the equator and to west away from it; directed to equator meridionally; and from depth to surface vertically as the strongest. This represents an important heat availability from ocean to the atmosphere.

1- INTRODUÇÃO

A Onda de Instabilidade Tropical (OIT) é um dos fenômenos oceânicos mais importantes da região equatorial (Jochum *et al*, 2004). São formadas a partir de instabilidades geradas pelas correntes zonais equatoriais (Philander 1976, 1978; Weisberg & Weingartner, 1988). A OIT é

caracterizada como uma oscilação do gradiente térmico da superfície do mar (TSM) na região equatorial (Figura 1), que se propaga para oeste (Legeckis, 1977) com comprimento de onda típico variando entre 600 km e 2600 km e períodos de 15 a 37 dias (Düing *et al.*, 1975; Legeckis & Reverdin, 1987; Pezzi & Richards, 2003; Caltabiano *et al.*, 2005). Estas ondas são caracterizadas como um fenômeno de variabilidade intra-sazonal dos oceanos equatoriais, pois acompanham o ciclo anual da pluma tropical de água fria. Devido às variações de temperatura da superfície do mar (TSM) associadas, as OITs são importantes para a variabilidade interanual dos máximos de TSM no Atlântico.

As OITs estão incluídas no intenso processo de interação oceano-atmosfera da região equatorial que é responsável por variações climáticas globais em escalas temporais interanuais (Philander, 1990). Desta forma, elas tornam-se importantes para estudos de clima (Jochum *et al.*, 2004 e Ham e Kang, 2010) uma vez que contribuem de forma significativa para a redistribuição de calor e momentum no planeta (Hansen & Paul, 1984; Jochum *et al.*, 2004). Estas ondas também atuam na regulação de calor tanto local (equatorial) quanto global. Estimativas mostradas por Weisberg e Weingartner (1988) para o transporte de calor integrado zonalmente pelas OITs na direção sul (de norte para o equador) é da ordem de 0,1PW.

O objetivo geral deste estudo é estimar o transporte de calor associado às anomalias das OITs na camada superficial do oceano Atlântico equatorial, utilizando resultados de modelagem oceânica global. A seguir, a metodologia é brevemente descrita e em seguida, os resultados são apresentados e discutidos, assim como as conclusões.

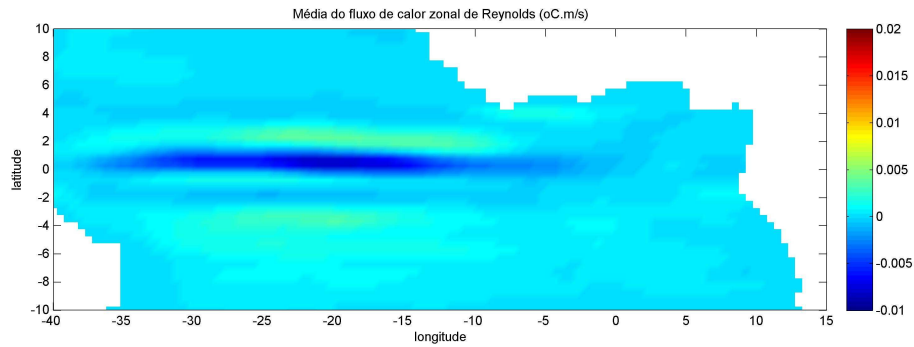
2- METODOLOGIA

Os resultados de modelagem oceânica utilizados neste trabalho são das reanálises oceânicas do Simple Ocean Data Assimilation (SODA), versão 2.1.6, com tempo de integração de 51 anos (de 1958 a 2008). Esta base de dados possui resolução espacial horizontal de 0,25° x 0,4° e 40 níveis verticais com espaçamento de 10 metros entre as camadas próximas à superfície (Carton & Giese, 2008). Maiores detalhes sobre o SODA podem ser encontrados em Carton & Giese, (2008). Os campos de média de 5 dias de temperatura e componentes zonal e meridional de velocidade foram obtidos do SODA para a região entre as latitudes de 20°S e 20°N e longitudes de 40°W e 15°E. Os resultados foram disponibilizados com resolução espacial de 0,5° e 40 níveis verticais. Após tratamento dos dados a componente vertical de velocidade foi calculada. Em seguida, um filtro direcional, utilizando Transformada Rápida de Fourier 2D (2DFFT), foi aplicado aos dados para extrair o sinal das OITs na seguinte banda espectral: períodos entre 15 e 60 dias e comprimentos de onda entre 4° e 20° de longitude. Estes intervalos foram escolhidos de forma a serem ligeiramente mais abrangente do que a faixa espectral filtrada por Caltabiano

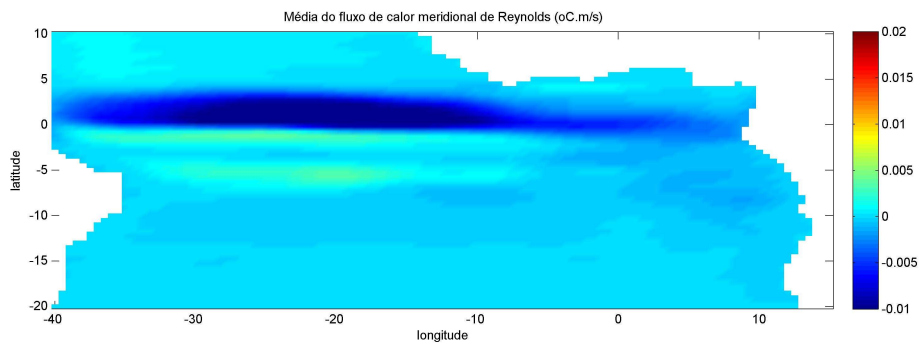
et al. (2005). Seguindo uma abordagem similar a de Weisberg & Weingartner (1988), as séries filtradas na banda OITs foram então utilizadas para as análises do transporte de calor, utilizando-se o cálculo dos fluxos de calor de Reynolds para as três componentes da velocidade.

3- RESULTADOS E CONCLUSOES

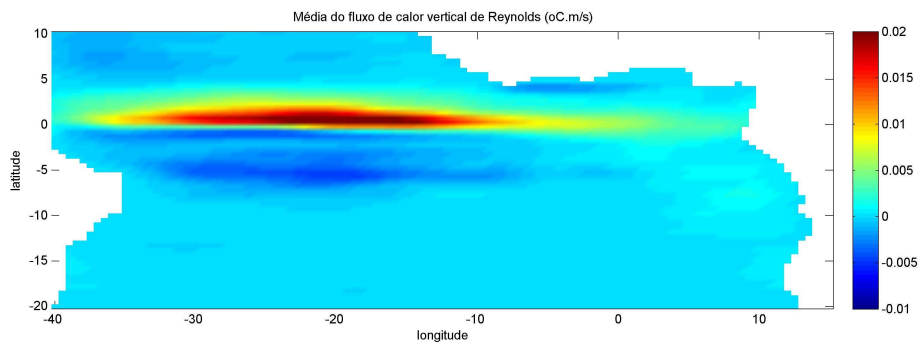
Os fluxos de calor de Reynolds já foram usados anteriormente para avaliar o balanço de calor relativo à sazonalidade das OITs (Weisberg & Weingartner, 1988; Peter et al., 2006). Neste



(a)



(b)



(c)

Figura 1: Campos médios (dos 51 anos da série) dos fluxos de calor de Reynolds nas três componentes de velocidade: zonal (a), meridional (b) e vertical (c).

trabalho, os campos médios dos fluxos de calor de Reynolds para as três direções da velocidade, na camada superficial do SODA (cerca de 5 metros), foram calculados e estão ilustrados na Figura 01. Fazendo associações similares as de Weisberg & Weingartner (1988), com estes mapas é possível observar as OITs são responsáveis por transportar calor para leste nas latitudes imediatamente ao redor do equador e para oeste em latitudes mais afastadas (Figura 01a). Já quanto ao fluxo meridional (Figura 01b), o transporte advectivo de calor é para sul ao norte do equador (resultado similar ao de Weisberg & Weingartner, 1988) e para norte ao sul do equador. No entanto, é nos fluxos verticais (Figura 01c) que os maiores valores médios são encontrados, da superfície para o fundo ao norte do equador, e em direção à superfície ao sul. O padrão de transporte de anomalias positivas de temperatura em direção ao equador é observado ao longo da série temporal (não mostrado) e um exemplo é ilustrado na Figura 02. Dinamicamente, as OITs contribuem para a redistribuição de calor na região equatorial do Atlântico. Estes padrões observados nas análises corroboram os estudos de Menkes et al. (2002) e de Peter et al. (2006) (dentre os mais recentes). No entanto, este estudo ainda será ampliado de maneira a explorar mais detalhadamente os mecanismos de transporte e sua influência no balanço de calor tropical.

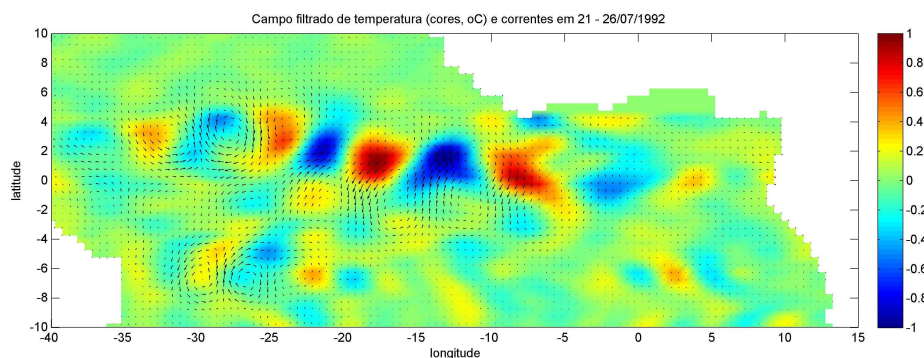


Figura 2: Campo de correntes sobreposto ao de temperatura (em graus Celsius), ambos filtrados, para a média entre 21 e 26 de julho de 1992, na camada superficial (cerca de 5 metros) do modelo.

4- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caltabiano, A. C. V., Robinson, I. S. & Pezzi, L. P. 2005. Multi-year satellite observations of instability waves in the Tropical Atlantic Ocean, *Ocean Science* (1): 97 – 112.
- Carton, J. A. & Giese, B. S. 2008. A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA), *Monthly Weather Review* (136): 2999 – 3017.
- Düing, W., Hisard, P., Katz, E., Meincke, J., Miller, L., Moroshkin, K. V., Philander, G., Ribnikov, A. A., Voigt, Weisberg, R. 1975. Meanders and long waves in the Equatorial Atlantic, *Nature* (257): 280 – 284.

- Ham, Y.-G., Kang, I.-S., 2010. Improvement of seasonal forecasts with inclusion of tropical instability waves on initial conditions. *Climate Dynamics*, doi 10.1007/s00382-010-0743-0.
- Hansen, D. V., Paul, C. A. 1984. Genesis and Effects of Long Waves in the Equatorial Pacific, *Journal of Geophysical Research* 89 (C6): 10431 – 10440.
- Jochum, M., Murtugudde, R., Malanotte-Rizzoli, P. & Busalacchi, A. 2004. Internal variability of the Tropical Atlantic Ocean. In: *Ocean-atmosphere interaction and climate variability*, *Geophys. Monogr. Ser.* (147): 181 – 188.
- Legeckis, R. 1977. Long waves in the Eastern Equatorial Pacific Ocean: A view from a geostationary satellite, *Science* (197): 1179 – 1181.
- Legeckis, G. & Reverdin, G. 1987. Long waves in the Equatorial Atlantic Ocean during 1983, *Journal of Geophysical Research* 92 (C3): 2835 – 2842.
- Pezzi, L. P. & Richards, K. J. 2003. Effects of lateral mixing on the mean state and eddy activity of an equatorial ocean, *Journal of Geophysical Research* 108 (C12): doi:10.1029/2003JC001834.
- Peter, A.-C., Le Hénaff, M., du Penhoat, Y., Menkes, C. E., Marin, F., Vialard, J., Caniaux, G., Lazar, A. 2006. A model study of the seasonal mixed layer heat budget in the equatorial Atlantic. *Journal of Geophysical Research* (111): C06014, doi:10.1029/2005JC003157.
- Philander, S. G. H. 1976. Instabilities of Zonal Equatorial Currents, *Journal of Geophysical Research* (81): 3725 – 3735.
- Philander, S. G. H. 1978. Instabilities of Zonal Equatorial Currents, 2, *Journal of Geophysical Research* 83 (C7): 3679 – 3682.
- Philander, S. G. H., 1990, *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. International Geophysical Series, vol. 46. Boston. 293pp.
- Weisberg, R. H. and Weingartner, T. J. 1988. Instability waves in the Equatorial Atlantic Ocean, *Journal of Physical Oceanography* (18): 1641 – 1657.