

**Variações Temporais da Anomalia de Temperatura Superficial do Mar  
na Região do Atlântico Sul Ocidental no Período 1981-1991**

ANDRÉ LUIZ BELÉM  
CARLOS ALBERTO EIRAS GARCIA

Lab. de Oceanografia Física  
Depto. de Física  
Universidade do Rio Grande  
Cx. Postal 474 Rio Grande RS  
CEP 96201-900  
E-mail:DFSANDRE@BRFURG  
E-mail:DSFGAR@BRFURG

**Abstract.** Monthly Multichannel Sea Surface Temperature (MCSST) images derived from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) during the 1981-1991 period are examined in conjunction with sea surface temperature (ShipSST) data obtained by ships of opportunity over 30 years (1950-1979) in the Southern Brazilian coastal waters (28°S - 35°S). The satellite and ship datasets were supplied by the Jet Propulsion Laboratory (JPL) and US National Climate Center, respectively. Each image has a spatial resolution of 18 km. The remote sensing data has shown a dominant 1-year period in the area. To compare both datasets, the mean differences (MCSST-ShipSST) were computed for 114 months using the monthly averaged ShipSST (over 30 years). The mean differences varied from -2.176°C to 2.939°C, having an average of 0.52°C. An discussion about the variability of the MCSST signal is also presented in this work.

### **Introdução**

A computação da Temperatura Superficial do Mar (TSM), a partir de sensores que operam no infravermelho, tem sido uma das técnicas mais utilizadas na Oceanografia. Embora na década de 70, vários esforços tenham sido feitos no sentido de obter imagens da TSM, somente com o surgimento de radiômetros multi-canais, tal como o Advanced Very High Resolution Radiometer

(AVHRR), e de uma metodologia adequada foi possível computar a TSM rotineiramente. Um destes métodos é o "multichannel" ou "split-window" abreviado por MCSST - Multi Channel Sea Surface Temperature (McClain, 1981; McClain et al, 1985), e desde então o método tem sido utilizado pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para a computação da TSM em escala global. O algoritmo MCSST é derivado a partir de observações diárias da TSM obtidas por bóias meteorológicas.

Tendo a necessidade de se utilizar mapas da TSM gerados por satélites para aplicações oceanográficas na costa do Brasil, incluindo processos de mesoescala, da interação oceano-atmosfera, e aplicações na pesca, torna-se necessário avaliar o algoritmo do MCSST, para sua total aplicação.

Neste trabalho, 114 imagens do MCSST (Smith, 1992) são estatisticamente examinadas em conjunto com dados da temperatura "in situ" (ShipSST) obtida por navios de oportunidade (Woodruff et al., 1987) na região compreendida entre as latitudes 28°S e 35°S e longitudes 55°W e 45°W. Esta região merece especial atenção da oceanografia brasileira, por causa de sua proximidade da Convergência Subtropical, onde águas quentes e salinas da Corrente do Brasil encontram as frias e menos salinas águas da Corrente das Malvinas.

## Dados e Processamento

### Descrição do produto MCSST

Atualmente, os satélites da série Tiros-N/NOAA levando a bordo o sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), são as melhores ferramentas na observação sinóptica da Temperatura Superficial do Mar (TSM). Com uma órbita polar heliosíncrona, e um IFOV (Instantaneous Field of View) que lhe permite uma resolução de 1.1 Km a Nadir, o AVHRR pode cobrir diariamente todas as regiões oceânicas da Terra, de forma a permitir uma avaliação constante das mudanças na TSM.

Após o lançamento do satélite NOAA 7, o primeiro da

série TIROS levando a bordo o sensor AVHRR com 5 canais, tornou-se rotineira a tarefa de produzir imagens da TSM através dos algoritmos desenvolvidos principalmente por McClain et al. (1983, 1985). A técnica ficou conhecida como Multichannel SST (MCSST). Três classes de testes para correção da contaminação por nuvens são usados atualmente no processamento de imagens MCSST, e baseiam-se necessariamente na diferença entre a resposta espectral das nuvens em 2 canais. Após a utilização destes métodos, técnicas de "multiple-window" (McMillin and Crosby, 1984; Barton, 1985) são utilizadas para a obtenção da TSM. Na realidade, as técnicas de multicanal produzem uma relação linear entre a temperatura de brilho observada em dois ou mais canais independentes do sensor infravermelho do satélite e a TSM. Inicialmente, um modelo de transferência radiativa utilizando vários parâmetros atmosféricos foi utilizado para determinar os coeficientes lineares da relação Temperatura de Brilho (TB) e TSM, mas devido às incertezas do método e nos erros provenientes da pré-calibração do AVHRR (Weinreb et al., 1990), McClain (1981) sugere coeficientes empíricos na equação de obtenção da TSM.

Kidwell (1992) mostra os coeficientes derivados das equações de regressão para obtenção da TSM a partir da TB, entre 1982 e 1988. Para imagens diurnas, a NOAA recomenda a utilização de correções pelo método "split-window" (com 2 canais), devido a interferência provocada pela radiação solar refletida no canal 3 (centrado em 3.7 um). Para imagens noturnas, a equação de regressão

utiliza todos os três canais do infravermelho do AVHRR, conhecido como método "triple-window". Após 1986, a NOAA começou a utilizar um método de calibração não-linear para a obtenção da temperatura de brilho dos canais 4 e 5 do AVHRR, corrigindo uma distorção na resposta radiométrica do sensor. Os coeficientes de calibração não-linear são fornecidos pela NOAA, e utilizados nos programas de processamento dos dados AVHRR (Appendix B, NOAA Polar Orbiter Users Guide em Kidwell, 1992).

As imagens MCSST (U.Miami/RSMAS) distribuídas pela JPL são obtidas dos tapes de cobertura global da NOAA/NESDIS efetuados diariamente. Os valores da MCSST globais diurnos e noturnos são gravados separadamente (para os métodos split e triple-window utilizados) em grids retangulares de 2048 x 1024 pixels, variando entre as latitudes 90°N e 90°S, e longitudes 180°W e 180°E. Para cada ponto no grid, é feita a média de todas as MCSST medidas durante o mês, após desprezadas as regiões cobertas por nuvens. Uma máscara de pontos localizados em terra e gelo (utilizando dados do Nimbus-7 SMMR - Scanning Multi-channel Microwave Radiometer) é aplicada na imagem, no final do processo. As áreas sem dados são interpoladas utilizando uma técnica de relaxamento Laplaciano (Smith, 1992).

Para as imagens globais de MCSST, a altura e a largura de cada elemento do grid é igual a 360/2048 graus, ou 0.1757812 graus, equivalente a 18 Km (~10 milhas).

## Descrição do produto ShipSST

Observações da TSM feitas por navios de oportunidade (ShipSST) ao longo da região entre 28°S e 35°S, limitada pelas rotas de tráfego naval e a costa sul do Brasil (figura 1) foram arquivadas pela US National Climate Center (USA). O período analisado compreende de janeiro de 1950 a Dezembro de 1979. Os dados foram agrupados num grid com elementos de 18 x 18 km, idêntico à resolução das imagens MCSST. Testes de consistência física dos dados foram efetuados de forma a garantir a confiabilidade dos valores utilizados na análise estatística. Os valores da TSM inferiores a 8°C e superiores a 28°C foram considerados errôneos para a região e retirados da análise. Para evitar efeitos de contaminação por eventos isolados, foram retirados também os pontos do grid que possuíam apenas 1 observação. A partir dos dados processados foram criadas imagens sintéticas das médias mensais no período de observação da TSM.

Na análise regional dos dados, foi selecionada a região compreendida entre as latitudes 19°S e 40°S e longitudes 70°W e 35°W, de onde foram retirados os valores da TSM para grids onde haviam dados de ShipSST (entre as latitudes 28°S e 35°S).

## Análise Estatística

Uma série de variáveis estatísticas foram calculadas para os 114 meses de dados de MCSST (1981-1991). As médias mensais da TSM regional foram calculadas a partir dos dados de ShipSST de 1950 a 1979 para cada elemento do grid. A diferença

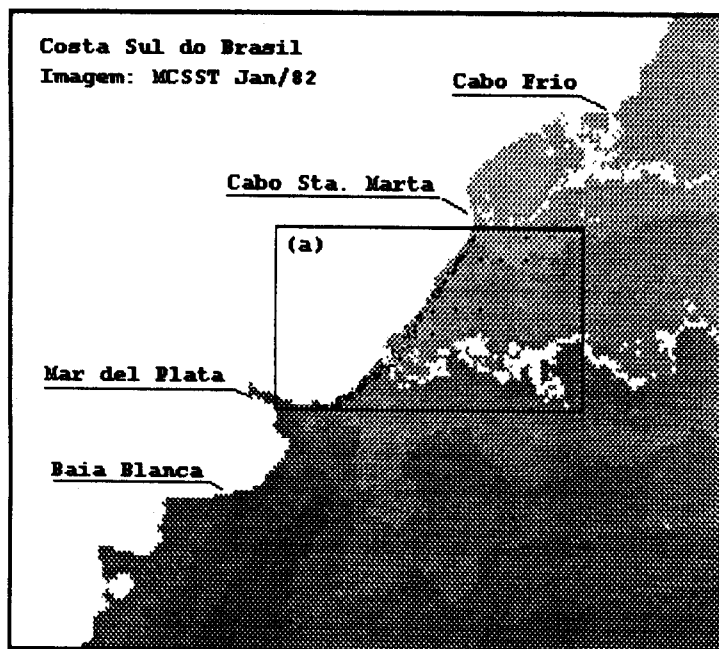


Figura 1. Subimagem MCSST (402 x 298 pixels). (a) Região de amostragem dos dados ShipSST entre 28°S e 35°S com os pontos de coleta. Notar a distribuição ao longo da costa (rota marítima). Os pontos em branco sobre a região Oceanica indicam as isolinhas de 22°C (abaixo) e 24°C (acima).

pontual média da TSM para cada dado MCSST foi calculada por:

$$\Delta\tau_i = \tau_{mcsst_i} - \overline{\tau_{shipSST_i}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{N} \sum \Delta\tau_i$$

onde  $i$  é o índice de  $N$  elementos do grid analisados. Os dados de ShipSST para cada elemento do grid representam a média mensal pontual dos 30 anos de amostragem (1950-1979).

O desvio padrão dos dados da TSM foram calculados para cada um dos 114 meses de MCSST e para os 12 meses de médias de ShipSST, conforme a equação:

$$T_o = \left[ \frac{1}{N} \sum (\tau_i - \overline{\tau_i})^2 \right]^{1/2}$$

A correlação entre os dados de MCSST e as médias de ShipSST foram computadas para os 114

meses, como forma de verificar a coerência existente entre os dois arquivos.

## Discussão e Resultados

A figura 2 mostra a variação temporal da temperaturas médias mensais de MCSST e ShipSST, assim como as diferenças entre elas. O ciclo anual pode ser facilmente identificado.

Recentemente, Provost et al. (1992) analisaram uma série temporal de imagens MCSST, com resolução de 4 km, da região entre 35°S e 48°S. Eles utilizaram 202 imagens semanais para verificar a variação da MCSST para 159 pontos distribuídos uniformemente na região. Através do ajustamento de uma função senoidal, eles mostraram que na posição 35°S, 52°W, existe uma flutuação com um período dominante próximo de 365 dias.

Distribuição da Temperatura Média Mensal  
(ShipSST: 1950-1979; MCSST: 1981-1991)

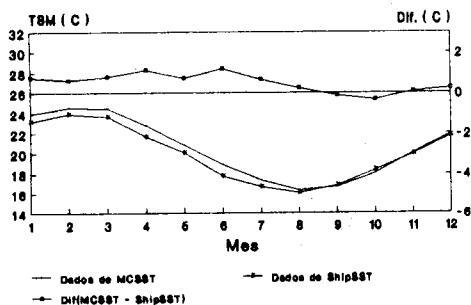


Figura 2

Podesta et al. (1991) também encontraram resultados similares, concluindo que o ciclo anual era a maior fonte de variabilidade da MCSST no sudoeste do Atlântico Sul. Neste nosso trabalho, observa-se a mesma frequência (fig 2 e 3), ue pode estar associada com a variação sazonal da radiação solar e com a adveção de águas quente da Corrente do Brasil do norte durante o verão e águas frias da Corrente da Malvinas do sul durante o inverno. Entretanto, Guisolfi e Moller (1990) mostraram que os fluxos sazonais de calor na plataforma do Rio Grande do Sul são positivos ao longo do ano, i.e. o oceano ganha calor. Isto implica que as variações anuais observadas na fig 2 são devido as fortes adveções de massas de água do que a processos de interação oceano-atmosfera.

As diferenças entre as temperaturas médias (MCSST-ShipSST) variam de  $-2.176^{\circ}\text{C}$  a  $2.939^{\circ}\text{C}$ , sendo que na média o MCSST excede o ShipSST por  $0.52^{\circ}\text{C}$  (figura 3). Como a maioria dos dados ShipSST provém de navios, onde as medidas são feitas nas casas das máquinas, e de se esperar um acréscimo na temperatura. Bates and Diaz (1991) analisaram também a qualidade dos dados da MCSST global em conjunto com dados do

COADS (comprehensive ocean-atmospheric data set) durante o período 1981-1988, usando uma resolução de 2 graus de latitude por 2 de longitude. Nesta análise, a região situada entre  $28^{\circ}\text{S}$  e  $35^{\circ}\text{S}$ , para todo o globo, apresenta diferenças médias mensais quase sempre negativas (da ordem de  $0.5\text{K}$ ), i.e. MCSST menores do que ShipSST. Nossos resultados não podem ser diretamente comparados, uma vez que estamos delimitando a área de estudo entre as longitudes  $46^{\circ}\text{W}$  e  $55^{\circ}\text{W}$ . De qualquer forma, isto evidencia a importância da regionalidade nos algoritmos da TSM. Claramente, há a necessidade de maiores estudos nesta área. Portanto, algoritmos que levem em conta a latitude e a dependência climática nos coeficientes, tal como o de Llewellyn-Jones et al. (1984) deveriam ser examinados em maior detalhe.

Variacao Mensal da TSM (MCSST-ShipSST)  
Período: Jan/1982 a Abr/1991

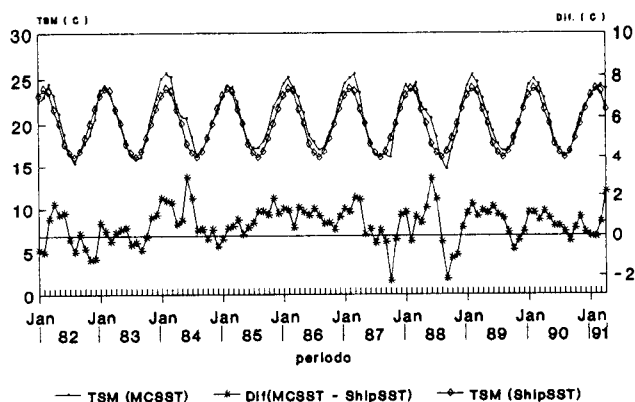
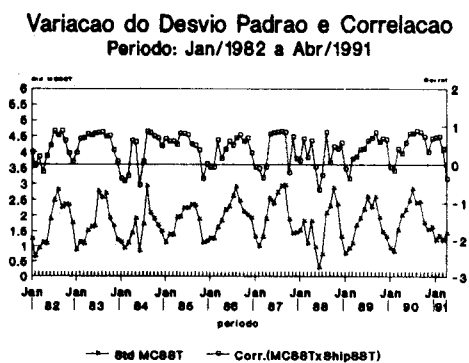


Figura 3

Com a finalidade de avaliar a variabilidade dos dados da MCSST durante o período de 1982 e 1991, foi computado o desvio padrão mensal para os grids em que havia observação de navio disponível (figura 4, na parte inferior). Pode-se observar um ciclo anual novamente, em que o mínimo ( $\sim 1^{\circ}\text{C}$ ) é atingido durante os meses de verão e o máximo no

inverno ( $\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ ). Isto mostra que durante o verão águas tropicais dominam a plataforma continental, enquanto que a intrusão de águas subantárticas nos meses de inverno não é fator dominante. A observação das imagens MCSST mostrou uma distribuição anormal da TSM na região durante os meses de junho e julho de 1984, junho e julho de 1987, e maio, junho, julho e agosto de 1988, decorrentes de uma forte interpolação durante o processamento das imagens. Este fato provavelmente é decorrente da presença de nuvens durante o período.



Uma análise das imagens mostram claramente este resultado. A mesma figura 4 mostra na sua parte superior a correlação existente entre a série temporal (112 meses) do MCSST com a série do ShipSST (12 meses, obtida a partir dos 30 anos). Embora não tenha sido analisado o grau de confiança destes coeficientes, pode-se notar claramente que somente nos meses de inverno a correlação atinge valores acima de 0.7. Nos meses de verão, o coeficiente cai rapidamente, atingindo valores até mesmo negativos. Há uma clara associação entre os gráficos mostrados na figura 4. Isto é devido ao fato de que somente no inverno, onde a variabilidade de

MCSST ( $\text{sdt MCSST} > 1.5\text{K}$ ) é, com certeza, maior do que o erro inerente do algoritmo da NESDIS. Embora este trabalho tenha um caráter preliminar, fica evidente a necessidade de utilizar dados da TSM em escala LAC (Local Area Coverage, resolução de 1.1 km a nadir) simultaneamente à passagem do satélite de com o objetivo de gerar um algoritmo local da TSM, embora os resultados mostrados neste trabalho tenham sido satisfatórios.

### Conclusões

Neste trabalho, uma análise estatística preliminar foi feita com dados de dois arquivos distintos da TSM na região compreendida entre  $28^{\circ}\text{S}$  e  $35^{\circ}\text{S}$  sobre a plataforma brasileira: imagens da MCSST (1981-1991) e dados ShipSST oriundos de navios de oportunidades (1950-1979). Observou-se, que a diferença MCSST-ShipSST varia entre  $-2.176^{\circ}\text{C}$  e  $2.939^{\circ}\text{C}$ , enquanto que apresenta uma média de  $0.52^{\circ}\text{C}$ . Isto reforça a necessidade de utilizar algoritmos regionais da TSM, se quisermos aumentar a precisão da medida através de sensoriamento remoto.

Um oscilação anual foi encontrada em ambos os dados (MCSST e ShipSST), reforçando trabalhos anteriores realizados por Podesta et al. (1991) e Provost et al. (1992). Esta oscilação está associada a intrusão de massas de águas frias durante o inverno nesta região. Neste mesmo período, encontram-se coeficientes de correlações altas, se comparados as médias mensais da MCSST e ShipSST, resultado da alta variabilidade do sinal da TSM na região devido a presença parcial dessas águas subantárticas sobre a plataforma.

## Referências

- Barton, I.J., Transmission model and ground-truth investigation of satellite-derived sea surface temperatures, *J.Clim. Appl.Meteorol.*, 24, 508-516, 1985.
- Bates, J.J. and H.F. Diaz, Evaluation of Multichannel Sea Surface Temperature Product Quality for Climate Monitoring: 1982-1988, *J. Geophys. Res.*, 96, 20613-20622, 1991.
- Ghisolfi, R.D., O.O. Moller Jr., e A. Monteiro, Balanço de Calor para as estações de verão e inverno: estimativas ...e processos envolvidos, *Anais ...do IV COLACMAR, Chile*, 1990.
- Kidwell, K., NOAA polar orbiter data Users Guide, NESDIS, Washington, D.C., 1992.
- Llewellyn-Jones, D.T., P.J. Minnet, R.W. Saunders, and A.M. Zavody, Sea surface temperature of N.E. Atlantic Ocean using AVHRR/2.Quart.J.R.Met. Soc., 110, pp.613-631, 1984.
- McClain, E.P., Multiple Atmospheric-window Techniques for Satellite-derived Sea Surface Temperatures, in *Oceanography From Space*, pp.73-85, Plenum, New York, 1981.
- McClain, E.P., W.G. Pichel, and C.C. Walton, Comparative performance of AVHRR-based Sea Surface Temperature Technique, *J. Geophys. Res.*, 95, 13341-13352, 1990.
- McMillin, L.M., and D.S. Crosby, Theory and Validation of Multiple Window Sea Surface Temperature Technique, *J. Geophys. Res.*, 90, 11631-11641, 1984.
- Podesta, G.P., O.B. Brown, and R.H. Evans, The annual cycle of satellite derived sea surface temperature in the southwestern Atlantic Ocean, *J. Clim.*, 4, 457-467, 1991.
- Provost, C., O. Garcia, and V. Garcia, Analysis of Satellite Sea Surface Temperature time series in the Brazil-Malvinas Current Confluence Region: Dominance of the Annual and Semiannual Periods, *J. Geophys. Res.*, 97, 17841-17858, 1992.
- Smith, E., A Users's Guide to the NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer Multichannel Sea Surface Temperature Data Set, U.Miami/Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science, JPL - Pasadena, CA. 22 p., 1992.
- Weinreb, M.P., G. Hamilton, S. Brown, and R.J. Koczor, Nonlinearity corrections in calibration of advanced very high resolution radiometer infrared channels, *J. Geophys. Res.*, 95, 7381-7388, 1990.
- Woodruff, S.D., R.J. Slutz, R.L. Jenne, and P.M. Steurer, A comprehensive ocean-atmosphere data set, *Bull. Am.Meteorol. Soc.*, 68 1239-1250, 1987.