ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR UTILIZANDO GOES-8 NO CPTEC/INPE

G. B. França e W. S. Carvalho
LAMMA – Laboratório de Modelagem de Processos Marinhos e Atmosféricos
Departamento de Meteorologia-Instituto de Geociências
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro-RJ ,Brasil
e-mail: gutem@acd.ufrj.br
weuber@if.ufrj.br

M. A. Gondim
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Rodovia Presidente Dutra, km 40 SP-RJ
12630-000, Cachoeira Paulista - SP, Brasil
e-mail: gondim@cptec.inpe.br

1. RESUMO

Neste trabalho é apresentado o algoritmo de estimativa da temperatura da superfície do mar (TSM) via dados do satélite da nova geração do "Geostationary Operational Environmental Satelllite" (GOES-8), desenvolvido no Centro de Previsão do Tempo e Estudo Climático (CPTEC) (França e Carvalho, pré-print). A metodologia de TSM GOES-8 é baseada na equação clássica chamada "split-window" ($TSM = A_0 + A_1 T_4 + A_2 (T_4 - T_5) + A_3 (T_4 - T_5)^2$). Os coeficientes A_0, A_1, A_2 e A_3 foram estimados por regressão linear baseando-se em um banco de dados que toma como variável dependente da regressão a estimativa da TSM via AVHRR/NOAA-14, obtida através do algoritmo "MultiChannel Sea Surface Temperature" (MCSST), implementado no CPTEC (França et al. 1996). O MCSST possui precisão global da ordem de 0,5°C (Legeckis e Zhu, 1998). As variáveis independentes da equação são as temperaturas de brilho dos canais 4 e 5 do satélite GOES-8 (T_4 e T_5 respectivamente). Este trabalho evidencia as vantagens da estimativa da TSM GOES, comparada com a estimativa da TSM via satélites polares, que são basicamente a alta freqüência de recepção (cada ½ hora), permitindo identificar de forma eficiente os pixels contaminados por nuvens, e a grande cobertura geográfica de imageamento. Os resultados preliminares da TSM GOES-8 possui precisão melhor que 1,0 °C.

2. INTRODUÇÃO

A temperatura da superfície do mar é de fundamental importância na modelagem do fluxo de energia à superfície e o entendimento da interação oceano-atmosfera. Os presentes modelos numéricos de previsão de tempo e clima requerem input destes parâmetros com alta precisão para atingir uma melhor performance nas previsões. É conhecido os problemas na estimativa TSM via dados de sensoriamento remoto, principalmente, devido a cobertura de nuvem e aos efeitos dos gases atmosféricos e mas especificamente pela absorção do vapor d'água da radiação infravermelho e sua concentração variável no tempo e espaço na atmosfera. Este problema vem sendo investigado desde a década de 70 por vários diferentes trabalhos, Prabhakara et al. (1974), Sobrino et al. (1991),

França e Cracknell (1994) e outros. Barton (1995) apresentou uma revisão bastante consistente do estágio da estimativa da TSM via dados do Advance Very High Resolution Radiometer (AVHRR) abordo dos satélite da série da National Ocenic and Atmospheric Adminitration (NOAA). A estimativa da TSM AVHRR/NOAA, tanto na NOAA/NESDIS quanto no CPTEC/INPE, é realizada através do mesmo procedimento e é baseado no algoritmo MCSST. Este algoritmo possui precisão global da ordem de 0.5°C (Legeckis e Zhu, 1998).

A desvantagem da metodologia de estimativa da temperatura da superfície do mar via os dados dos satélites da série NOAA (satélite de órbita polar) é basicamente a cobertura de nuvem. Este problema não permite a obtenção do campo de TSM, em escala global ou mesmo regional, em curto prazo de tempo. A principal razão do problema de cobertura de nuvens nas imagens de TSM-AVHRR, é a baixa freqüência de imageamento que corresponde a apenas duas passagens por dia para uma dada região geográfica. No momento, devido a problemas operacionais, no CPTEC/INPE, a TSM AVHRR/NOAA-14 é estimada de forma operacional com apenas uma passagem. Por outro lado, os satélites da série GOES realizam imageamento a cada ½hora. Esta característica dos satélites geoestacionário GOES, bem como a recém evolução destes satélites, incluindo os canais "split window" centrados nos comprimentos de onda 10.5 μm e 11.5 μm, similares ao AVHRR, os capacitam em estimar TSM, conforme estudos preliminares realizados por Legeckis e Zhu, (1997) e Wu et al. (1999).

Neste trabalho é apresentado a metodologia de estimativa da temperatura da superfície do mar via dados GOES-8 onde a TSM AVHRR/NOAA é tomada como referência e variável independente, no processo de regressão com temperatura de brilho dos canais 4 e 5 do GOES. Neste contexto é apresentado nas seções posteriores a metodologia operacional em desenvolvimento para estimativa da TSM via dados GOES-8, implementada no CPTEC/INPE.

3. PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS

Para a utilização da metodologia descrita na seção 4, cerca de 50 conjuntos de TSM AVHRR/NOAA-14 e dados GOES-8 foram processados e utilizados. A diferença de tempo na obtenção entre a TSM AVHRR/NOAA-14 e os dados GOES-8 é inferior à 30 minutos para todos os casos. Os dados selecionados representam um amplo espectro de condições atmosféricas, para todas estações no período de julho de 1998 a julho de 1999.

Os dados AVHRR (10-bits) foram convertidos em TSM utilizando o algoritmo operacional em uso no CPTEC/INPE (França et al., 1996). A TSM AVHRR/NOAA-14 foi colocada na projeção eqüidistante com resolução espacial de 1,5 km utilizando a interpolação do vizinho mais próximo. No sentido de tornar compatível a resolução da TSM AVHRR e dados GOES, o dado de AVHRR foi degradado por um fator de 4, isto é, cada pixel AVHRR se tornou a média de 4 pixels por 4 pixels, levando-se em consideração o mascaramento de nuvens.

Os dados GOES-8 (10-bits) foram processados utilizando o sistema TeraScan disponível no CPTEC/INPE. O Sistema foi responsável pelo pré-processamento dos dados que consistem dos cálculos do ângulo zenital, albedo do canal 1 e temperatura de brilhos dos canais 2, 4 e 5, respectivamente, bem como pela correção geométrica. Os dados GOES e TSM AVHRR/NOAA-14 foram registrados após a compatibilização em termo de resolução espacial. Este procedimento permitiu a extração dos dados de TSM AVHHR/NOAA-14 e T_4 e T_5 da imagem do satélite GOES-8 numa dada coordenada geográfica, que foram utilizados no ajuste dos coeficientes de regressão da equação "split-window", conforme metodologia implementada na seção 4.

4. METODOLOGIA

A estimativa da temperatura de superfície do mar é baseada na regressão da equação "split window" que foi desenvolvida inicialmente por McClain et al. (1975). O algoritmo de TSM GOES, proposto inicialmente, sofreu modificação na versão da equação "split window" quanto a dependência do ângulo zenital. Wu et al. (1999) sugeriu a equação "split-window" desprezando a dependência angular que é utilizado neste trabalho. A razão em desprezar a dependência angular é devido ao espectro do ângulo zenital dos dados GOES-8 utilizados, esses restritos entre 30° e 60°, o qual é realizado o ajuste entre as temperaturas de brilho dos canais 4 e 5 do GOES-8 e TSM AVHRR/NOAA-14. Sendo assim, a equação para correção atmosférica dos dados GOES-8 para estimar a TSM é assumida da seguinte forma:

$$TSM = A_0 + A_1 T_4 + A_2 (T_4 - T_5) + A_3 (T_4 - T_5)^2 , \qquad (1)$$

onde T_4 e T_5 são as temperaturas de brilho dos canais GOES 4 e 5, respectivamente. Os coeficientes A_0, A_1, A_2 e A_3 são determinados via regressão linear tomando como variável independente a TSM do AVHRR/NOAA-14 versus T_4 e T_5 do GOES-8 como variáveis independentes.

A Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia da estimativa da TSM-GOES-8. A metodologia é constituída de quatro fases com segue: A fase 1 corresponde ao pré-processamento de dados. Neste é realizado a correção radiométrica e geométrica dos dados GOES-8; A Fase 2 corresponde ao mascaramento de nuvens, que é baseado em técnicas de mascaramento de nuvens usando os canais 1, 2, 4 e 5 do GOES-8, onde os limites espectrais de cada técnica é estabelecido estatisticamente para pixels sem nuvem sobre oceano, seguindo o algoritimo apresentado na Fig. 1. Desta forma, um dado pixel será identificado como pixel não contaminado por nuvem se satisfizer todas os critérios estabelecidos forem atendidos conforme Fig. 1. (França and Cracknell, 1995 e França and Carvalho (pré-print)); A Fase 3 é realizada a correção atmosférica e a estimativa da TSM-GOES 8. A Fase 4 representa a geração da imagem de TSM-GOES-8 para os períodos noturno e diurno, onde cada período correspondem as imagens GOES nos períodos entre 13:00-19:30 GMT e 22:00 – 7:00 GMT, respectivamente. Os resultados são atualmente disponibilizados na INTERNET no site http://www.cptec.inpe.br em caráter experimental.

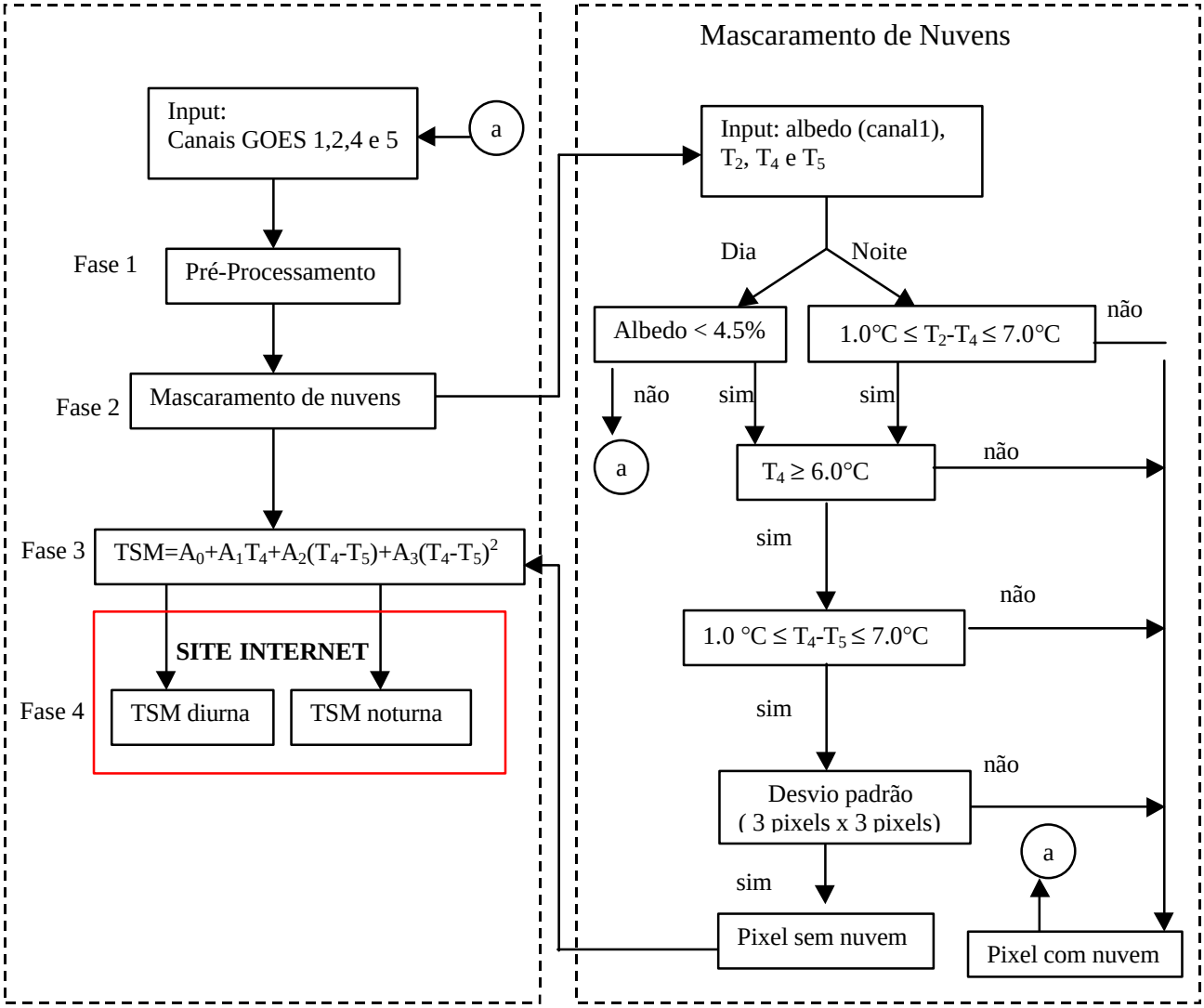

Figura 1. Fluxograma da metodologia de estimativa da temperatura da superfície do mar via dados GOES-8.

5. ANÁLISE E RESULTADOS

Com propósito de avaliar à estimativa da TSM GOES-8, os coeficientes da Eq. (1) foram regionalizados para duas áreas. Uma definida como equatorial, a qual corresponde as coordenadas entre 10°N à 18°S (latitude) e 25° W (longitude) ao litoral do continente Sul Americano. A outra denominada de Sul, foi definida entre as coordenadas de 18°S a 40°S (latitude), com as mesmas longitudes da região equatorial.

Os coeficientes da Eq. (1) foram determinados via regressão linear utilizando 50 conjuntos de dados GOES-8 e imagem de TSM AVHRR/NOAA-14, considerando as diversas situações atmosféricas, conforme mencionado na seção 3, tomando a sazonalidade e a regionalidade dos dados para as duas áreas em estudo no período de julho de 1988 a julho de 1999. A Tab. (1) apresenta os coeficientes A_0, A_1, A_2 e A_3 da Eq. (1), obtidos via regressão (mínimos quadrados), para região Equatorial, Sul e global (esta última considerando a junção dos dados das regiões Sul e Equatorial).

Tabela 1. Sumário da regressão para Eq. 1 para região Sul e Equatorial.

Região	**A_0**	**A_1**	**A_2**	**A_3**	**Amostras**	**Desvio Padrão**
Equatorial Ajuste: GOES-8 e TSM NOAA-14	17.41588258	0.5117146	-1.3550725	0.2379429	12712	0.26
Sul Ajuste: GOES-8 e TSM NOAA-14	4.2769	0.9243930	-0.179979	0.00491108	19941	0.29
Sul + Equatorial Ajuste: GOES-8 e TSM NOAA-14	1.01533	1.1343055	-1.044756	0.44005647	49591	1.01

Embora os coeficientes ajustados não esgotem todas as possibilidades de condições atmosféricas, estes, conforme resultados da regressão apresentados na Tab. 1, são bastante razoáveis considerando os resultados da estimativa da atual TSM AVHRR/NOAA, em escala global, que possui precisão da ordem de 0.5 °C (Legeckis and Zhu, 1997). Desta forma é possível afirmar que os resultados da TSM GOES-8 apresentados na Tab. 1 é melhor que 0.6 °C para os dados das regiões Sul e equatorial. Para o ajuste global a diferença entre os resultados de TSM GOES e TSM AVHRR/NOAA é aproximadamente 1.0°C.

A Fig. 2 apresenta comparação entre resultados obtidos através da TSM AVHRR/NOAA-14 (linha preta) e TSM GOES-8 (linha laranja), para região Sul. Este resultado além de mostrar a excelente coerência entre os resultados de TSM GOES-8 e TSM AVHRR/NOAA-14 para todas as situações na Fig.2, correspondendo a variação de TSM de aproximadamente 10°C a 30°C. Observa-se que quando a TSM NOAA-14 é constante, a TSM GOES-8 sofre pequenas flutuações. Tais flutuações são devidos, principalmente, ao fato que os dados GOES são duas ou três vezes mais ruidosos (Legeckis e Zhu, 1997) do que dados AVHRR/NOAA. Além disso, um outro fator que corrobora com aumento do ruído nos dados GOES é a diferença de caminhos ótico, que é bem maior do que dos dados AVHRR/NOAA.

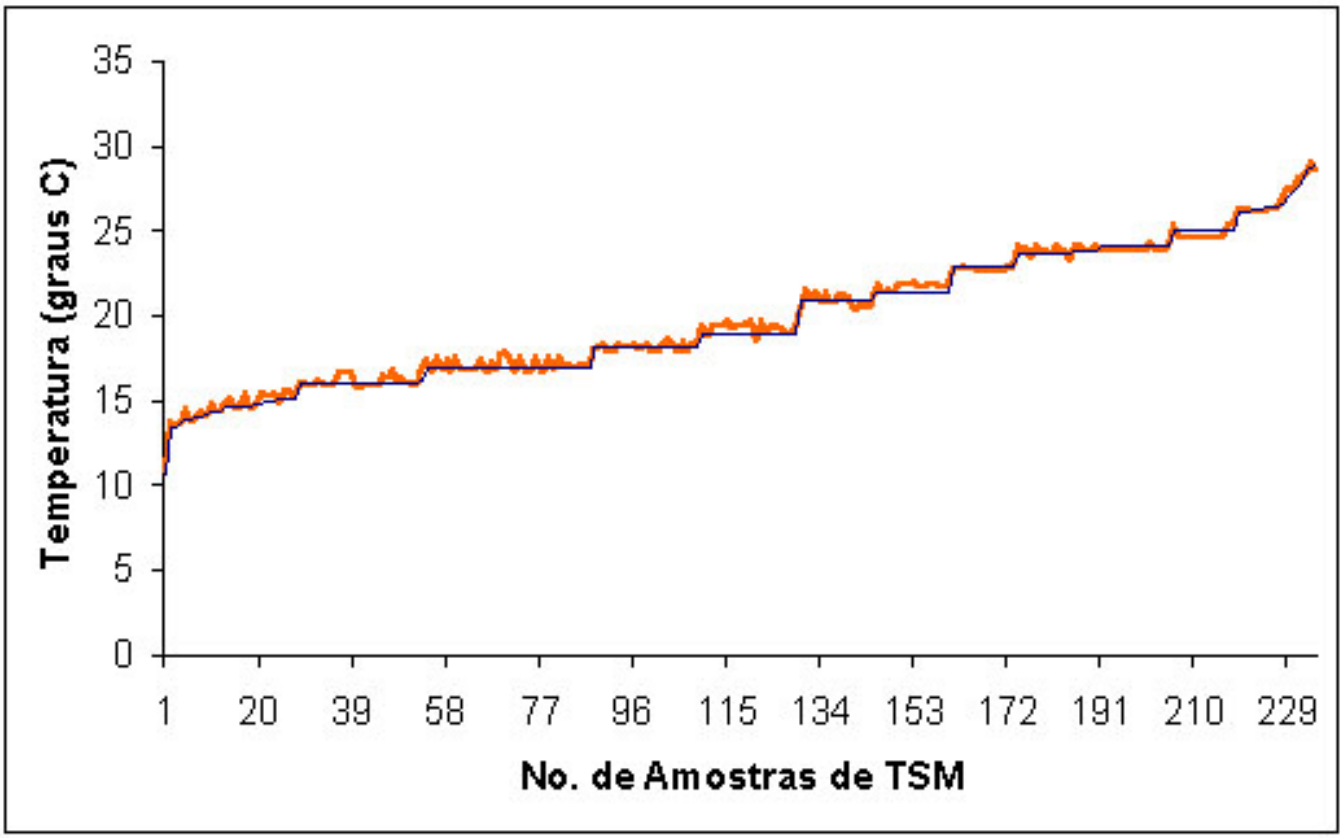

Figura 2. Comparação dos resultados entre a TSM NOAA-14 (linha preta) e TSM GOES-8 (linha laranja) para região Sul. Esta mostra o grau de ruído da TSM GOES-14.

6. CONCLUSÕES

O satélite GOES-8, utilizado neste trabalho, é capaz de produzir campo de TSM em tempo *quasi-real* para toda a área em estudo com precisão melhor que 1.0 ^{o}C . Além disto, devido ao poder de imageamento do satélite GOES-8 (a cada ½hora) é possível eliminar nuvens mais eficientemente do que a TSM AVHRR/NOAA, como apresentado na Figura 3. Observou-se que os dados GOES é mais ruidoso que os dados AVHRR NOAA. É importante mencionar que a variação de espectro dos dados de TSM NOAA-14 utilizados, estende-se de aproximadamente 10^{o}C à 30^{o}C (Fig. 2) e os dados do ângulo zenital do GOES-8 de aproximadamente entre 30^{o} e 60^{o}. Embora os coeficientes ajustados não esgotem todas as possibilidades de condições atmosféricas, estes são bastante razoáveis conforme resultados da regressão apresentados na Tab. 1.

Seguindo o mesmo procedimento de ajuste dos coeficientes da eq. (1) para dados AVHRR/NOAA com dados in situ realizados na NOAA/NESDIS, o mesmo está sendo realizado no CPTEC/INPE para estimativa de TSM GOES-8. Dados *in situ* das bóias fixa e deriva do projeto Pirata e da Marinha do Brasil, respectivamente, estão sendo coletados simultaneamente com as temperaturas de brilho T_4 e T_5 do GOES-8. Estes dados estão sendo processados no sentido de se obter os coeficientes A_0, A_1, A_2 e A_3 para toda área de interesse.

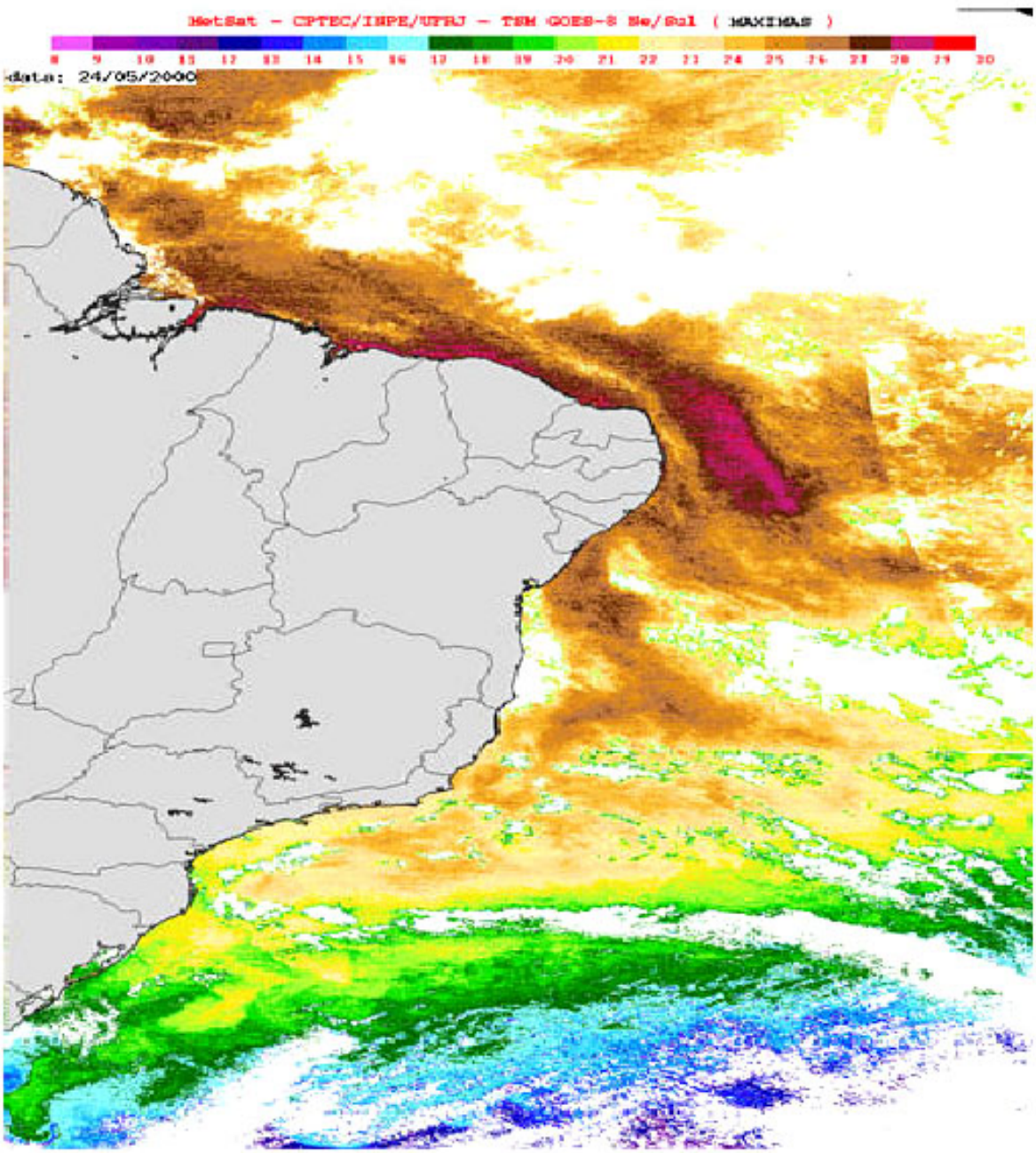

Figura 3. TSM GOES-8 para o período diurno do dia 24 de maio de 2000

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo Número: 98/06415-6), pelo Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) e pelo Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (Projeto Revizee) (Processo Número: 380011/99-9).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barton, I. J., 1995, Satellite-derived sea surface temperature: Currents status. J. Geophys. Res., 100(C5), 8777-8790.

França, G. B. , França J. R. A., Gondim, M. A., 1996, Implantação do pré-processamento de produtos quantitativos par os dados AVHRR dos satélites série NOAA-n. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, 6 a 13 de novembro de 1996.

França, G. B. e Cracknell, A . P., 1994, Retrieval of land and sea surface temprature using NOAA-11 AVHRR data in north-easten Brazil. *International Journal of remote Sensing*, **8** ,1695-1712.

França, G. B. e Cracknell, A . P., 1995, A simple cloud masking approach using NOAA AVHRR daytime date for tropical areas. *International Journal of remote Sensing*, **9** ,1697-1705.

França, G. B., and W. S. Carvalho, (**Pré-print**) An Operational SST algorithm using GOES-9 data (submetido ao International Journal of Remote sensing)

Legeckis, R., and T. Zhu, 1997, Sea Surface temperature from GOES-8 geostationary satellite. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 1971-1983.

McClain, L. M., 1975, Estimation of sea temperature from two infrared window measurements with different absorption. *Journal of Geophysical Research*, **80**, 5113-5117.

Prabhakara, C., Dalu, G., e Kunde, V. G., 1974, Estimation of surface temperature from remote sensing in the 11-to 13 μm window region. *Journal of Geophysical Research*, **79**, 5039-5045.

Sobrino, J. A ., Coll, C. e Caselles, V. 1991, Atmospheric correction for land surface-temperature using NOAA-11 AVHRR channel-4 and Channel-5. *Remote Sensing of Environment*, **38**, 19-34.

Wu, X., Menzel, P. and Wade, G. S., 1999, Estimation of Sea Surface Tempertures Using Goes-8/9 Radiance Measurements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 1127-1138.