

# DETERMINAÇÃO DE NEVOEIROS SOBRE AS REGIÕES SUL E SUDESTE DO BRASIL UTILIZANDO-SE IMAGENS MULTIESPECTRAIS DO SATÉLITE GOES-8

*Nelson Jesus Ferreira*  
*Ana Maria Bueno Nunes*  
*Nivaldo S. Ferreira*  
*Eduardo de Brito Bastos*  
*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE*  
*São José dos Campos, SP*

## Abstract

A methodology for monitoring fogs and/or low stratus layers, using GOES-8 multispectral imagery, is presented. Night-time fogs, stratus, and cirrus clouds were identified by subtracting the 10.7  $\mu\text{m}$  brightness temperature channel from the corresponding 3.9  $\mu\text{m}$  channel. A “reflected product” for the daytime hours was derived from the radiances at 3.9  $\mu\text{m}$  using the brightness temperatures channels 2 and 4. A sequence of satellite images from July 9<sup>th</sup>, 1997 (23:45 UTC) to July 10<sup>th</sup>, 1997 (17:45 UTC) period was used to test the proposed monitoring method for the south and southeast regions of Brazil.

## 1. Introdução

Os nevoeiros surgem quando o vapor de água que permanece no ar, condensa-se próximo da superfície terrestre, formando-se nuvens constituídas de gotículas microscópicas de água líquida (Wallace and Hobbs, 1977). Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil é comum a ocorrência de nevoeiros do tipo radiação, durante o inverno. Eles ocorrem em noites claras, calmas e relativamente úmidas, como resultado do resfriamento das camadas de ar adjacentes à superfície terrestre. Embora os nevoeiros geralmente estejam associados com tempo bom, eles podem reduzir a visibilidade próximo à superfície terrestre a distâncias menores do que um quilômetro, causando sérios problemas em aeroportos e rodovias.

Nas últimas décadas, com a disponibilidade de sensores multiespectrais a bordo de satélites meteorológicos, tornou-se possível implementar técnicas para a identificação de nevoeiros, utilizando-se uma combinação de bandas espectrais nas faixas do infravermelho próximo e infravermelho termal. Eyre et al. (1984), foram os pioneiros nesse tipo de enfoque utilizando imagens geradas pelo Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Posteriormente, este tipo de prática tornou-se uma rotina nos centros meteorológicos dos países desenvolvidos, principalmente com o advento dos novos satélites da série GOES, que possuem um número maior de canais. Entre as vantagens do monitoramento via satélite, destacam-se: a ampla visão espacial da área coberta pelo nevoeiro e a possibilidade de se acompanhar o seu ciclo de vida (início, desenvolvimento e dissipação).

No presente trabalho, com o intuito de disponibilizar uma metodologia para monitorar remotamente nevoeiros nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, implementou-se um sistema que combina imagens multiespectrais do GOES-8. Em função da alta resolução temporal (imagens de 30 em 30 minutos) desse satélite e da rapidez e simplicidade do método, a identificação de nevoeiros via sensoriamento remoto é de interesse prático para os meteorologistas operacionais.

## 2. Dados e Metodologia

Utilizou-se neste trabalho os campos de temperatura de brilho, transmitidos pelo satélite Geostationary Operational Environmental Satellite -8 (GOES-8), fornecidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Esses dados são para os canais 2, cuja banda espectral está centrada em 3,9  $\mu\text{m}$ , e 4, onde o comprimento de onda central está em 10,7  $\mu\text{m}$ . O método adotado para

monitorar nevoeiro neste trabalho é baseado nos estudos de Ellrod (1994) e no RAMM GOES 3.9  $\mu\text{m}$  Channel Tutorial (1996), sendo dividido em duas partes: monitoramento durante a noite e monitoramento durante o dia.

## 2.1 Determinação de nevoeiro durante a noite

Durante a noite, as diferenças de temperatura de brilho entre os canais 4 e 2 permitem a determinação das áreas de ocorrência de nevoeiros, estratos e cirros. As diferenças positivas representam as áreas com nevoeiro e/ou estratos. As diferenças negativas destacam as regiões com cirros. Essa técnica leva em conta que a emissividade das nuvens formadas por gotas d'água em 3,9  $\mu\text{m}$  é menor do que em 10,7  $\mu\text{m}$  (RAMM GOES 3.9  $\mu\text{m}$  Channel Tutorial, 1996). As Figuras. 1a e 1b mostram as imagens obtidas a partir das temperaturas de brilho nos canais 2 e 4 respectivamente para as Regiões Sul e Sudeste do Brasil em 09/07/1997 às 23:45 UTC. As áreas mais claras (temperaturas mais baixas) estão associadas com nuvens do tipo cirros. Nas duas imagens é possível observar filamentos em forma de garra ao longo da costa sudeste do Brasil que é uma representação típica de nuvem com cristais de gelo. A diferença entre as temperaturas de brilho dos dois canais pode ser vista na imagem da Figura. 1c. Essa diferença é usada para identificar as regiões com nuvens formadas por gotículas d'água (diferenças positivas, áreas claras) e também aquelas com cristais de gelo (diferenças negativas, áreas escuras). As Figuras 2a e 2b, apresentam imagens similares às anteriores porém para o dia 10/07/1997 às 05:45 UTC. A Figura. 2c exibe a diferença correspondente entre as temperaturas de brilho dos dois canais. A área branca, margeando a costa sul e sudeste do Brasil, representa a diferença positiva, indicando portanto, nevoeiro e/ou estratos.

## 2.2 Determinação de nevoeiro durante o dia

Na faixa espectral centrada em torno de 3,9  $\mu\text{m}$ , a refletância das nuvens é sensível principalmente ao tamanho das partículas (neste caso, gotas ou cristais de gelo). Além disso, ela é dependente da fase da nuvem, ou seja, gotículas d'água refletem de modo mais eficiente do que partículas de gelo do mesmo tamanho. Outra característica conhecida é que as gotas menores refletem mais do que as maiores. Como a gotas d'água nas nuvens normalmente possuem diâmetros entre 5 e 20  $\mu\text{m}$ , enquanto os cristais de gelo são geralmente uma grandeza maior, as nuvens formadas por gotas refletem mais do que as de cristais de gelo. Desta forma, nuvens do tipo estratos e nevoeiros (formadas por gotículas de água) são muito mais brilhantes durante o dia, quando observadas em 3,9  $\mu\text{m}$ , em relação aos outros tipos (RAMM GOES 3.9  $\mu\text{m}$  Channel Tutorial, 1996). A refletividade para nuvens do tipo estratos está em torno de 69 %, as do tipo cúmulos, 48 % e cirros, 21 % (Manabe e Strickler, 1964).

A metodologia utilizada neste trabalho para identificação de nevoeiros durante o dia envolve a separação de dois processos físicos (emissão e refletividade) que caracterizam as radiâncias em uma imagem do canal 2 do GOES-8. Basicamente, o procedimento envolve duas etapas: a conversão da temperatura de brilho do canal 4 em radiâncias equivalentes do canal 2 e a subtração dessa informação (emissão) da radiância total (emissão + refletividade) do canal 2. Na primeira fase utiliza-se a função de Planck, cuja expressão é dada por:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{c_1}{\lambda^5 [\exp(c_2/\lambda T) - 1]}, \quad (2.1)$$

na qual  $B_{\lambda}$  é a radiância espectral emitida por um corpo negro em função da sua temperatura ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ sr cm}$ );  $T$  é a temperatura absoluta (K);  $\lambda$  é o comprimento de onda (cm). As constantes  $c_1$  e  $c_2$  são definidas como:

$$c_1 = 2hc^2 = 1,191066 \cdot 10^{-5} \text{ mW} / \text{m}^2 \text{sr cm}^{-4}$$

$$c_2 = \frac{hc}{k} = 1,438833 \text{ K cm}$$

em que  $h$  é a constante de Planck (Js);  $k$  é a constante de Boltzmann (J/K) e  $c$  é a velocidade da luz no vácuo (m/s).

O cálculo da refletância ou da refletividade na faixa espectral em torno de  $3,9 \mu\text{m}$  envolve as seguintes formulações:

$$\varepsilon B_{\lambda_2}(T_4) + r\mu_o S_{\lambda_2} = B_{\lambda_2}(T_2),$$

sendo  $B_{\lambda_2}(T_2)$ , a radiância medida no canal 2;  $B_{\lambda_2}(T_4)$ , a radiância do corpo emissor na faixa espectral do canal 2, obtida a partir da temperatura do canal 4;  $\varepsilon$  é a emissividade;  $r$  é a refletividade;  $\mu_o$  é o cosseno do ângulo zenital;  $S_{\lambda_2}$  é a radiância proveniente do Sol na banda do canal 2, dada por:  $S_{\lambda_2} = B_{\lambda_2}(T_s)(a_s/d_{st})^2$ , sendo  $T_s$  a temperatura da fotosfera,  $a_s$  é o raio médio do Sol,  $d_{st}$  é a distância média entre a Terra e o Sol. Como  $\varepsilon = (1 - r) = \text{absortividade}$ , pela lei de Kirchhoff, para a condição de equilíbrio termodinâmico local, obtém-se:

$$(1 - r)B_{\lambda_2}(T_4) + r\mu_o S_{\lambda_2} = B_{\lambda_2}(T_2),$$

$$r = \frac{B_{\lambda_2}(T_2) - B_{\lambda_2}(T_4)}{\mu_o S_{\lambda_2} - B_{\lambda_2}(T_4)}, \quad (2.2)$$

sendo  $r$ , a refletividade no canal 2;  $\mu_o = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos h_o$ ;  $\phi$  é a latitude;  $\delta$  é o ângulo de declinação do Sol; e,  $h_o$  é o ângulo horário.

O ângulo de declinação solar pode ser obtido a partir de uma série de Fourier truncada para  $\theta_d$ , sendo  $\theta_d = 2\pi d_n/365$ , em que  $d_n$  é o dia do ano (entre 0 e 364). Assim,

$$\delta = \sum_{n=0}^3 a_n \cos n\theta_d + b_n \sin n\theta_d,$$

onde:

$n$	$a_n$	$b_n$
0	0,006918	—
1	-0,399912	0,070257
2	-0,006758	0,000907
3	-0,002697	0,001480

Fonte: Hartmann, 1994.

O ângulo horário é determinado por:

$$h_o = (h_t - 12) \frac{15\pi}{180},$$

sendo  $h_t$ , a hora local obtida a partir de:

$$h_t = \frac{\text{longitude}}{15} + h_G,$$

com  $h_G$  representando a hora em Greenwich ou em coordenada de tempo universal.

As radiâncias calculadas (Eq. 2.1) para 10/07/1997 às 11:45 UTC, em  $3,9 \mu\text{m}$ , a partir da temperatura de brilho do canal 2 e aquela para esse mesmo comprimento de onda porém utilizando a temperatura de brilho do canal 4, são apresentadas nas Figuras 3a e 3b, respectivamente. Utilizando-se

a Equação. 2.2, obtém-se a reflectância (Fig. 3c). As regiões mais claras estão associadas com estratos e/ou nevoeiros e as mais escuras com cirros. Procedimento idêntico é realizado para gerar a Fig. 4, a qual mostra as radiâncias calculadas para 10/07/1997 às 17:45 UTC, para o comprimento de onda de 3,9  $\mu\text{m}$ , com as temperaturas de brilho dos canais 2 e 4 (Figuras. 4a e 4b) e a reflectância (Fig. 4c). De forma análoga, as regiões mais claras indicam a presença de nevoeiro e/ou estratos. A seqüência das Figuras. 1c, 2c, 3c e 4c mostra a evolução da nebulosidade, principalmente a do tipo estratos (áreas mais claras), com máximo desenvolvimento entre 05:45 e 11:45 UTC, ao longo da costa sul e sudeste do Brasil a partir da noite de 09/11/1997 até a tarde do dia seguinte.

### 3. Considerações Finais

A metodologia apresentada tem um grande potencial para ser utilizada de forma simples e rápida em centros meteorológicos interessados no monitoramento de nevoeiros. A grande vantagem de se utilizar o sensoriamento remoto para o monitoramento de nevoeiros é que só as imagens de satélites permitem observar como eles se formam, a sua extensão espacial e como se dissipam. Do ponto de vista do satélite, os nevoeiros apresentam-se como nuvens baixas e com topos suaves (sem rugosidade). Como as nuvens estratos também têm essa característica, elas podem ser facilmente confundidas com nevoeiros. Para evitar essa confusão é importante lembrar que os nevoeiros não se deslocam mas expandem-se ou contraem-se (quando começa a dissipação) localmente durante o seu ciclo de vida. Neste caso, a distinção entre nevoeiros/estratos pode ser melhor observada através do processo de animação de uma seqüência de imagens. Os nevoeiros nas regiões Sul e Sudeste do Brasil são observados principalmente nos vales de rios, sobre grandes porções de água, ou sobre vales entre montanhas. Em função da resolução espacial das imagens do infravermelho do satélite GOES-8 (4 km), somente nevoeiros com área superior a 16  $\text{km}^2$  podem ser detectados.

### 4. Agradecimentos

Este trabalho beneficiou-se do conhecimento dos pesquisadores da Divisão de Meteorologia por Satélites, das sugestões do Dr. Juan Ceballos (CPTEC) e dos dados preparados pelo Sr. Marigláudio Alves Gondim (CPTEC). Agradecemos à Cláudia Cristina dos Santos pela ajuda na edição do trabalho.

### Referências Bibliográficas

- Ellrod, E., 1994: Detection and analysis of fog at night using GOES multispectral infrared imagery. **NOAA Technical Report NESDIS 75**.
- Eyre, J.R.; Brownscombe, J.L.; Allan, R.J., 1984: Detection of fog at night using advanced very high resolution radiometer (AVHRR) imagery. **Meteorological Magazine**, **113**, 266-271.
- Finger, J. E.; P. Wendling, 1990: Turbulence structure of Arctic stratus clouds derived from measurements and calculations. **J. Atmos. Sci.**, **47**: 1351-1373.
- Hartmann, D. L., 1994: Global Physical Climatology. **Academic Press**, San Diego, 411 pp.
- Manabe, S.; R. F. Strickler, 1964: Thermal equilibrium in the atmosphere with a convective adjustment. **J. Atmos. Sci.**, **21**: 361-385.
- RAMM GOES 3.9 Channel Tutorial, 1996. Developed by the NOAA/NESDIS Regional and Mesoscale Meteorology Team (RAMMT) in cooperation with CIRA scientists.
- Wallace, J. M.; P. V. Hobbs, 1977: Atmospheric Science: An Introductory Survey. **Academic Press**, New York, 467 pp.

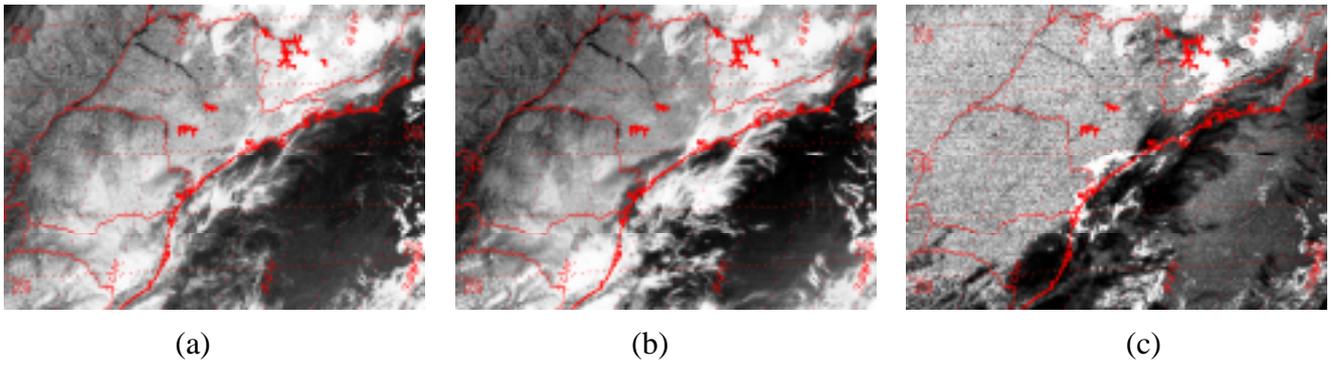


Fig. 1 – Imagens referentes às Regiões Sul e Sudeste, 09/07/1997, 23:45 UTC: (a) temperatura de brilho ( $K$ ) no canal 2; (b) temperatura de brilho ( $K$ ) no canal 4; (c) diferença entre o canal 4 e o canal 2.

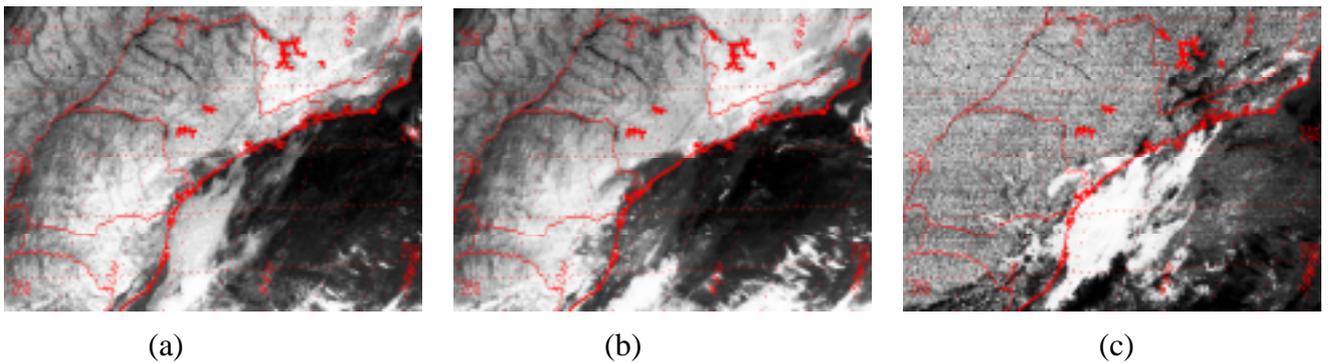


Fig. 2 – Imagens referentes às Regiões Sul e Sudeste, 10/07/1997, 05:45 UTC: (a) temperatura de brilho ( $K$ ) no canal 2; (b) temperatura de brilho ( $K$ ) no canal 4; (c) diferença entre o canal 4 e o canal 2.

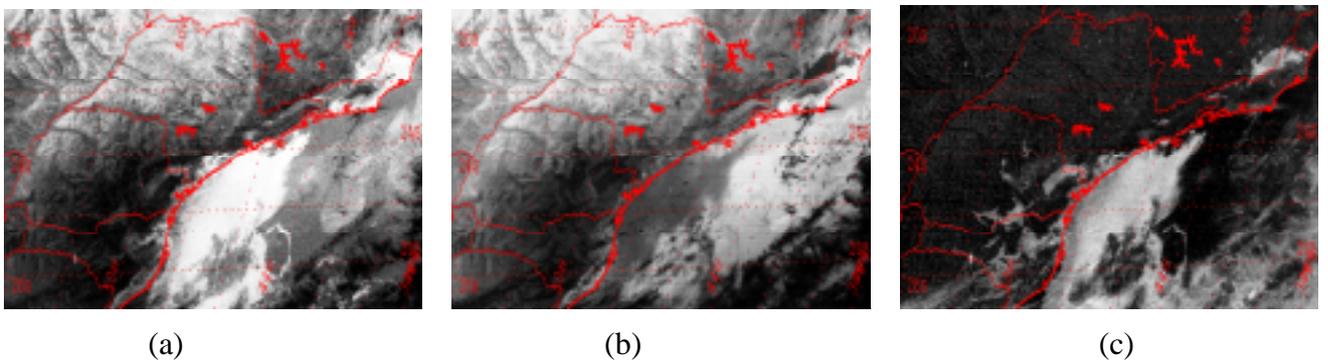


Fig. 3 – Imagens referentes às Regiões Sul e Sudeste para 10/07/1997 às 11:45 UTC: (a) radiância ( $mW/m^2 sr cm$ ) calculada a partir da temperatura de brilho do canal 2; (b) radiância ( $mW/m^2 sr cm$ ) calculada a partir da temperatura de brilho do canal 4; (c) reflectância do canal 2.

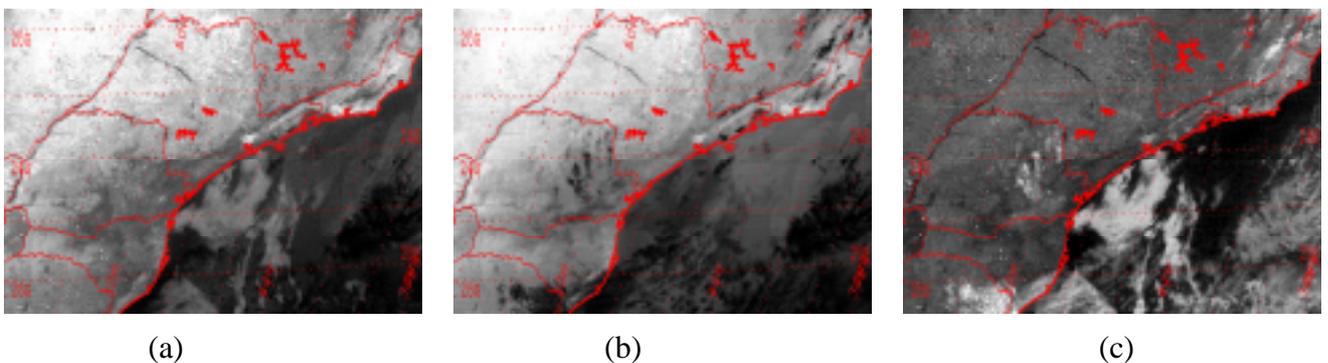


Fig. 4 – Imagens referentes às Regiões Sul e Sudeste para 10/07/1997 às 17:45 UTC: (a) radiância ( $mW/m^2 sr cm$ ) calculada a partir da temperatura de brilho do canal 2; (b) radiância ( $mW/m^2 sr cm$ ) calculada a partir da temperatura de brilho do canal 4; (c) reflectância do canal 2.