

## ESTUDO COMPARATIVO DE TRÊS ALGORITMOS PARA OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE COBERTURA EFETIVA DE NUVENS A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE GOES-8.

FERNANDO RAMOS MARTINS  
ENIO BUENO PEREIRA

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{fernando, enio}@dgc.inpe.br

**Abstract.** This short paper describes a comparative study among three techniques to obtain cloud cover index to be used as input data in radiative transfer model BRASIL-SR developed to derive all-sky surface global solar irradiation. The main goal is to establish the most reliable technique to prevent errors caused by permanent cloudy or clear sky conditions and cirrus contamination. The techniques produced almost identical results when applied to a ground-truth site in Florianópolis, as expected. This study will now proceed by using a new set of ground measurements from sites based in Caicó and Balbina to characterize extreme conditions of permanent clear and cloudy skies, respectively.

**Keywords:** clouds, solar radiation, radiative transfer model, remote sensing, image processing.

### 1. Modelo de transferência radiativa BRASIL-SR

O modelo BRASIL-SR é um modelo físico para obtenção de estimativas da radiação solar incidente na superfície que combina a utilização da aproximação de “Dois-Fluxos” na solução da equação de transferência radiativa com o uso de parâmetros determinados de forma estatística a partir de imagens de satélite (Martins, 2001). A irradiação solar incidente na superfície,  $\Phi_g$ , é obtida a partir de duas componentes independentes conforme descrito em (1). A primeira componente corresponde à condição de céu claro e a segunda refere-se à condição de céu encoberto. As duas componentes podem ser estimadas a partir de parametrização dos processos físicos bem conhecidos que ocorrem na atmosfera utilizando dados climatológicos para a solução numérica da equação de transferência radiativa. A irradiação solar no topo da atmosfera é representado por  $\Phi_0$ .

$$\Phi_g = \Phi_0 \left[ (1 - C_{eff}) t_{clear} + C_{eff} t_{cloud} \right] \quad \text{onde} \quad C_{eff} = \frac{[L - L_{clr}]}{[L_{cld} - L_{clr}]} \quad (1)$$

A natureza aleatória do fluxo de radiação solar em qualquer condição de nebulosidade é incluída no modelo através do coeficiente de cobertura efetiva de nuvens,  $C_{eff}$ . O valor de  $C_{eff}$  é determinado a partir dos valores de radiância visível,  $L$ , medido pelo satélite GOES-8. Os índices “*clr*” e “*cld*” referem-se à condição de céu claro e céu encoberto, respectivamente. Os valores  $C_{eff}$  descrevem dois efeitos causados pela presença de nuvens: distribuição espacial e profundidade ótica da cobertura de nuvens.

### 2. Determinação da cobertura efetiva de nuvens

A determinação do coeficiente de cobertura de nuvens foi realizada utilizando 3 algoritmos diferentes: a) o algoritmo “Extremos de radiância”, b) o algoritmo “Média de mínimos” e c) o algoritmo “Razão IR/VIS”. A diferença entre os três algoritmos reside na determinação da radiância de céu claro e céu encoberto. O primeiro algoritmo é bastante simples e baseia-se no fato que o albedo de superfície é muito menor do que o albedo de nuvens para um dado ângulo zenital. Dessa forma, os valores mínimo e máximo da radiância visível medido pelo satélite no intervalo de um mês são utilizados para a condição de céu claro e de céu encoberto,

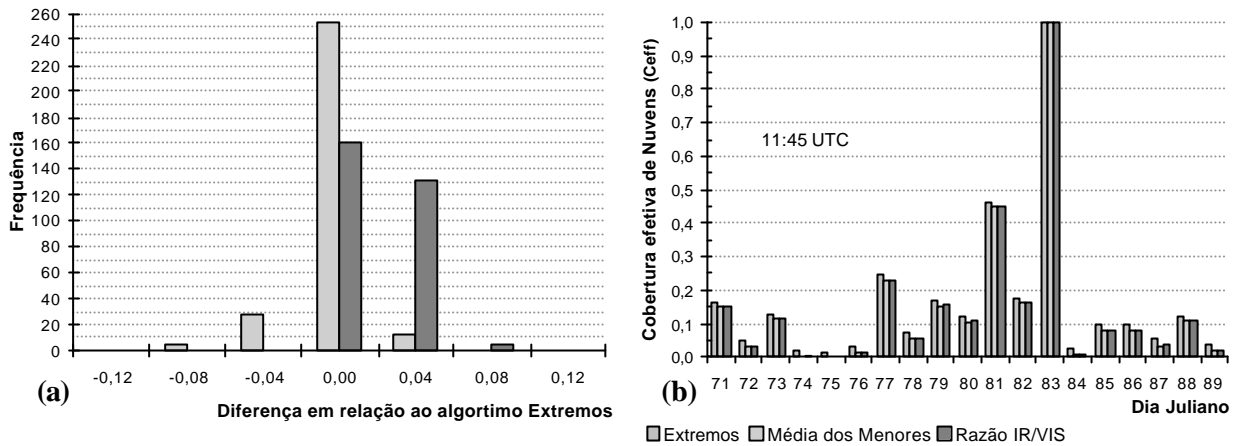
respectivamente. No entanto, diversos fatores reduzem a confiabilidade do coeficiente de cobertura de nuvens obtido por este algoritmo. Dentre eles podem-se citar a não identificação de nuvens cirrus utilizando apenas a região espectral do visível, a ocorrência de nebulosidade permanente, ou a não ocorrência de nebulosidade durante o mês em estudo. Estes dois últimos eventos podem ocorrer, por exemplo, na região amazônica que apresenta grande nebulosidade na estação chuvosa, ou na região do sertão nordestino onde é pequena a ocorrência de nebulosidade na maior parte do ano.

Os demais algoritmos foram desenvolvidos a fim de aumentar a confiabilidade do coeficiente de cobertura de nuvens. O algoritmo “Média de mínimos” baseia-se em estudos desenvolvidos por Rossow et al. (1989) que demonstram que a variabilidade da radiância visível medida pelo satélite é maior na presença de nuvens. Assim, se não há contaminação de nuvens nos 5 menores valores de radiância visível, o desvio padrão da média destes valores será menor do que quando ocorrer a presença de nuvens. Neste algoritmo, a radiância de céu claro será a média dos menores valores de radiância visível desde que o desvio padrão da média seja inferior a um limite pré-estabelecido. Se o limite é superado, o maior dos valores de radiância é descartado e repete-se o procedimento. A radiância de céu encoberto utiliza o valor máximo de radiância no período em estudo desde que seja superior ao valor utilizado na condição de céu claro mais três vezes o seu desvio padrão.

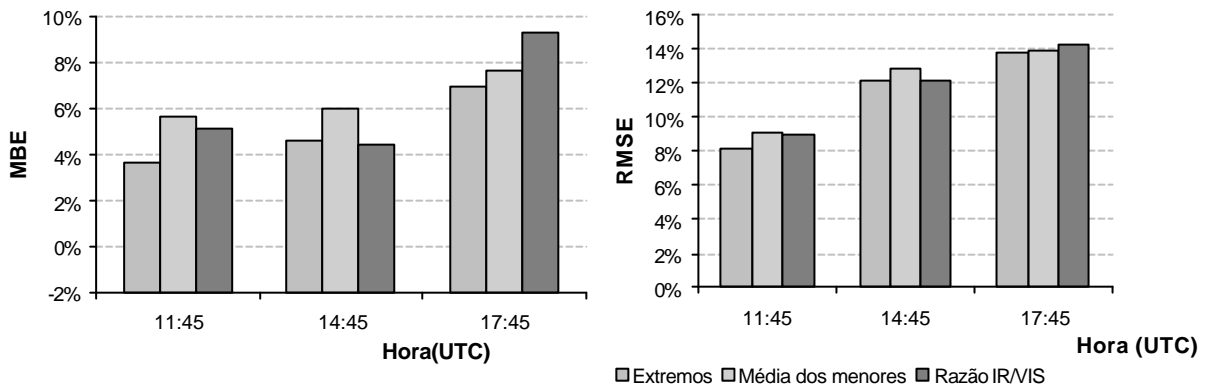
O algoritmo “Razão IR/VIS” utiliza a razão entre as radiâncias medidas pelo satélite nos canais infravermelho e visível para determinação das condições de céu claro e céu encoberto. O valor de céu claro é obtido através da identificação dos maiores valores de razão entre a radiância infravermelha (IR) e a radiância visível (VIS) que correspondem a características associadas à superfície do planeta (na ausência de cobertura de neve): temperatura elevada e albedo reduzido. A utilização de dois canais espectrais permite a identificação de nuvens com maior facilidade conforme observado por Desbois et al. (1982). Na situação em que estes dois algoritmos não conseguem definir as radiâncias de céu claro e encoberto, esses valores são determinados a partir de médias espaciais dos valores obtidos para pixels circunvizinhos.

### 3. Resultados e Discussões

Os três algoritmos foram aplicados para a localização da estação solarimétrica integrante da BSRN (Baseline Solar Radiation Network/WMO) em Florianópolis no período de Janeiro a Março/2002. Observa-se na Figura 1 que os algoritmos apresentam uma discrepância muito pequena entre si. A validação dos valores de  $C_{eff}$  com medidas de superfície é inviável uma vez que está relacionado não só à quantidade como também à profundidade ótica das nuvens. A aplicação dos valores de  $C_{eff}$  obtidos com cada um dos algoritmos no modelo BRASIL-SR, não resultou em uma alteração significativa dos desvios das estimativas em relação a medidas de superfície obtidas na estação solarimétrica, conforme apresentado na Figura 2. Deve-se ressaltar que as causas, mencionadas acima, que reduzem a precisão do algoritmo “Extremos” não são observadas em Florianópolis. Este estudo terá continuidade com a aplicação dos algoritmos em outras duas localizações: Balbina na região amazônica onde está em operação outra estação BSRN e que apresenta grande nebulosidade persistente na estação chuvosa e em Caíco no sertão nordestino com grande número de dias de céu claro o ano todo e onde medidas de radiação solar estão em andamento desde novembro/2002. O objetivo é de intercomparação de modelos de transferência radiativa nesses casos extremos, quando as técnicas deverá apresentar as maiores discordâncias. Somente após esta continuidade poderá se concluir sobre a confiabilidade de cada um dos algoritmos e qual deles se mostrará mais adequado para uso no modelo BRASIL-SR.



**Figura 1.** (a) diferença entre os  $C_{eff}$  pelos algoritmos “Média dos Menores” e “Razão IR/VIS” em relação ao algoritmo “Extremos”; e (b) os valores de  $C_{eff}$  para um período de dias de março de 2002 no horário de 11:45UTC.



**Figura 2.** Desvio médio (MBE) e erro quadrático médio (RMSE) das estimativas do modelo BRASIL-SR usando os valores de  $C_{eff}$  de cada um dos algoritmos como dado de entrada.

### Agradecimentos

Às agências Global Environment Facility (GEF) e United Nations Environmental Program (UNEP) responsáveis pelo financiamento do Projeto SWERA. Ao LABSOLAR/UFSC pela cessão dos dados solarimétricos de Florianópolis. Ao CPTEC/INPE pelo apoio no desenvolvimento do trabalho por meio da cessão das imagens do satélite GOES-8.

### Referências

- Stuhlmann, R.; Rieland, M.; Raschke, E. An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, v. 29, n. 7, p. 586-603, 1990.
- Desbois, M.; Seze, G.; Szejwach, G. Automatic classification of clouds on METEOSAT imagery: application to high level clouds. *Journal of Applied Meteorology*, 21, 401-412, 1982.
- Martins, F. R. *Statistical approaches to the estimation of missing values arising in remotely sensed data*. Ph.D. (Tese) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 330p.
- Rossow, W. B.; Brest, C. L.; Garder, L. C. Global, seasonal surface variations from satellite radiance measurements. *Journal of Climate*, v. 2, n.3, p. 214-247, 1989.