



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS

AUTORES
AUTORS

RADIAÇÃO SOLAR
SATÉLITE

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY

Marco Antonio Raupp
Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR

Nelson Arai
Nelson Arai

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

Y. Viswanathan
Yelissetty Viswanathan

CDU/UDC

551.521.31:551.507.362.2

DATA / DATE

Outubro 1988

TÍTULO/TITLE	<p>PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO</p> <p>INPE-4723-PRE/1400</p> <p>RADIAÇÃO SOLAR: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE RADIAÇÃO POR SATÉLITE E ESTAÇÕES DO INEMET</p>
	<p>AUTORES/AUTHORSHIP</p> <p>Nelson Arai Elisabete Caria Moraes</p>

ORIGEM
ORIGIN

CSA

PROJETO
PROJECT

RADSAT

Nº DE PAG. NO OF PAGES	ULTIMA PAG. LAST PAGE
07	06

VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Comparou-se os valores de radiação solar global diária obtidos por satélite, com dados medidos em seis estações da rede solarimétrica do Instituto Nacional de Meteorologia (INEMET) nos períodos de 08 a 20 de junho e 25 de agosto a 5 de setembro de 1986. O método usado para a estimativa da radiação solar por satélite baseia-se em um modelo físico simples e em imagens na forma digital do canal visível do satélite geoestacionário GOES. Para o grupo de dados incluindo todas as estações a comparação apresentou um coeficiente de correlação de 0.84; enquanto que para as estações individuais este coeficiente variou entre 0.83 para Brasília e 0.90 para o Rio de Janeiro. As perspectivas da utilização das informações obtidas por satélite são: complementar as informações da rede solarimétrica do INEMET cobrindo áreas oceânicas e outras com baixa densidade de piranômetros; e também de fazer um acompanhamento das respostas dos piranômetros da rede solarimétrica do INEMET.

OBSERVAÇÕES/REMARKS

Trabalho submetido para apresentação no V Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7 a 11 de novembro de 1988, Rio de Janeiro.

RADIAÇÃO SOLAR : COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE RADIAÇÃO POR SATÉLITE E ESTAÇÕES DO INEMET

Nelson Arai e Elisabete C. Moraes
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
C.P. 515 - 12201 - São José dos Campos, SP

Resumo: Comparou-se os valores de radiação solar global diária obtidos por satélite com dados medidos em seis estações da rede solarimétrica do Instituto Nacional de Meteorologia (INEMET) nos períodos de 08 a 20 de junho e 25 de agosto a 5 de setembro de 1986. O método usado para a estimativa da radiação solar por satélite baseia-se em um modelo físico simples e em imagens na forma digital do canal visível do satélite geoestacionário GOES. Para o grupo de dados incluindo todas as estações a comparação apresentou um coeficiente de correlação de 0.84; enquanto que para as estações individuais este coeficiente variou entre 0.83 para Brasília e 0.90 para o Rio de Janeiro. As perspectivas da utilização das informações obtidas por satélite são: complementar as informações da rede solarimétrica do INEMET cobrindo áreas oceânicas e outras com baixa densidade de piranômetros; e também de fazer um acompanhamento das respostas dos piranômetros da rede solarimétrica do INEMET.

1 . INTRODUÇÃO

A radiação solar é um parâmetro de fundamental importância nos processos físicos e dinâmicos da atmosfera; com influência na agricultura e aproveitamento da energia solar como fonte alternativa de energia entre outras, além de ser ferramenta básica da meteorologia e climatologia.

O método convencional de medida da radiação solar faz uso dos piranômetros. O problema da utilização desses instrumentos está em implantar e operar uma rede solarimétrica suficientemente densa, tanto por problemas operacionais: áreas de difícil acesso e áreas oceânicas; quanto por problemas de custo de equipamentos. Para se ter uma idéia, a rede solarimétrica do INEMET conta atualmente com cerca de vinte e duas estações para cobrir o território brasileiro. Uma alternativa viável para complementar os dados desta rede seria a utilização de satélites meteorológicos. Além disso, pode-se fazer um acompanhamento das respostas dos piranômetros da rede com fins de manutenção.

No caso específico do satélite meteorológico geoestacionário GOES usado neste estudo, a resolução temporal é de 30 minutos e a resolução espacial é de cerca de um quilômetro quadrado no ponto sub-satélite.

Os primeiros trabalhos visando a utilização de imagens de satélite na estimativa da radiação solar datam de fins da década de 70. Vonder Haar e Ellis (1978) fizeram os primeiros estudos usando um satélite de órbita polar da série NOAA. Posteriormente, Tarpley (1979) aplicou um outro tipo de enfoque, usando técnicas estatísticas em dados obtidos por satélite geoestacionário. Gautier e outros (1980) obtiveram bons resultados com um modelo físico e dados obtidos do satélite geoestacionário da série GOES. Baseado no esquema desenvolvido por Gautier e outros (1980), foram feitos alguns estudos para estimativa da radiação solar instantânea por Arai e Almeida (1982) e Moraes (1986). No presente trabalho, estes valores instantâneos são integrados e comparados com dados de seis estações da rede solarimétrica do INEMET.

2 . MODELO FÍSICO

No modelo originalmente utilizado por Gautier e outros (1980) os efeitos atenuadores da radiação solar considerados são o espalhamento por efeito Rayleigh, a absorção pelo vapor d'água e a absorção/reflexão pelas nuvens. Para situações de céu sem nuvens a equação da energia radiante percebida pelo satélite é dada segundo Gautier e outros (1980) por:

$$OC\uparrow = F_0\alpha + F_0(1-\alpha)(1-\alpha_1)A[1-a(u_1)][1-a(u_2)] , \quad (1)$$

onde:

- OC \uparrow = fluxo radiante ascendente de onda curta, percebido pelo satélite ($W.m^{-2}$),
- F₀ = fluxo solar radiante instantâneo de onda curta no tampo da atmosfera ($W.m^{-2}$),
- α = coeficiente de reflexão para radiação direta (adimensional),
- α_1 = coeficiente de reflexão para a radiação difusa (adimensional),
- A = albedo de superfície (adimensional),
- a(u₁) e a(u₂) = coeficientes de absorção para a trajetória do vapor d'água: u₁ para o ângulo solar e u₂ para o ângulo do satélite (adimensionais).

Os coeficientes de reflexão α e α_1 , foram calculados através de um método proposto por Coulson (1959). A absorção da radiação solar pelo vapor d'água atmosférico foi estimada utilizando metodologias propostas por Paltridge (1973), Smith (1966) e Viswanadhan (1981). Além disso o espalhamento da radiação pelo solo é suposto isotrópico.

A radiação de onda curta incidente na superfície (OC \downarrow) será:

$$OC\downarrow = F_0(1-\alpha)(1+A\alpha_1)[1-a(u_1)] \quad (2)$$

No caso de céu encoberto, os efeitos atenuadores descritos para céu claro ocorrem acima e abaixo da camada de nuvens; além de se considerar também a absorção e reflexão da própria nuvem.

Os processos físicos que são levados em conta para céu encoberto, e que determinam a intensidade do fluxo radiante de onda curta, medidos pelos sensores do satélite, são apresentados na Figura 1.

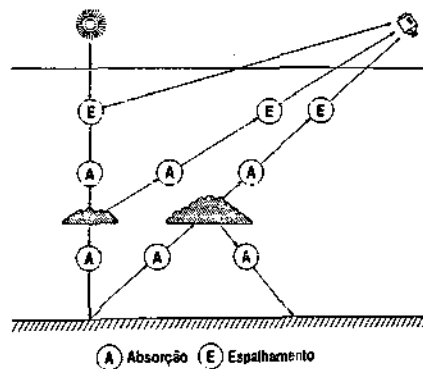


Fig. 1 - Modelo de transferência para céu encoberto.

Nesse caso a energia radiante percebida pelo satélite será:

$$OC\uparrow = F_0\alpha + F_0(1-\alpha)[1-a(u_3)][(1-\alpha_1)A_N[1-a(u_4)]] \quad (3)$$

onde:

A_N = albedo da nuvem (adimensional),

$a(u_3)$ e $a(u_4)$ = absorções da radiação solar acima e abaixo da nuvem respectivamente, pelo vapor d'água (adimensional).

A radiação de onda curta incidente na superfície será dada por:

$$OC\downarrow = F_0(1-\alpha)(1-A_N)(1-abs)[1-a(u_1)] \quad (4)$$

onde:

abs = absorção pelas nuvens (adimensional).

Estas relações permitem a estimativa da radiação solar incidente na superfície para céu limpo ou encoberto usando imagens do satélite geoestacionário GOES.

3 . INFORMAÇÕES DO SATÉLITE

O satélite geoestacionário GOES oferece uma resolução temporal de trinta minutos e uma resolução espacial de cerca de um quilometro quadrado no ponto sub-satélite. As informações fornecidas pelos sensores do satélite são expressas em valores de "count" (níveis de cinza, que na faixa do sensor visível varia entre 0 e 63) que por sua vez são transformados em valores de refletância pela relação:

$$R = \left[\frac{CT}{63} \right]^2, \quad (5)$$

onde:

R = refletância (adimensional),

CT = count value (adimensional).

Mas para a utilização destes valores de refletância faz-se necessário dois tipos de correção: a "navegação" e a "calibração" da imagem. O processo de "navegação" consiste na determinação precisa de um ponto do sistema de coordenadas terrestres (latitude, longitude) em coordenadas de imagem (linha, elemento). Isto se faz necessário porque o satélite, embora dito geoestacionário não se comporta como tal em relação a um ponto fixo sobre a superfície da Terra. Para esta correção foi usado um método proposto por Hambrick e Philips (1980) e implementado no Brasil por Conforte e outros (1983). O processo de "calibração" consiste na homogeneização da resposta dos oito sensores do canal visível do satélite GOES. Esta "calibração" se faz necessária, pois com o decorrer do tempo os sensores deterioram-se diferentemente. O método de "calibração" baseou-se na metodologia proposta por Norton e outros (1980).

4 . DADOS UTILIZADOS

A localização das estações da rede solarimétrica do INEMET usadas para a comparação dos dados de radiação solar são apresentadas na Figura 2. O período usado para a comparação entre os dados das seis estações do INEMET e os valores obtidos por satélite foram: 08 a 20 de junho e 25 de agosto a 5 de setembro de 1986.



Fig. 2 - Estações da rede solarimétrica usadas no estudo.

Os dados de radiação solar diária foram obtidos do Boletim de Radiação Solar Trimestral do INEMET, que fornece dados diários e médias mensais de radiação solar global obtidos por piranômetros. Outros parâmetros como cobertura de nuvens, e temperatura de ponto de orvalho usados na metodologia também foram obtidos da rede de estações de superfície do INEMET. Estes dados foram coletados nos horários de 12 e 18 horas TMG com algumas lacunas principalmente no mês de agosto. Os valores destes parâmetros no decorrer do dia foram aproximados usando as observações destes dois horários. Na realidade os dados de nebulosidade por exemplo são usados somente para confirmar as situações de altos valores de "count" (níveis de cinza) no modelo, pois a cobertura de nuvens é fator de mais alta relevância na radiação solar incidente na superfície, e é também o parâmetro que provoca maiores incertezas na determinação da mesma quando se usa satélite meteorológico. Isto pode ser comprovado no trabalho de Moraes e Almeida (1987), que mostra um erro médio de 14% para situações de céu claro e de 35% para céu encoberto.

5 . RESULTADOS

Embora o grupo de dados usado no presente estudo seja reduzido, foram obtidos resultados satisfatórios na estimativa da radiação solar diária por satélite. A comparação entre dados de piranômetros e valores obtidos por satélites para as estações mostradas na figura 2 pode ser vista na figura 3.

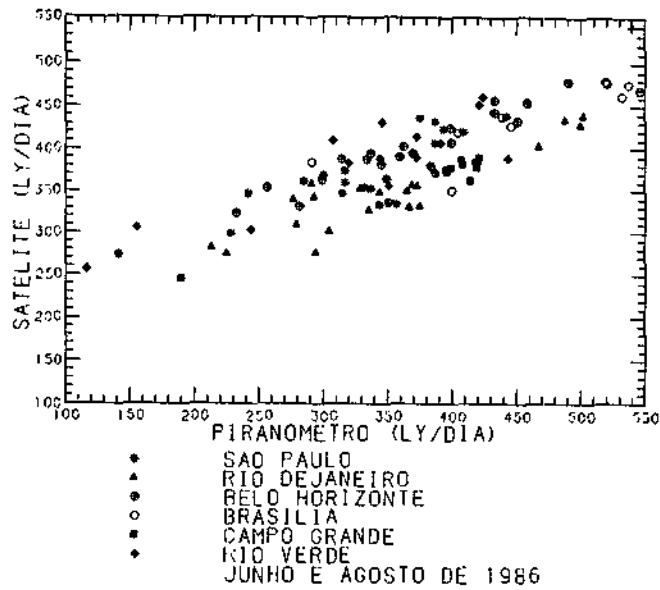


Fig. 3 - Comparação entre dados observados por piranômetros e valores obtidos por satélite.

Para este grupo de dados, o erro médio calculado foi de 28% e o coeficiente de correlação múltipla 0.84. Deve ser ressaltado que no presente estudo, cerca de 84% das observações feitas nos horários de 12 e 18 horas TMC acusaram presença de nuvens, o que deve ter influído no desempenho do modelo.

Outra observação interessante que deve ser feita refere-se a tendência de superestimativa dos valores obtidos por satélite sobre os dados de piranômetros nas estações de São Paulo, Belo Horizonte e Rio Verde e o inverso para as estações de Brasília, Campo Grande e Rio de Janeiro. Essa análise sugere duas importantes considerações, a primeira diz respeito a diferentes constituintes atmosféricos e aerossóis característicos de cada localidade, atuarem de modo a mascarar as informações de satélites; a segunda consideração se refere a problemas com a calibração dos piranômetros da rede solarimétrica. Esta segunda consideração seria a de mais fácil verificação pois a aferição de cada piranômetro pode ser feita usando um piranômetro padrão, o que permitiria a determinação de uma nova constante para o instrumento, caso ele estivesse subestimando ou superestimando os valores de radiação. Já a primeira consideração exigiria um estudo mais detalhado dos aerossóis e constituintes atmosféricos de cada localidade, para se definir o elemento que estaria afetando diferentemente as observações feitas por satélite e por piranômetro.

A análise da figura 3 mostrou que para a amostra de dados estudados, a relação entre a medida feita pelo satélite (RS) e a observação feita pelo piranômetro (RP) é dada por:

$$RP = \frac{RS - 192}{0.51} \quad (6)$$

onde:

RP = radiação solar diária medida por piranômetro (ly.dia⁻¹),

RS = radiação solar diária determinada por satélite (ly.dia⁻¹).

Se considerarmos a medida de piranômetro como sendo "verdade terrestre" esta relação pode ser usada tentativamente para determinação da radiação solar incidente na superfície terrestre. Mas, para se obter uma relação que melhor represente esta quantidade é necessário um conjunto maior de dados. E para que esta relação tenha uma maior representatividade seria interessante obter resultados para situações características das diversas estações do ano.

6. CONCLUSÕES

Conclui-se do presente trabalho que a utilização de satélite meteorológico geoestacionário na estimativa da radiação solar incidente na superfície terrestre é uma alternativa viável, com perspectiva de melhoria de desempenho do modelo no caso da inclusão de outras informações de satélite como os canais infravermelho e do vapor d'água.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Yelissety Viswanadham a revisão técnica, as Sras. Célia Regina da Rosa e Maria de Fátima Santana Massunaga a datilografia deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAI, N.; ALMEIDA, F.C. Estimativa da radiação solar que chega a superfície terrestre utilizando satélite meteorológico. São José dos Campos, INPE-2567-PRE/215. Nov. 1982.
- CONFORTE, J.C.; ARAI, N.A.; ALMEIDA, F.C. Navegação das imagens dos satélites meteorológicos geoestacionários. São José dos Campos, INPE-2772-RPE/435. jun. 1983.
- COULSON, K.L. Characteristics of the radiation emerging from the top of a Rayleigh atmosphere, 1 and 2. Planetary Space Science, 1(4):265-284. Apr. 1959.
- GAUTIER, C.; DIAK, G.; MASSE, S. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. Journal of Applied Meteorology, 19(8):1005-1012. Aug. 1980.
- HAMBRICK, L.N.; PHILIPS, D.R. Earth locating image data of spin-stabilized geosynchronous satellites. Washington, D.C. NOAA, 1980. (NOAA Technical memorandum NESS 111).
- MORAES, E.C. Comparação entre métodos de estimativa da radiação solar: satélite/convencional. Dissertação de mestrado. São José dos Campos, INPE-4025-TDL/242, mar. 1986.
- MORAES, E.C.; ALMEIDA, F.C. Aferição do método de estimativa da radiação solar por satélite. São José dos Campos. INPE-4349-PRE/1185. Set. 1987.
- NORTON, C.C.; MOSHER, F.R.; HINTON, B.; MARTIN, D.W.; SANTEK, K.; KUHLLOW, W. A model for calculating atmospheric turbidity over the oceans from geostationary satellite data. Journal of Applied Meteorology, 19(6):633-644. Jun. 1980.
- PALTRIDGE, G.W. Direct measurement of water vapor absorption of solar radiation in the free atmosphere. Journal of the Atmospheric Sciences, 30(1):156-160. Jan. 1973.
- SMITH, W.L. Note on the relationship between total precipitable water and surface dew point. Journal of Applied Meteorology, 5(5):726-727. Oct. 1966.
- TARPLAY, J.D. Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data. Journal of Applied Meteorology, 18(9):1172-1181. Sept. 1979.
- VISWANADHAM, Y. The relationship between total precipitable water and surface dew point. Journal of Applied Meteorology, 20(1):3-8. Jan. 1981.
- VONDER HAAR, T.H.; ELLIS, J.S. Determination of the solar energy microclimate of the United States using satellite data; Final Report. S.I., Colorado State University, 1978.



- DISSERTAÇÃO
 TESE
 RELATÓRIO
 OUTROS

TÍTULO

RADIAÇÃO SOLAR: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE RADIAÇÃO POR SATÉLITE E ESTAÇÕES DO INEMET

IDENTIFICAÇÃO

AUTOR(ES)

NELSON ARAI
ELIZABETE CARIA MORAES

ORIENTADOR

DISS. OU TESE

CO-ORIENTADOR

LIMITE

DEFESA

CURSO

ORGÃO

— / — / —

— / — / —

DIVULGAÇÃO

EXTERNA INTERNA RESTRITA

EVENTO/MEIO

CONGRESSO REVISTA OUTROS

NOME DO REVISOR

Y. VISWANADHAN

NOME DO RESPONSÁVEL

EUGENIO J. F. NEIVA

REV. TÉCNICA

RECEBIDO

DEVOLVIDO

ASSINATURA

8 / 9 / 88

19 / 9 / 88

Y. Viswanathan

APROVADO

DATA

ASSINATURA

SIM
 NÃO

— / — / —

Eugenio J. F. Neiva

APROVAÇÃO

REV. LINGUAGEM

Nº

PRIOR.

RECEBIDO

NOME DO REVISOR

— / — / —

PÁG.

DEVOLVIDO

ASSINATURA

— / — / —

OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER

RECEBIDO

DEVOLVIDO

NOME DA DACTILOGRAFA

— / — / —

Nelson Arai / Elia

DACTILOGRAFA

Nº DA PUBLICAÇÃO:

PÁG.:

CÓPIAS:

Nº DISCO:

LOCAL:

SIM

NÃO

— / — / —

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO

DIRETOR

OBSERVAÇÕES E NOTAS