

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Um Modelo para Estimar o Saldo Médio Diário de Radiação Através de Medições nos Instantes da Passagem dos Satélites Aqua e Terra

Juarez Dantas de Souza¹

Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Matemática, UEPB, Campina Grande, PB

Resumo. Neste trabalho, apresenta-se um modelo para estimar o saldo diário de radiação através de medições realizadas no instante da passagem dos satélites Aqua e Terra (mantidos pela NASA) que passam pela linha do equador aproximadamente às 13:20 e 10:20 horas, respectivamente, disponibilizando dados do sistema Terra-Atmosfera. Os quais são suficientes para estimar o saldo instantâneo de radiação a superfície. Existem vários trabalhos na literatura que utilizam esses dados para estimar, com erros aceitáveis pela comunidade científica, o saldo diário de radiação. No modelo proposto, dado o saldo instantâneo de radiação nos instantes dos satélites, uma função de distribuição com características de uma função peso, projeta o saldo instantâneo nos demais instantes entre o nascer e o por do sol. Os resultados do modelo apresentam um erro relativo inferior a 6,6 %, ao estimar o saldo médio diário.

Palavras-chave. Radiação, Saldo diário, Modelo, Satélite.

1 Introdução

A diferença entre a radiação que chega e a que sai da superfície é denominada *Saldo de Radiação à Superfície (Sr)*. Em vários trabalhos [1, 2, 3], estimam dados diários de radiação a partir de um único saldo instantâneo de radiação durante o dia, usando dados do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo dos satélites Aqua e Terra da missão *Earth Observing System (EOS)*, mantida pela NASA [1, 3]. Nesse sentido, o método apresentado por [1], bastante utilizado pela comunidade científica, produz resultados confiáveis. No entanto, devido às variações climáticas ao longo do dia, é interessante adicionar informações obtidas em outro instante, em particular, no instante do satélite Aqua.

Neste trabalho, apresenta-se um modelo para estimar o saldo médio diário de radiação à superfície em condições de céu claro a partir do saldo instantâneo. O modelo, embora seja simples, permite fazer uma análise detalhada sobre a variação do saldo de radiação ao longo do dia.

Para validar o modelo, foram feitas comparações com o modelo [1] e medições realizadas em superfície em um experimento localizado no ponto de coordenadas (5,07° S; 37,86° W) na zona rural do estado do Ceará durante o ano de 2005.

¹juarezdantas@hotmail.com

2 O modelo

Ao longo do dia as sucessivas posições do sol em relação a uma superfície resultam uma curva semelhante a uma parábola com concavidade para baixo. E de forma semelhante acontece com a intensidade da radiação solar que atinge a superfície. No entanto, o mesmo não acontece com o saldo de radiação.

Sendo, o saldo de radiação, a soma entre o saldo de ondas curtas (sempre positivo) e o de ondas longas (sempre negativo), essa soma torna-se positiva apenas quando o sol está aproximadamente 10° acima do horizonte, ou seja, aproximadamente 1 hora após o nascer e 1 hora antes do por do sol. Essa situação é ilustrada na Figura 1, onde a curva OBS refere-se a dados observados em um experimento, e a curva P4 a um polinômio de grau 4 obtido com o software *Datafit*. A Figura 1 ilustra a variação do S_r entre as 4,5 e as 18,5 horas. Neste exemplo, a hora do nascer do sol foi as 5,5 e a do por às 17,5 horas. Nesses instantes o S_r é negativo, aproximadamente -80 W/m^2 . Os zeros de P4, entre o nascer e por do sol, praticamente coincidem com seus pontos de inflexão. Na região com concavidade para baixo, observa-se que a curva P4 tem o mesmo comportamento da curva OBS, apresentando um coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) de 0,999, sugerindo que uma função polinomial de grau 4 seja adequada para desenvolver o modelo desejado.

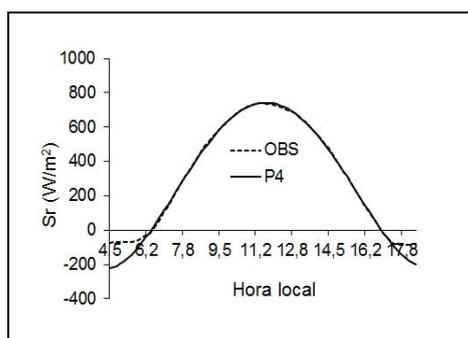


Figura 1: Um exemplo do saldo diário de radiação, S_r : Observado (OBS) e simulado por um polinômio de grau 4 (P4), entre as 4,5 e as 18,5 horas.

O saldo de radiação, além da inclinação do sol, depende de outros parâmetros físicos do sistema Terra-Atmosfera [1, 3]. Este trabalho tem por objetivo determinar a variação da intensidade do S_r em cada instante, entre o nascer e o por do sol, a partir da intensidade observada nos instantes da passagem dos satélites, Aqua e Terra.

Com base no exemplo da Figura 1, o saldo de radiação obtido no instante t [$S_r(t)$] é distribuído, por uma função f (definida por um polinomial de grau 4), para outros instantes ao longo do dia. Essa função, para $f(t) \geq 0$, tem características de uma função peso, que necessariamente precisa ter peso um para S_r obtido no instante da passagem do satélite e zero para os instantes em que $S_r(t) = 0$. Assim o modelo matemático correspondente a essa situação pode ser descrito como segue:

$$S_r(t) = \frac{S_{r_A}(t) + S_{r_T}(t)}{2} \tag{1}$$

$$S_{r_A}(t) = S_{r_A} \cdot f(t) \tag{2}$$

$$Sr_T(t) = Sr_T \cdot f(t) \tag{3}$$

em que Sr_A e Sr_T , são os saldos de radiação obtidos nos instantes da passagem dos satélites Aqua e Terra, respectivamente; f é a função definida por: $f(t) = at^4 + bt^3 + ct^2 + dt + e$. Com base em varias situações semelhantes à ilustrada na Figura 1, a determinação dos coeficientes a, b, c, d, e , satisfaz as condições:

$$f(t) = \begin{cases} -0,3, & \text{se } t = t_n; \\ 0, & \text{se } t = t_n + \Delta t_n, \Delta t_n \approx 60 \text{ minutos}; \\ 1, & \text{se } t = t_{ins}; \\ 0, & \text{se } t = t_p - \Delta t_p, \Delta t_p \approx 55 \text{ minutos}; \\ -0,3, & \text{se } t = t_p; \end{cases} \tag{4}$$

onde t_{ins} é o instante da passagem do satélite, t_n e t_p , são os instantes do nascer e do por do sol, respectivamente, os quais são obtidos em função da inclinação do sol, do dia do ano, e das coordenadas geográficas do local. Consequentemente os coeficientes: a, b, c, d, e , em $f(t) = at^4 + bt^3 + ct^2 + dt + e$, são obtidos em função de t_{ins}, t_n e t_p . Os acréscimos Δt_n e Δt_p correspondem aproximadamente ao tempo em que após o sol nascer, ou antes de se por, Sr é nulo. Assim a radiação total ao longo do dia (Sr_{dia}) e o saldo médio diário (Sr_{med}) no intervalo de tempo ($t_a; t_b$) onde $t_a = t_n + \Delta t_n$ e $t_b = t_p - \Delta t_p$, são estimados por:

$$Sr_{dia} = \int_{t_a}^{t_b} Sr(t) dt ; \tag{5}$$

$$Sr_{med} = \frac{1}{t_b - t_a} \int_{t_a}^{t_b} Sr(t) dt . \tag{6}$$

3 Resultados

Foram utilizadas medições, obtidas com um instrumento denominado saldo radiômetro, modelo CNR1, marca Kipp & Zonen, que mede a radiação solar a superfície com precisão de aproximadamente 5 %. Conforme [4], o CNR1 foi instalado em um experimento, para estudar dados de radiação solar no ponto de coordenadas: (5,07° S; 37,86° W), na zona rural do estado do Ceará, durante o ano de 2005.

Os resultados estimados pelo método proposto neste trabalho (MOD) e pelo modelo [1] (Bisht), usando dados dos satélites Terra e Aqua, disponíveis no site: <<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>>, acessados em 18/03/2015, são comparados aos valores medidos com o CNR1.

Nas Figuras 2a e 2b, foram utilizados valores do Sr , observados com o CNR1, no instante da passagem do satélite Terra. Conforme o comportamento da curva CNR1, durante o dia, nos dois casos, não houve interferência de nuvens. Comparando a curva MOD com a curva CNR1, para o dia 263 verifica-se um desvio médio absoluto de 14 W/m², já na comparação entre a Bisht e a CNR1 o desvio é de 20 W/m² e para o dia 275

esses desvios são 16 e 22 W/m^2 , respectivamente. As curvas referentes aos desvios ilustram essas diferenças. Esses desvios podem ser decorrentes das incertezas na determinação exata do instante t que satisfaz a condição $Sr(t) = 0$. Mesmo assim os resultados são satisfatórios.

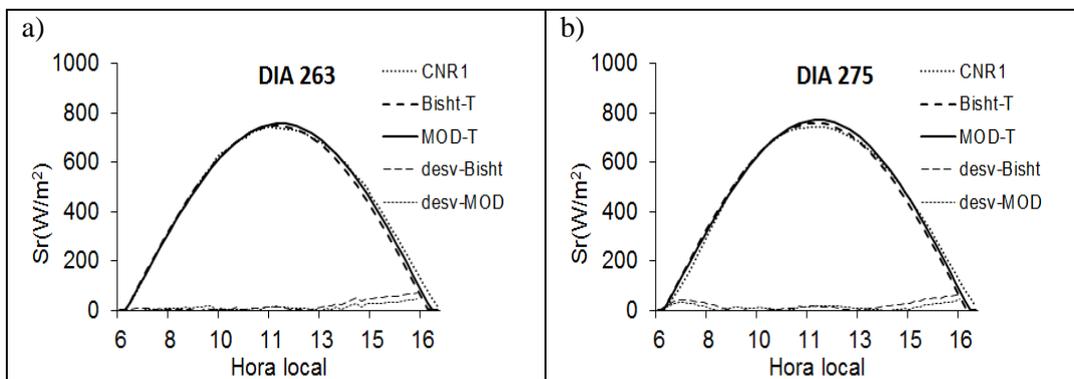


Figura 2. Comparando o desempenho do MOD com o Bisht e com medições obtidas com o CNR1, usando valores observados no instante da passagem do satélite Terra.

Nas Figuras 3a e 3b, usando apenas dados do satélite Terra, compara-se o desempenho do MOD com o Bisht e com medições obtidas com o CNR1. No dia 257, as oscilações entre as 10 e 15 hs indicam a passagem de nuvens pelo local. Nos dois casos (dias: 257 e 293) verifica-se um bom desempenho do MOD. Para o dia 257, os modelos MOD e Bisht apresentam, em relação aos dados do CNR1, um desvio médio absoluto de 28 W/m^2 e 30 W/m^2 , respectivamente. Já no dia 293 os respectivos desvios são de 18 W/m^2 e 21 W/m^2 . As curvas referentes aos desvios mostram que os modelos MOD e Bisht têm o mesmo comportamento.

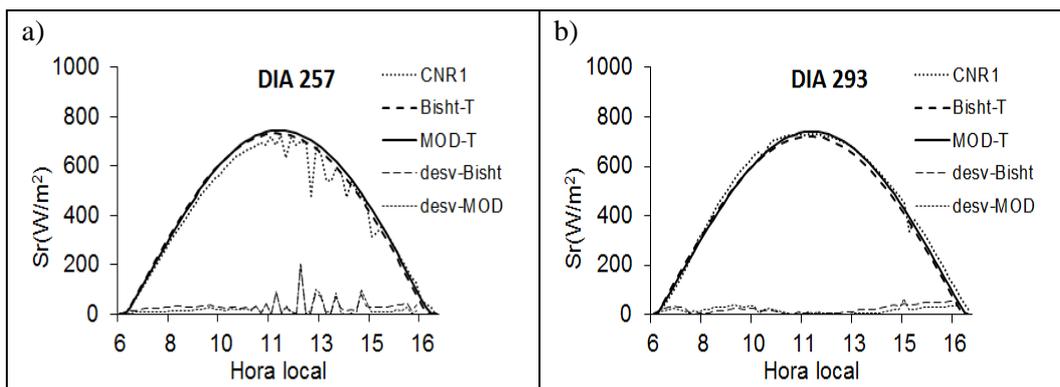


Figura 3. Comparando valores estimados com o MOD e o Bisht, usando dados do satélite Terra, com valores observados pelo CNR1.

Nas Figuras 4a e 4b, usando dados dos satélites Terra e Aqua, compara-se o desempenho do MOD com o Bisht e com medições obtidas com o CNR1. As curvas obtidas com os modelos MOD e Bisht correspondem ao valor médio entre o saldo de radiação estimado com dados dos satélites Aqua e Terra. Nas duas situações, dias 294 e 321, verifica-se a presença de nuvem ao longo do dia. Nos dois casos, principalmente no dia 294, observam-se oscilações fortes na curva CNR1. As curvas dos desvios ratificam a semelhança entre os resultados dos modelos MOD e Bisht. Para os dois modelos o desvio médio absoluto de aproximadamente 83 W/m^2 para o dia 294 e 52 W/m^2 para o dia 321 era de se esperar. No entanto, os resultados relativos ao saldo médio diário, apresentados a seguir, são ótimos.

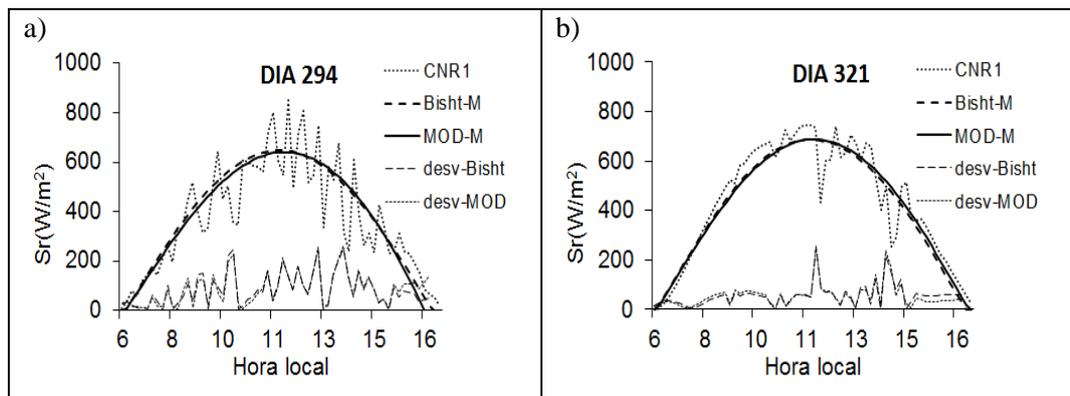


Figura 4. Comparando o desempenho do MOD com o Bisht e com medições obtidas com o CNR1, usando valores estimados na passagem dos satélites Aqua e Terra.

Na Tabela 1, apresenta-se o erro médio relativo absoluto (EMRA) para o saldo médio diário estimado nos dias: 257, 259, 293, 294 e 321. Observa-se que o modelo MOD estima com boa precisão o saldo médio diário. Observamos que nos casos de céu limpo, como exemplo nos dias 259 e 293, o MOD sempre apresenta resultados melhores que o Bisht que é um modelo conceituado pela comunidade científica da área em estudo. Nesse caso, podemos dizer que os resultados para o modelo MOD são muito bons.

Tabela 1: Erro médio relativo absoluto (EMRA) entre o saldo médio diário estimado e observado.

Dia:	CNR1	MOD		Bisht	
		Sr	EMRA (%)	Sr	EMRA (%)
257	431	459	6,6	450	4,5
259	460	453	1,4	444	3,4
293	479	468	2,0	457	4,6
294	379	380	0,4	393	3,7
321	442	331	2,6	327	3,6

4 Conclusão

Os resultados mostram que o modelo MOD é eficiente e produz resultados confiáveis. Os resultados do saldo médio diário, estimados com dados dos dois satélites, são mais precisos que os resultados estimados com dados de apenas um, principalmente nos casos com presença de nuvens. Nesse sentido, os satélites Aqua e Terra disponibilizando informações antes e após o meio dia, são fundamentais.

Nas condições de céu claro, o modelo proposto apresenta erros inferiores a 3 %. As incertezas na determinação dos instantes em que o saldo de radiação é nulo contribuem para esses erros.

Agradecimentos

O autor agradece a Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da UEPB pelos incentivos recebidos.

Referências

- [1] G. Bisht and R. L. Bras. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions Southern Great Plains case study. *Remote Sensing of Environment*, vol. 114(7), 1522-1534 (2010).
- [2] J. P. Lagouarde and Y. Brunet. A simple-model for estimating the daily upward longwave surface radiation flux from NOAA-AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* vol. 14 (5), 907-925 (1993).
- [3] D. Long, Y. Gao and V. P. Singh. Estimation of daily average net radiation from MODIS data and DEM over the Baiyangdian watershed in North China for clear sky days. *Journal of Hydrology*, vol. 388, 217 – 233 (2010).
- [4] J. D. Souza, B. B. Silva, e J. C, Ceballos. Estimativa da radiação solar global a superfície usando um Modelo Estocástico, caso sem nuvens. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 26, 31-44 (2008).