COMPARAÇÕES ENTRE DIFERENTES BASES DE AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS NAS ESTIMATIVAS DE IRRADIAÇÃO SOLAR

Rodrigo Santos COSTA[1, 2], Fernando Ramos MARTINS[1], Enio Bueno PEREIRA[1]
[1]CCST/INPE – São José dos Campos – São Paulo – [2]rodrigo.costa@cptec.inpe.br

RESUMO: O modelo de transferência radiativa BRASIL-SR é o principal recurso utilizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Renováveis e Bioenergia do CCST/INPE na quantificação do recurso energético solar, porém os aerossóis atmosféricos não são adequadamente representados em função do uso de valores médios mensais climatológicos de visibilidade horizontal. Estes valores foram atualizados através de duas metodologias distintas, que levam em consideração as condições de visibilidade horizontal observadas e estimadas. Foram realizadas simulações para o ano de 2006, utilizando a visibilidade horizontal original do modelo, a visibilidade observada em aeroportos e a visibilidade horizontal estimada, avaliando o comportamento do modelo e sua capacidade em representar a sazonalidade dos aerossóis. As simulações que utilizaram os dados de visibilidade horizontal estimada apresentaram melhor desempenho nos meses e nas regiões onde havia uma elevada carga de aerossóis, enquanto que os dados de visibilidade horizontal observada apresentaram melhorias mais significativas em condições naturais. De um modo geral, houve diminuição nos valores de viés e RMSE das estimativas de irradiação global.

ABSTRACT: The radiative transfer model BRASIL-SR is the main resource used by the Research Group on Bioenergy and Renewable Resources of the CCST / INPE in solar energy assessment, but the atmospheric aerosols are not adequately represented due to the use of mean monthly climatological horizontal visibility. These values were updated using two different methodologies, with horizontal visibility observed and horizontal visibility estimates. Were performed three different simulations for 2006, using the original horizontal visibility, observed horizontal visibility and estimated horizontal visibility to evaluating the behavior of the model and its ability to represent the seasonal aerosols. Results with the estimated horizontal visibility performed data were better in the months and in regions where there was a high aerosol loading, while simulations that used the data of horizontal visibility observed at airports reported greater improvements in the values in normal conditions. In general, there were improvements in global irradiations estimates.

1 – INTRODUÇÃO

O uso da radiação solar como uma fonte alternativa de energia vem ganhando cada vez mais espaço. Os cenários relacionados ao aquecimento global exigem um planejamento voltado para

o desenvolvimento e o uso de tecnologias limpas e sustentáveis. Modelos numéricos que são utilizados para a quantificação do recurso energético solar tem sua acurácia aumentada à medida que eles representam os fenômenos físicos de maneira mais eficiente; isso remete a parametrizações satisfatórias dos processos envolvidos, incluindo a atenuação da radiação solar que chega à superfície pelos aerossóis. Diversos estudos mostram que aerossóis, independentemente da sua origem, afetam o clima em decorrência dos processos os quais eles estão envolvidos. O Grupo de Pesquisa em Recursos Renováveis e Bioenergia do CCST/INPE realiza estudos de quantificação de potencial energético solar utilizando o modelo de transferência radiativa BRASIL-SR, que foi aplicado no mapeamento do potencial energético solar da América Latina através do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) e em diversos outros estudos, como o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al*, 2006). O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto da assimilação de diferentes bases de dados de visibilidade horizontal, utilizadas pelo modelo de transferência radiativa BRASIL-SR na estimativa dos aerossóis atmosféricos.

2 – METODOLOGIA

2.1 – Modelo de transferência radiativa BRASIL-SR

O modelo BRASIL-SR é baseado no modelo IGMK (Sthulmann *et al*., 1990) e utiliza a aproximação de "Dois-fluxos" na solução da equação de transferência radiativa. Faz uso de dados climatológicos (temperatura do ar, albedo de superfície, umidade relativa, visibilidade horizontal) para parametrização dos processos radiativos na atmosfera e estima a informação de cobertura de nuvens estatisticamente, a partir de imagens de satélite geoestacionário, assumindo que esta informação é o principal fator de modulação da transmitância atmosférica.

2.1.1 - Parametrização de aerossóis no modelo BRASIL-SR.

A concentração de aerossóis é determinada nas camadas atmosféricas a partir de perfis continentais desenvolvidos por McClatchey *et al.* (1972), sofrendo modificações em seus primeiros 5 km acima da superfície em função de valores de visibilidade horizontal (Leckner, 1978; Selby e McClatchey, 1972). O modelo utiliza originalmente médias mensais climatológicas dos valores de visibilidade ao nível do mar, determinados a partir de observações de campo realizadas globalmente, dispostos em faixas latitudinais com resolução de 5º. Diante disso, transmitância para a radiação solar direta dos aerossóis é obtida por:

$$\tau_{a\lambda} = e^{\left(-k_{a\lambda} m\right)} = e^{\left(-\beta\lambda^{-\alpha} m\right)} \qquad (1)$$

onde β é o coeficiente de turbidez de Angström, α é o expoente de comprimento de onda, λ é o comprimento de onda da radiação solar e m é a espessura óptica dos aerossóis. Estes valores são

corrigidos de forma empírica, a fim de considerar sua variação dependente da elevação do solo, crescendo exponencialmente em função da altitude:

$$\beta = (0{,}55)^{\alpha}(3{,}912/VIS - 0{,}01162)[0{,}02472(VIS - 5) + 1{,}132] \quad (2)$$

onde VIS é a visibilidade horizontal. Importante mencionar que os valores de médios mensais de visibilidade horizontal originalmente utilizados no modelo BRASIL-SR não representam a variabilidade espacial e sazonal dos aerossóis atmosféricos no Brasil.

2.2 – Base de visibilidade horizontal observada em aeroportos e Estimativa da visibilidade horizontal a partir da espessura óptica dos aerossóis

Para a adequação da base de visibilidade horizontal utilizada pelo modelo BRASIL-SR, foram utilizados dados diários e horários oriundos de mensagens METAR, observados nos meses de março, junho, setembro e dezembro de 2006, em 105 aeroportos na América do Sul. Mais detalhes sobre os dados, o processo de qualificação e a interpolação dos mesmos podem ser verificados em Costa (2012).

Já as análises diárias do modelo CATT-BRAMS, para os meses de março, junho, setembro e dezembro de 2006, foram utilizadas para se obter os valores médios mensais de espessura óptica dos aerossóis em 550 nm. A partir destes valores, foram gerados valores médios de visibilidade horizontal mensal, através da formulação proposta por Vermote *et al.* (2002):

$$V = \frac{3{,}9449}{\left(AOT_{550} - 0{,}08498\right)} \quad (3)$$

onde AOT_{550} é a espessura óptica dos aerossóis em 550 nm. Esta relação foi inicialmente desenvolvida para ser utilizada com dados de espessura óptica dos aerossóis do sensor VIIRS (*Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite)*, e apresenta resultados satisfatórios com dados de outros sensores / modelos, inclusive sendo aplicada em outros estudos (Retalis e Michaelides, 2009; Retalis *et al.*, 2010).

2.3 – Comparações com dados medidos em superfície

Foram realizadas simulações para os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2006, utilizando a visibilidade horizontal original do modelo (simulação Referência), a visibilidade horizontal atualizada e a visibilidade horizontal estimada através dos dados de espessura óptica dos aerossóis do modelo CATT-BRAMS. Para efeitos de comparação dos resultados, as estimativas de irradiação global foram confrontadas com dados medidos em superfície, oriundos de estações da rede SONDA e de piranômetros da rede AERONET.

3 – RESULTADOS

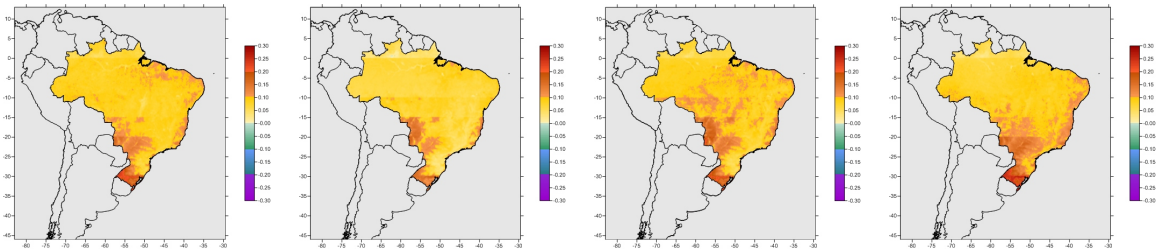
As diferenças verificadas entre as simulações podem ser observadas seguintes, que apresentam as comparações entre as simulações com a base de visibilidade horizontal observada (Figura 1)

e as comparações com a visibilidade horizontal estimada através dos dados do CATT-BRAMS (Figura 2). Como esperado, verifica-se uma maior diferença entre as simulações nos meses onde há uma maior carga de aerossóis na atmosfera, sendo a base de visibilidade horizontal estimada a que apresenta maiores gradientes em relação a visibilidade horizontal climatológica.

A Tabela .1 apresenta os valores de Viés e RMSE das estimativas de irradiação global para o ano de 2006, confrontando os resultados da simulação referência com os melhores resultados obtidos. Das 19 comparações realizadas, em apenas 3 delas as simulações de referência apresentaram melhores resultados. Essas melhorias chegaram a reduzir em até 6 % os valores de viés nas simulações utilizando a visibilidade horizontal estimada, em especial nos meses e localidades onde é observado um aumento mais efetivo da espessura óptica dos aerossóis, como Alta Floresta, Ji-Paraná e Cuiabá.

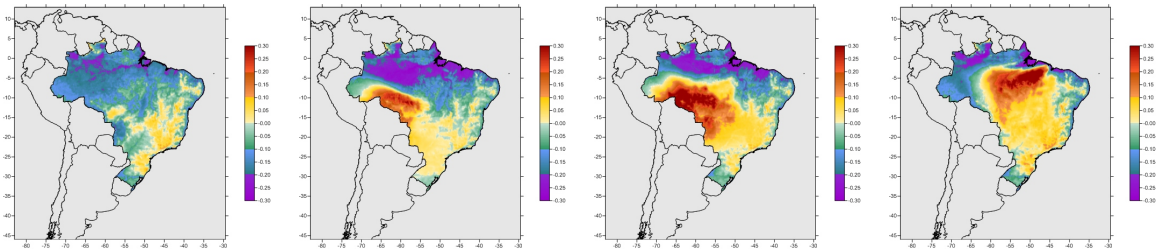
4 – CONCLUSÕES

Verificou-se, de um modo geral, que as simulações realizadas utilizando a base de visibilidade horizontal observada apresentaram melhorias nos resultados obtidos com a base de visibilidade climatológica, tomada como referência. Ainda que em algumas comparações estas melhorias se apresentem de maneira discreta, bases atualizadas de visibilidade horizontal apresentam caracterizações mais condizentes do território brasileiro, em termos de uso do solo e mesmo em função da variabilidade temporal dos aerossóis atmosféricos. Verificou-se também que a visibilidade horizontal estimada apresentou melhores resultados em situações e regiões e períodos onde foram observadas elevadas cargas de aerossóis, sendo deficiente na representação de situações de baixa espessura óptica dos aerossóis.



(a) (b) (c) (d)

Figura 1 - Mapas de diferença de irradiação global (kWh/m^2) entre simulações utilizando visibilidade horizontal climatológica e as simulações utilizando a visibilidade horizontal atualizada, para os meses de março (a), junho (b), setembro (c) e dezembro (d) ano de 2006.



(a) (b) (c) (d)

Figura 2 - Mapas de diferença de irradiação global (kWh/m^2) entre simulações utilizando visibilidade horizontal climatológica e as simulações com a visibilidade horizontal estimada pela AOT (550 nm) do modelo CATT-BRAMS, para os meses de março (a), junho (b), setembro (c) e dezembro (d) ano de 2006.

Tabela 1. Valores de Viés e RMSE (em %) das estimativas de irradiação global das simulações referência e das melhores simulações obtidas para o ano de 2006.

Irradiação Global		Resultados Referência			Melhores Resultados		
		Simulação	Viés	RMSE	Visibilidade	Viés	RMSE
Alta Floresta	Março	Referência	3,284	9,530	Observada	1,755	9,070
	Junho	Referência	-21,857	27,158	Estimada	-21,149	26,834
	Setembro	Referência	22,023	24,606	Estimada	16,511	19,798
	Dezembro	Referência	12,016	14,085	Estimada	8,104	10,998
Cuiabá	Março	Referência	6,350	11,346	Observada	4,457	10,306
	Junho	Referência	-1,397	9,991	Estimada*	-2,571*	10,192*
	Setembro	Referência	19,802	23,049	Estimada	14,891	18,751
	Dezembro	Referência	7,428	11,474	Estimada	5,425	10,281
Ji-Paraná	Março	Referência	17,333	22,637	Observada	15,050	20,923
	Junho	Referência	-18,084	22,285	Observada*	-19,832*	23,699*
	Setembro	Referência	16,200	19,179	Estimada	9,832	13,909
	Dezembro	Referência	16,159	19,135	Observada	13,962	17,317
Ourinhos	Março	Referência	9,166	16,040	Observada	8,209	15,249
	Junho	Referência	-0,179	6,737	Estimada*	-0,611*	6,869*
	Setembro	Referência	4,519	9,854	Observada	3,304	9,351
	Dezembro	Referência	5,852	9,646	Observada	3,806	8,562
São Martinho da Serra	Junho	Referência	5,506	11,939	Observada	2,111	10,701
	Setembro	Referência	1,794	10,732	Observada	-0,114	10,548
	Dezembro	Referência	2,958	9,004	Observada	0,597	8,575

* Estações onde não houveram melhorias nas estimativas - valores mais próximos da simulação referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, R. S., Influência dos Aerossóis Atmosféricos na Quantificação do Recurso Energético Solar – Experimentos em Modelo de Tranferência Radiativa. Tese de Doutorado - INPE, São José dos Campos, 2012.

LECKNER, B. The spectral distribution of solar radiation at the Earth's surface elements of model, Solar Energy 20, pp. 143–150, 1978.

MARTINS, F.R., Influência do processo de determinação da cobertura de nuvens e dos aerossóis de queimada no modelo físico de radiação BRASIL-SR. Tese de Doutorado - INPE, São José dos Campos, 2001.

MCCLATCHEY, R. A., W. FENN, J. E. A. SELBY, F. E. VOLZ, AND J. S. GARIN,: Optical properties of the atmosphere. AFGL-71-0279, Air Force Cambridge Research Laboratories, 85pp, 1972.

RETALIS, A. AND MICHAELIDES, S.: Synergetic use of TERRA/MODIS imagery and meteorological data for studying aerosol dust events in Cyprus, Int. J. Environ. Pollut., 36, 139–150, 2009.

RETALIS, A., HADJIMITSIS, D. G., MICHAELIDES, S., TYMVIOS, F., CHRYSOULAKIS, N., CLAYTON, C. R. I., AND THEMISTOCLEOUS, K.: Comparison of aerosol optical thickness with in situ visibility data over Cyprus, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 421-428, doi:10.5194/nhess-10-421-2010, 2010

SELBY I. E. A., MCCLATCHEY R. E. Atmospheric transmittance from 0.25–28.5 lm, computer code LOWTRAN 3, AFCLR-TR- 75–0255, 1975.

STUHLMANN, R., RIELAND, M., E. RASCHKE. An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. J. Appl. Meteor. 29, 1990.

VERMOTE, E. F., VIBERT, S., KILCOYNE, H., HOYT, D., AND ZHAO, T.: Suspended Matter. Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite algorithm theroretical basis document. SBRS Document # Y2390, Raytheon Systems Company, Information Technology and Scientific Services, Maryland, 2002.