

AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS E A QUANTIFICAÇÃO DO RECURSO ENERGÉTICO SOLAR: EXPERIMENTOS EM MODELO DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA

Rodrigo Santos Costa – rodrigo.costa@cptec.inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

Fernando Ramos Martins – fernando.martins@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre

Enio Bueno Pereira – enio.pereira@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Ciência do Sistema Terrestre

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: visibilidade horizontal observada em aeroportos na América do Sul e estimativas de visibilidade horizontal realizadas através de dados de espessura óptica dos aerossóis em 550 nm, oriundas do modelo CATT-BRAMS. Como esperado, as duas bases de visibilidade horizontal apresentaram menores valores de visibilidade horizontal em setembro e maiores valores em março; a visibilidade horizontal observada originou valores médios mensais que variavam entre 13 km e 6 km, enquanto que as estimativas de visibilidade horizontal através dos dados do modelo CATT-BRAMS resultaram em valores de maior amplitude, variando entre 150 km e 3 km. Foram realizadas três simulações distintas para os meses de março, junho, setembro e dezembro dos anos de 2006, 2007 e 2008, utilizando a visibilidade horizontal original, a visibilidade observada e a visibilidade estimada, avaliando o comportamento do modelo e sua capacidade em representar a sazonalidade dos aerossóis. As simulações que utilizaram os dados de visibilidade horizontal observada em aeroportos apresentaram melhorias mais significativas nos valores das estimativas de irradiação global, com diminuições dos valores de viés que chegaram a ser da ordem de 3%, 4% e 3% para os anos de 2006, 2007 e 2008, respectivamente. Os resultados das simulações com a base de visibilidade horizontal estimada apresentaram melhor desempenho nos meses e nas regiões onde havia uma elevada carga de aerossóis, como por exemplo, a região Centro-Norte do país, no mês de setembro. Para estes casos, foram verificadas diminuições pontuais de viés e RMSE acima de 11%.

Palavras-chave: Aerossóis Atmosféricos, Energia Solar, Visibilidade Horizontal

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 – hoje as concentrações de carbono na atmosfera não são mais tratadas como especulação – exigem um planejamento voltado para o desenvolvimento e o uso de tecnologias limpas e sustentáveis. Entretanto, uma barreira para a exploração do recurso energético solar, tanto como fonte de energia elétrica ou para o aquecimento de água, é a disponibilidade de informações confiáveis que são necessárias para entender a distribuição sazonal e espacial deste recurso e a influência do clima nesta variabilidade (Martins e Pereira, 2011). Por estar em uma faixa de latitude intertropical, o Brasil possui grande potencial de aproveitamento para a energia solar, mesmo considerando-se a variabilidade intrasazonal (Pereira *et al.*, 2006). Entretanto, sua viabilidade precisa antes ser avaliada através de estudos sobre as características da região. O aproveitamento passa a ser efetivamente determinado a partir do conhecimento da disponibilidade, variabilidade espacial e temporal.

A acurácia dos resultados dos modelos numéricos utilizados para a quantificação do recurso energético solar é 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 direta que chega à superfície pelos aerossóis. Mesmo constituindo uma fração muito pequena da massa total da atmosfera, eles influenciam significativamente o clima do planeta, seja interceptando a radiação solar ou atuando como núcleos de condensação de nuvens. Diversos estudos comprovam que estes aerossóis, independentemente da sua origem, afetam o clima em decorrência dos processos os quais eles estão envolvidos (Andrade e Silva Dias, 1999; Miranda *et al.*, 2002; entre outros).

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. Aplicado no mapeamento do potencial energético solar da América Latina através do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource*

Assessment), ele serviu como base para a elaboração do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al.*, 2006) e de uma série de publicações (Silva *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 1999; Martins *et al.*, 2004; Martins *et al.*, 2008; Martins *et al.*, 2008b; entre outras). Sua validação foi realizada através de comparação com estimativas produzidas por outros modelos e medidas de campo e apesar de ter apresentado desempenho semelhante à outros modelos de transferência radiativa (Beyer *et al.*, 2004), o modelo mostrou-se deficiente na parametrização de aerossóis atmosféricos (Martins *et al.*, 2008). Esta parametrização é baseada em dados climatológicos de visibilidade horizontal, que não representam as condições observadas no território brasileiro (Costa, 2012). Soma-se a isso o fato de que os aerossóis atmosféricos apresentarem significativa variabilidade sazonal e interanual, relacionadas com o aumento das emissões antrópicas.

O objetivo deste trabalho é investigar 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. Foram desenvolvidas duas bases, sendo a primeira criada a partir de dados obtidos em aeroportos na América do Sul e a segunda originada de estimativas realizadas através dos dados de espessura óptica dos aerossóis em 550 nm, oriunda do modelo CATT-BRAMS. Estas bases foram avaliadas com o intuito de verificar em quais condições elas representam de maneira mais efetiva a variabilidade da carga de aerossóis atmosféricos do território brasileiro.

2. METODOLOGIA

2.1 Dados de visibilidade horizontal observada em aeroportos

Para a adequação da base de visibilidade horizontal utilizada pelo modelo BRASIL-SR, foram utilizados dados diários e horários oriundos de mensagens METAR, observados entre os anos de 2006 e 2008, em 105 aeroportos na América do Sul (Fig. 1). Dentre estes dados, 28 estações dispunham de valores horários de visibilidade horizontal, temperatura do ar, temperatura de ponto de orvalho e informação de tempo presente; e para as demais 77 apenas valores diários médios, máximos e mínimos de visibilidade horizontal e umidade relativa estavam disponíveis. Em função disso, houve a necessidade de desenvolver procedimentos específicos para o tratamento e manipulação dos valores, em conformidade com os dados disponíveis em cada estação.

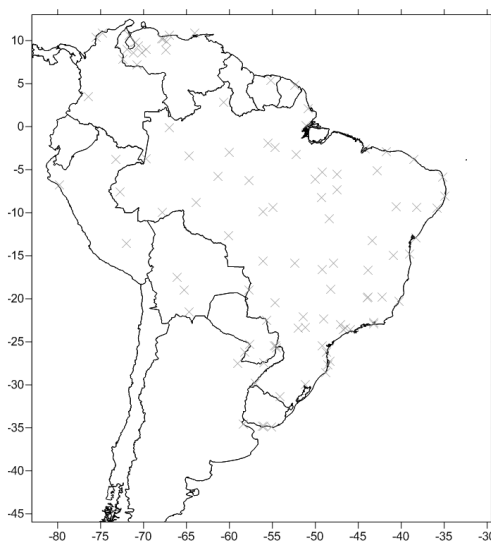


Figura 1: Localização das estações utilizadas na elaboração da base de visibilidade horizontal a ser utilizada no modelo BRASIL-SR.

Para ambos os casos, aplicou-se uma metodologia que desenvolvida baseando-se nos critérios de Husar *et al.* (2000) para identificar valores de visibilidade horizontal que estivessem relacionados com aerossóis atmosféricos. Assim, para os dados dispostos em médias diárias, foi implementada uma rotina computacional que realizou a exclusão dos registros onde a média diária da umidade relativa fosse igual ou superior a 90%; para os dados horários, o mesmo critério foi aplicado, mas por meio da exclusão dos registros onde a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho fosse inferior que 2,2 ° C. Também foram eliminados valores de visibilidade horizontal relacionados com as condições de tempo, sendo a eliminação de valores espúrios de visibilidade horizontal (spikes) realizada através do seu confronto com o campo de informação do tempo presente. Se o valor de visibilidade representasse o que é conhecido como névoa seca (dry fog), o dado era mantido na base; caso negativo, o dado era desconsiderado para a realização deste estudo. Para os dados diários, o registro de umidade relativa máxima era observado; a névoa seca era identificada quando na ocorrência de valores de UR menor ou igual a 75%.

Após a implementação destes critérios de consistência, uma rotina computacional determinou as médias mensais utilizadas para a confecção dos mapas de visibilidade horizontal para o território brasileiro. Foi utilizado o método de

interpolação por Kriging, a fim de obter uma grade regularmente espaçada. A resolução espacial foi de 0,125° X 0,155°, idêntica à resolução espacial das imagens do satélite geostacionário.

2.2 Estimativa da visibilidade horizontal a partir da espessura óptica dos aerossóis

As análises diárias do modelo CATT-BRAMS, para os meses de março, junho, setembro e dezembro dos anos de 2006 a 2008, foram utilizadas para se obter os valores médios mensais de espessura óptica dos aerossóis em 550 nm. A partir destes valores médios mensais, foram gerados valores médios de visibilidade horizontal mensal, através da formulação proposta por Vermote *et al.* (2002):

$$V = \frac{3,9449}{(AOT_{550} - 0,08498)} \quad (1)$$

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*), mas 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 Modelo de transferência radiativa BRASIL-SR

O modelo BRASIL-SR foi desenvolvido pelo grupo de Energias Renováveis e Bioenergia do Centro de Ciência do Sistema Terrestre, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE), em parceria com o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR/UFSC), tendo com base o modelo alemão IGMK (Stuhlmann *et al.*, 1990). Ele utiliza a aproximação de “Dois-fluxos” na solução da equação de transferência radiativa e faz uso de dados climatológicos (temperatura do ar, albedo de superfície, umidade relativa, visibilidade horizontal) para parametrização dos processos radiativos na atmosfera. O modelo também estima a informação de cobertura de nuvens estatisticamente, a partir de imagens de satélite geostacionário, assumindo que esta informação é o principal fator de modulação da transmitância atmosférica. Maiores detalhes podem ser obtidos em Martins (2001) e Costa (2012).

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 climatológicos de visibilidade (Leckner, 1978; Selby e McClatchey, 1972). O modelo utiliza médias mensais dos valores de visibilidade ao nível do mar, determinados a partir de observações de campo realizadas globalmente, dispostos em faixas latitudinais com resolução de 5°.

A transmitância para a radiação solar direta dos aerossóis é baseada na formulação de Angström (1964):

$$\tau_{a\lambda} = e^{(-k_{a\lambda}m)} = e^{(-\beta\lambda^{-\alpha}m)} \quad (2)$$

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. Este produto é modelado em três intervalos de altitude: menor que 2 km, entre 2 km e 10 km e maior que 10 km, para 37 comprimentos de onda. Estes valores são corrigidos de forma empírica, a fim de considerar sua variação dependente da elevação do solo, crescendo exponencialmente em função da altitude:

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

onde VIS é a visibilidade horizontal. Esta fórmula resolve a transmitância na superfície e assume que ela diminui exponencialmente com a altitude. Os valores limítrofes das correções produzem visibilidades que variam entre 2 km e 150 km.

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, em especial durante a estação seca no Centro-Norte do país, onde se verifica uma maior emissão e transporte de material particulado, em razão da ocorrência de eventos de queimadas. Outro aspecto relevante está relacionado às condições meteorológicas observadas nesta estação do ano, que possibilitam o aumento do tempo de permanência dos aerossóis na atmosfera. Estimativas em grandes regiões urbanas, ou em regiões de ocorrência de queimadas possuem condições muito acima das médias climatológicas de visibilidade adotadas originalmente no modelo BRASIL-SR, acarretando em desvios significativos nas estimativas de irradiação solar na superfície. Estes desvios podem atingir valores de até 60% em alguns dias do ano (Martins, 2001).

2.4 Simulações realizadas e comparações com dados medidos em superfície

Foram realizadas simulações para os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro dos anos de 2006, 2007 e 2008, 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. Em função da disponibilidade de instrumentos, bem como da operacionalidade dos mesmos, não foram realizadas comparações em todas as estações para todo o período simulado. A localização das estações no território brasileiro é apresentada na Tab. 1.

Tabela 1 – Coordenadas das estações utilizadas nas avaliações das estimativas.

Estação	Coordenadas	Tipo
1 – Ji-Paraná (RO)	61,85 W 10,93 S	Aeronet
2 – Alta Floresta (MT)	56,10 W 9,87 S	Aeronet
3 – Cuiabá (MT)	56,06 W 15,55 S	SONDA
4 – São Luiz (MA)	44,21 W 2,60 S	SONDA
5 – Natal (RN)	35,21 W 5,85 S	SONDA
6 – Ourinhos (SP)	49,88 W 22,95 S	SONDA
7 – São Martinho da Serra (RS)	53,81 W 29,45 S	SONDA

3. RESULTADOS

3.1 Mapas de visibilidade horizontal observada e visibilidade horizontal estimada

Apenas para apresentar a variabilidade anual da visibilidade horizontal, a Fig. 2 apresenta os valores médios mensais observados para os meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2006.

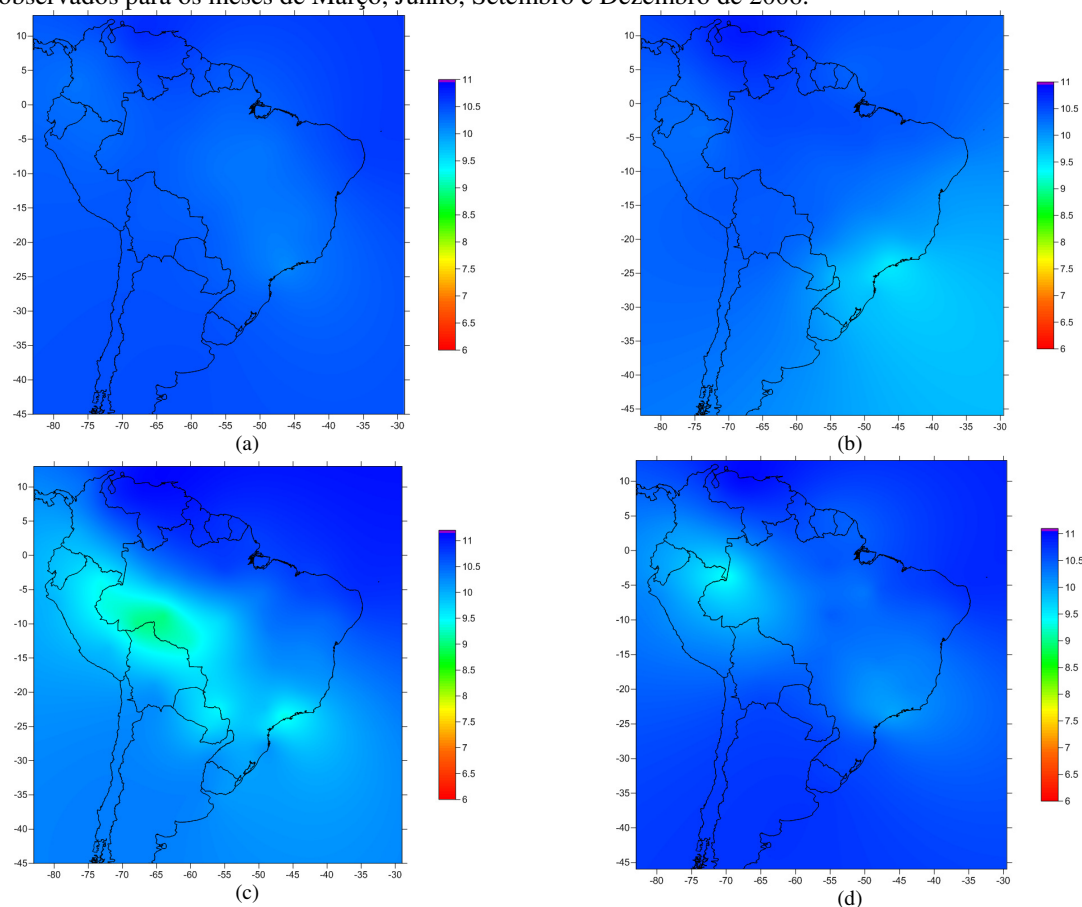


Figura 2: Mapas de visibilidade horizontal observada para Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2006.

Nos três anos estudados, os maiores valores de visibilidade horizontal foram verificados em Março (acima de 13 km), enquanto que os menores foram observados no mês de Setembro (abaixo de 6,5 km), em especial na região centro norte do país. Na Fig 3, que apresenta a visibilidade horizontal estimada para os mesmos meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2006, observa-se um padrão similar no comportamento da visibilidade durante o ano (maiores valores em Março e menores valores em Setembro), que se repete nos três anos estudados. Porém, os valores de visibilidade horizontal apresentam uma maior amplitude, variando entre 150 km e 3 km.

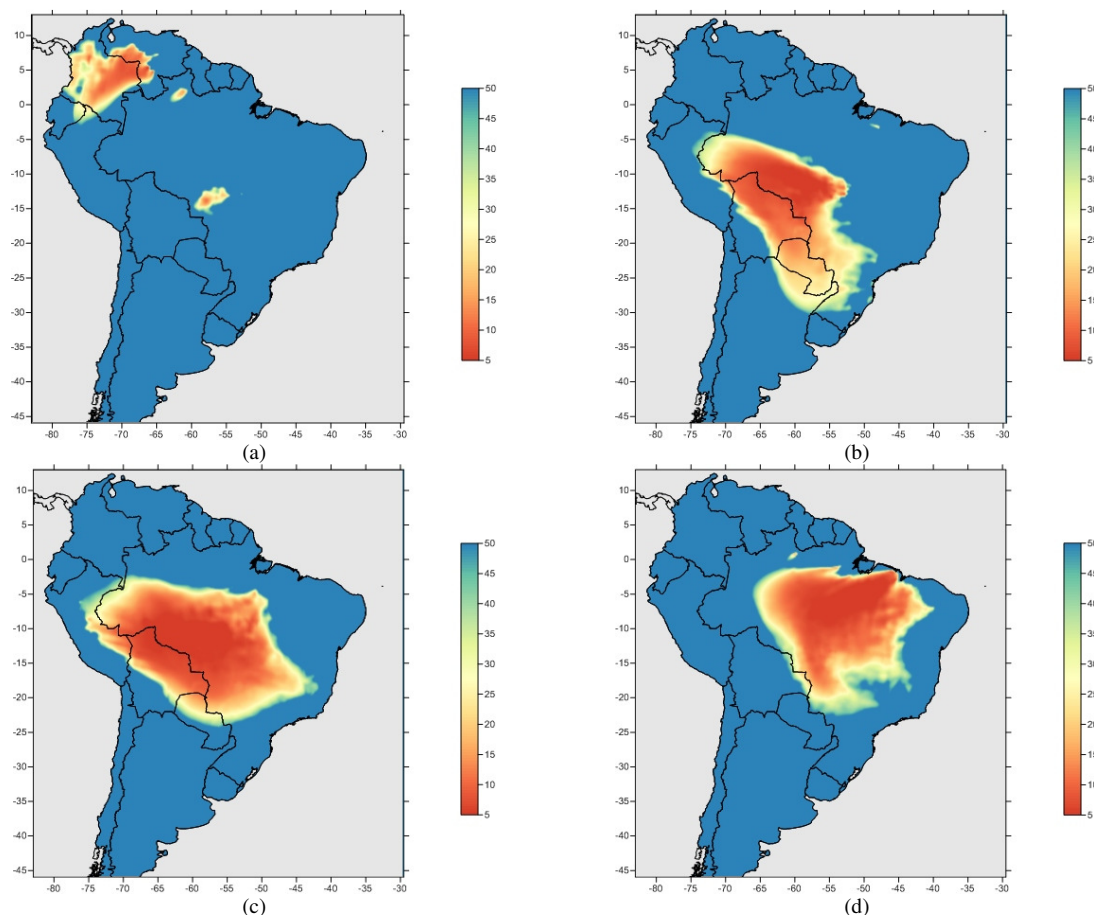


Figura 3: Mapas de visibilidade horizontal estimada para Março, Junho, Setembro e Dezembro de 2006.

3.2 Comparações dos resultados das simulações utilizando diferentes bases de visibilidade horizontal

A Tab. 2 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 e 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.

A Tab. 3 apresenta os valores de Viés e RMSE das estimativas de irradiação global para o ano de 2007, também confrontando os resultados da simulação referência com os melhores resultados obtidos; neste ano, as simulações mostraram que das 19 comparações, em apenas 2 as simulações de referência sobressaíram. Assim como nas avaliações realizadas para do ano de 2006, as maiores diferenças nas simulações foram observadas em regiões / períodos em que havia maior carga de aerossóis na atmosfera, como no centro-norte do país, nos meses de junho e setembro; exemplifica-se com os valores de viés para Alta Floresta no mês de setembro, que foram reduzidos em aproximadamente 11%. Para estas situações, as simulações que utilizaram a visibilidade horizontal estimada apresentaram melhores resultados.

Por fim, a Tab. 4 mostra os valores de Viés e RMSE das estimativas de irradiação global para as simulações de 2008. Desta vez, foram realizadas 17 comparações, sendo as simulações referência as de melhor desempenho em 3 casos. Neste ano, as melhorias não foram tão pronunciadas quanto no ano de 2007, mas ainda assim houveram resultados com desempenho superior a 6%.

Tabela 2. 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

Tabela 3. Valores de Viés e RMSE (em %) das estimativas de irradiação global das simulações referência e das melhores simulações obtidas para o ano de 2007.

Irradiação Global		Resultados Referência			Melhores Resultados		
		Simulação	Viés	RMSE	Visibilidade	Viés	RMSE
Alta Floresta	Março	Referência	3,558	8,821	Observada	1,899	8,288
	Junho	Referência	-13,202	15,656	Estimada*	-13,258*	15,804*
	Setembro	Referência	21,477	27,717	Estimada	10,504	19,562
	Dezembro	Referência	26,512	33,330	Observada	24,397	31,653
Cuiabá	Junho	Referência	4,676	6,910	Observada	1,773	5,053
	Setembro	Referência	35,500	37,181	Estimada	26,048	27,647
	Dezembro	Referência	11,281	14,224	Observada	9,260	12,661
Ji-Paraná	Março	Referência	3,246	8,933	Observada	1,548	8,433
	Junho	Referência	-15,897	18,016	Observada*	-17,611	19,505
Natal	Setembro	Referência	26,169	37,792	Estimada	2,054	26,476
	Dezembro	Referência	-15,552	20,544	Estimada	-12,384	18,830
Ourinhos	Março	Referência	-0,238	11,149	Estimada	0,133	11,455
	Junho	Referência	11,890	14,967	Observada	9,979	13,427
	Setembro	Referência	3,675	9,218	Estimada	1,886	8,596
	Dezembro	Referência	13,283	17,177	Observada	11,371	15,712
São Martinho da Serra	Março	Referência	1,269	7,621	Observada	-1,159	7,432
	Junho	Referência	5,979	12,036	Observada	2,801	11,380
	Setembro	Referência	14,911	20,242	Observada	12,157	18,455
	Dezembro	Referência	-1,866	5,649	Estimada	-1,367	5,473

Tabela 4. Valores de Viés e RMSE (em %) das estimativas de irradiação global das simulações referência e das melhores simulações obtidas para o ano de 2008.

Irradiação Global		Resultados Referência			Melhores Resultados		
		Simulação	Viés	RMSE	Visibilidade	Viés	RMSE
Alta Floresta	Março	Referência	11,196	17,243	Observada	9,139	15,944
	Junho	Referência	-26,928	28,929	Estimada	-25,071	26,491
	Setembro	Referência	7,871	11,178	Estimada	6,305	10,132
	Dezembro	Referência	14,495	22,034	Observada*	14,526*	22,051*
Cuiabá	Março	Referência	11,988	13,416	Observada	9,903	11,576
	Junho	Referência	6,186	8,742	Observada	2,873	6,538
	Setembro	Referência	13,452	15,336	Estimada	10,641	12,791
	Dezembro	Referência	8,852	11,549	Observada	8,625	11,404
Ourinhos	Março	Referência	6,911	10,136	Observada	5,263	9,077
São Luiz	Março	Referência	30,351	31,800	Observada	27,972	29,518
	Junho	Referência	3,669	10,151	Observada	1,794	9,660
	Setembro	Referência	-7,801	12,048	Estimada	-1,914	9,922
	Dezembro	Referência	7,694	10,983	Observada	7,264	10,663
São Martinho da Serra	Março	Referência	1,571	6,970	Observada	-0,795	6,859
	Junho	Referência	0,241	13,279	Estimada*	-0,493*	14,591*
	Setembro	Referência	-0,213	9,153	Observada*	-1,321*	9,546*
	Dezembro	Referência	-8,597	22,739	Observada	-3,059	21,920

4. CONCLUSÕES

Observando os resultados apresentados no item anterior, verifica-se, de um modo geral, 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 muitas destas melhorias se apresentem de maneira discreta, uma nova climatologia de visibilidade horizontal apresenta valores mais condizentes com as atuais características do território brasileiro, em termos de uso do solo e mesmo em função da variabilidade temporal dos aerossóis atmosféricos. Verificou-se que a visibilidade horizontal estimada apresentou melhores resultados em situações e regiões e períodos onde foram observadas elevada carga de aerossóis, sendo deficiente na representação de situações de baixa espessura óptica dos aerossóis. Isso pode ser efeito da formulação proposta por Vermote *et al.* (2002), que em condições de espessura óptica abaixo de 0,16 apresenta visibilidade horizontal acima de 50 km, valores que são limítrofes na visibilidade climatológica, por exemplo.

O modelo apresentou melhorias significativas com a atualização da base de visibilidade horizontal. As simulações realizadas para o mês de março, que é o mês onde são verificadas as melhores condições de visibilidade horizontal durante o ano, apresentaram melhorias em praticamente todas as comparações de irradiação global, e em grande parte das simulações realizadas no mês de dezembro. Porém, quando falamos da queima da biomassa, temos que levar em consideração que as plumas podem atingir altos níveis da atmosfera, além de do fato de haver o transporte atmosférico. Isso diminuiria a relação entre a quantidade de aerossóis e a visibilidade horizontal na superfície, uma vez que estando em elevadas altitudes, ela não seria considerada pelas observações dos aeroportos. Por uma melhor localização dos focos de queima e também por representar de maneira mais efetiva os aerossóis na coluna atmosférica, a visibilidade horizontal estimada apresentou melhores resultados nos meses e regiões onde ocorrem a queima e o transporte da biomassa.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Jefferson Souza e Rafael Chagas pela colaboração. Agradece também a Capes e ao CNPq pelo fomento.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. F., SILVA DIAS, M. A. F. Precipitation trends and the effects of aerosol: urban climate change in São Paulo. In: International Conference on Environmental Physics. Brasília, Brasil, 1999.
- BEYER, H. G. *et al.*, Assessing satellite derived irradiance information for South America within the UNEP resource assessment project SWERA. Proceedings of the 5th ISES Europe Solar Conference, Freiburg, Alemanha. 2004.

- COSTA, R. S., Influência dos Aerossóis Atmosféricos na Quantificação do Recurso Energético Solar – Experimentos em Modelo de Transferência Radiativa. Tese de Doutorado - INPE, São José dos Campos, 2012.
- HUSAR, R. B., HUSAR, J. D., MARTIN, L., Distribution of continental surface aerosol extinction based on visual range data. *Atmospheric Environment* 34, 5067-5078, 2000.
- 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.
- MARTINS, F. R. E PEREIRA, E. B.: Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. *Energy Policy*, v. 39, p. 4378-4390, 2011.
- MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B., SILVA, S. A. B., ABREU, S. L., COLLE S.: Solar energy scenario in Brazil, Part one: Resource assessment. *Energy Policy*, v. 36, p. 2843-2854, 2008.
- MARTINS, F. R., RÜTHER, R., PEREIRA, E. B., ABREU, S. L.: Solar energy scenario in Brazil, Part two: Photovoltaics applications. *Energy Policy*, v. 36, p. 2855-2867, 2008.
- MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B., ECHER, M. P. S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário - o Projeto Swera. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 2, p. 145 - 159, 2004.
- 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.
- MIRANDA, R.M., ANDRADE, M.F., WOROBIE A., GRIEKEN, R. V. Characterization of Aerosol Particles in São Paulo Metropolitan Area. *Atmospheric Environment* 36 345-352, 2002.
- PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L., RÜTHER, R. Atlas Brasileiro de Energia Solar. INPE, São José dos Campos, 2006.
- 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 km, computer code LOWTRAN 3, AFCLR-TR- 75–0255, 1975.
- SILVA, S. A. B., SIMÕES, P. M., MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B. Aplicação da Geoestatística no Desenvolvimento de uma Base de Dados Climatológicos para Uso no Modelo de Transferência Radiativa BRASIL-SR. *Anais XI SBSR*, Belo Horizonte. P. 1211-1218, 2003.
- 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 theoretical basis document. SBRS Document # Y2390, Raytheon Systems Company, Information Technology and Scientific Services, Maryland, 2002.

ATMOSPHERIC AEROSOL INFLUENCE ON SOLAR RESOURCE ASSESSMENT: EXPERIMENTS IN RADIATIVE TRANSFER MODEL

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: horizontal visibility observed at airports in South America and horizontal visibility estimates performed using data from the aerosol optical thickness at 550 nm, from CATT-BRAMS model. As expected, the two sets of horizontal visibility presented lower horizontal visibility in September and highest values in March, led to the horizontal visibility observed monthly mean values ranging between 13 km and 6 km, while the estimates of horizontal visibility through data CATT-BRAMS model resulted in values of greater amplitude, between 150 and 3 km. Were performed three different simulations for the months of March, June, September and December of years 2006, 2007 and 2008, 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. The simulations that used the data of horizontal visibility observed at airports reported greater improvements in the values of global irradiation estimates, with decreases in the values of bias that came to be the order of 3%, 4% and 3% for the years 2006, 2007 and 2008, respectively. The simulation results with the estimated horizontal visibility performed data were better in the months and in regions where there was a high aerosol loading, for example, the central-north, in the month of September. For these cases, there were decreases of bias and RMSE over 11%.*

Key words: Atmospheric Aerosols, Solar Energy, Horizontal Visibility.