

INFLUÊNCIA DAS PLUMAS DE AEROSSÓIS NA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL

Paulo E. MARCHEZI¹, Fernando R. MARTINS²,

Eduardo W. LUIZ^{1,2}, Enio B. PEREIRA², Nelson J. SCHUCH¹.

¹ Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI, em parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, RS;

(paulo.marchezi, njshuch, ewluiz)@lacesm.ufsm.br

² Centro de Ciência do Sistema Terrestre/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –

CCST/INPE – MCTI, São José dos Campos, SP.

(fernando.martins, enio.pereira)@inpe.br)

RESUMO: O trabalho visa analisar o impacto das plumas de aerossóis lançados à atmosfera sobre a irradiação solar que incide na superfície da região central do estado do Rio Grande do Sul. O estudo limita-se à análise de dias de céu claro a fim de eliminar as incertezas associadas com a influência da nebulosidade sobre a irradiação solar na superfície. Os dados de radiação solar foram obtidos a partir de sensores instalados na Estação de Referência SONDA – SMS, localizada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCTI, em São Martinho da Serra, RS, Brasil. Os dados de espessura ótica dos aerossóis foram cedidos pela rede AERONET. Observou-se que, com o aumento da espessura ótica dos aerossóis, ocorre uma diminuição da radiação incidente na superfície terrestre.

ABSTRACT: This work analyzes the aerosols plumes influence on the surface solar irradiation in central region of Rio Grande do Sul / Brazil. The study analyses only data acquired at clear sky days in order to reduce the uncertainties associated to the attenuation of solar irradiation at by clouds. The solar irradiation data at surface was measured by sensors installed at the SONDA measurement site located at the Southern Space Observatory – OES/CRS/CCR/INPE – MCTI, in São Martinho da Serra, South of Brazil. The AERONET network provided the aerosol optical thickness data. It was observed that with the increase in optical thickness of aerosols, there is a decrease of the radiation incident on the surface.

1 – INTRODUÇÃO

Os recursos energéticos solares e eólicos se apresentam como alternativas limpas, não danosas ao meio-ambiente e de caráter renovável. No entanto, a atração de investimentos e a realização de ações efetivas ao desenvolvimento tecnológico e científico de novas fontes energéticas requerem a realização de estimativas da disponibilidade e distribuição dos seus recursos ao longo do território nacional, além do estabelecimento de um banco de dados acessível e confiável (PEREIRA et. al., 2006).

Atualmente no Brasil, a rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais),

coordenado pelo Centro de Ciências do Sistema Terrestre (CCST/INPE - MCTI), em conjunto com o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE - MCTI), tem o objetivo de gerar uma base de dados solarimétricos e meteorológicos que atenda a essa demanda de informações. A rede SONDA conta com 15 estações de medidas de superfície espalhadas pelo Território Brasileiro.

O presente trabalho, desenvolvido no Laboratório de Recursos de Energia Renováveis do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (LRER/CRS/INPE), em Santa Maria – RS, tem por objetivo o estudo da relação existente entre a ocorrência de focos de queimadas e a redução da incidência de irradiação solar na superfície terrestre em dias de céu claro, através da análise de medidas de espessura ótica de aerossóis (AOT) e irradiação solar global. Este estudo contribui para um melhor entendimento da influência dos aerossóis sobre a radiação solar, favorecendo o aperfeiçoamento dos modelos de transferência radiativa, o que resulta em uma maior precisão na avaliação da disponibilidade dos recursos de energia solar no território brasileiro.

2 - DADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

Os dados de radiação solar utilizados neste trabalho foram coletados na Estação de Referência SONDA – SMS, localizada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCTI, em São Martinho da Serra, RS, Brasil (Lat.: 29° 26' 24", 06 S Long.: 53° 48' 38", 98 W).

As estações SONDA são dotadas de Piranômetros CM 21 (Kipp & Zonen), que realizam medidas de irradiância solar global na faixa espectral de 0,3 a 2,8 μm e Piranômetros CM 22 (Kipp & Zonen) para a realização de medidas de irradiância solar difusa na faixa de 0,2 a 3,6 μm . Estes sensores medem valores de irradiação a cada segundo, sendo armazenado o valor médio de cada minuto, totalizando, dessa maneira, 1440 medidas diárias.

A seleção dos dias de céu claro, necessária para a minimização das incertezas provenientes da influência da nebulosidade sobre a radiação solar, é realizada através da análise e qualificação dos dados de radiação solar global e difusa coletados na estação SONDA SMS.

Um dia de céu claro é caracterizado por um ciclo diário suave e simétrico de irradiação solar com pico de incidência de radiação próximo ao meio-dia do horário solar local, conforme ilustra a Figura 1(a). Os dias cujas curvas diárias de irradiância solar global e/ou difusa apresentam variações abruptas, como ilustrado na Figura 1(b), são excluídos da análise. O ciclo diário de incidência de radiação solar em um dia completamente nublado também pode apresentar um comportamento simétrico, entretanto, o pico de máxima irradiação solar indica valores inferiores aos observados em dias de céu claro.

Os dias de céu claro selecionados tiveram seus respectivos índices de transparência atmosférica (K_t) calculados de acordo com Iqbal (1983), através da equação 1.

$$K_t = \frac{H}{H_0} \quad (1)$$

onde H é a integral diária de radiação solar global, H_d é a integral diária de radiação solar difusa, e H_0 representa a integral diária de radiação incidente no topo da atmosfera (TOA, da sigla em inglês).

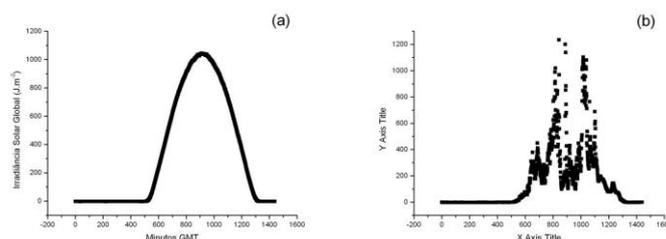


Figura 1: Ciclo diário de irradiação solar observado em (a) 01/11/09 (dia de céu claro) na estação de referência SONDA em São Martinho da Serra; e (b) 05/11/09 na estação SONDA do Observatório Espacial do Sul em São Martinho da Serra – RS, Brasil.

Os dados de espessura óptica de aerossóis (AOT) foram obtidos na mesma estação com uso do fotometro solar CIMEL. Os dados de AOT coletados na rede SONDA estão disponibilizados na base de dados da AERONET através do endereço eletrônico da NASA Goddard Space Flight Center, <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>. Para este trabalho foram utilizados os valores médios diários da espessura ótica de aerossóis (AOT) nos comprimentos de onda de 675, 500 e 440 nm. Como um primeiro passo no desenvolvimento deste trabalho, foi investigada a evolução temporal das médias diárias de AOT no período de julho de 2009 a dezembro de 2011. Essas possibilitam a visualização da variação dos valores de AOT em um determinado período, além de permitirem uma melhor identificação dos picos de AOT. Foi investigada também a relação da AOT com os focos de queimada observados no período. Os dados de queimadas foram obtidos na base de dados do CPTEC/INPE disponibilizada em <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>. Esta base de dados contempla dos focos de queimadas ocorridos na América do Sul. Foram obtidas também as retro trajetórias das massas de ar, utilizando o modelo HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory), desenvolvido pela NOAA em conjunto com a Australia's Bureau of Meteorology, (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>).

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi investigada também a relação entre os valores diários de K_t e médias diárias de espessura ótica de aerossóis nos três comprimentos de onda mencionados acima referentes aos dias de céu claro selecionados. Foram desenvolvidos modelos matemáticos por meio de análises de regressão relacionando o índice de nebulosidade à espessura ótica de aerossóis em diferentes comprimentos de onda para a estação SONDA – SMS.

3 - RESULTADOS

Foram obtidos 110 dias de céu claro, no período analisado (Julho de 2009 a Dezembro de 2011)

para a estação SONDA SMS, como pode ser melhor observado na Tabela 1. Os dias selecionados tiveram seus respectivos índices de transparência atmosférica (K_t) plotados em função da média diária da espessura ótica de aerossóis, conforme ilustra a Figura 2. Os modelos que relacionam o fator K_t e a espessura ótica de aerossóis são apresentados na Tabela 2, juntamente com os respectivos coeficientes de correlação obtidos e o desvio estatístico RMSE.

Tabela 1: Informações relativas à seleção de dias de céu claro na estação SONDA – SMS localizada no Observatório Espacial do Sul em São Martinho da Serra – RS, Brasil.

| Mês/Ano | Dias de céu claro | Mês/Ano | Dias de céu claro | Mês/Ano | Dias de céu claro |
|--------------|-------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|
| jul/09 | 3 | mai/10 | 1 | mar/11 | 5 |
| ago/09 | 7 | jun/10 | 0 | abr/11 | 4 |
| set/09 | 2 | jul/10 | 5 | mai/11 | 4 |
| out/09 | 1 | ago/10 | 4 | jun/11 | 1 |
| nov/09 | 1 | set/10 | 5 | jul/11 | 0 |
| dez/09 | 2 | out/10 | 6 | ago/11 | 4 |
| jan/10 | 0 | nov/10 | 6 | set/11 | 6 |
| fev/10 | 0 | dez/10 | 10 | out/11 | 12 |
| mar/10 | 0 | jan/11 | 0 | nov/11 | 14 |
| abr/10 | 2 | fev/11 | 2 | dez/11 | 3 |
| Total | | | 110 Dias | | |

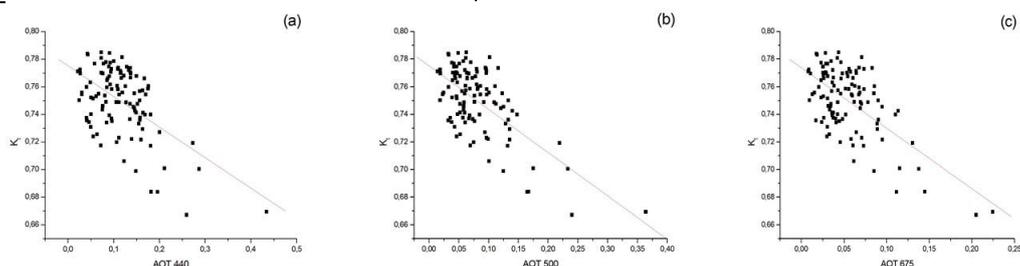


Figura 2: Gráficos de dispersão do índice de transparência K_t em função da espessura ótica dos aerossóis nos comprimentos de onda (a) 440 nm, (b) 500 nm e (c) 675 nm.



Figura 3: (a) Série temporal das médias diárias de AOT registradas na estação de SMS para o comprimento de onda de 500 nm, (b) focos de queimadas registrados durante o período de 10 a 17 de agosto de 2010 na base de dados do CPTEC/INPE, e (c) trajetórias retroativas das massas de ar para o mesmo período.

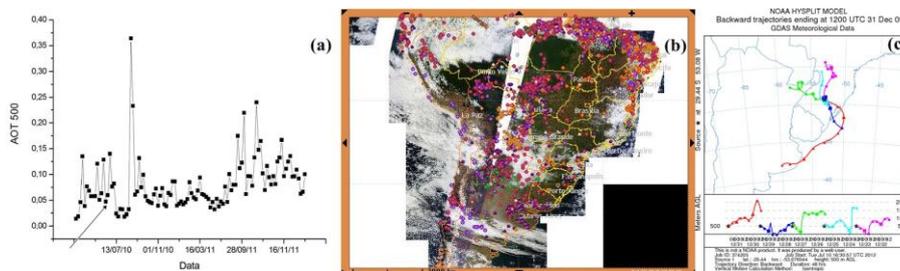


Figura 4: (a) Série temporal das médias diárias de AOT registradas na estação SMS para o comprimento de onda de 500 nm, (b) focos de queimadas registrados durante o período de 25 a 31 de dezembro de 2009 na base de dados do CPTEC/INPE, e (c) trajetórias retroativas das massas de ar para o mesmo período.

Tabela 2: Modelos de regressão linear e índices estatísticos obtidos neste estudo.

| Comp. De onda (nm) | Equação | Correlação linear | RMSE (%) |
|--------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------|
| 440 | $K_t = 0.7751 - 0.22149 \text{ AOT}$ | -0.54761 | 5,168324813 |
| 500 | $K_t = 0.77513 - 0.31405 \text{ AOT}$ | -0.65323 | 4,98582677 |
| 675 | $K_t = 0.77379 - 0.43846 \text{ AOT}$ | -0.64249 | 4,743326571 |

Analisando a Figuras 3, observa-se que no dia em que houve o maior pico na AOT foi detectado um grande número de queimadas no Brasil, nordeste da Argentina e Paraguai, e que as massas de ar se deslocaram por regiões com queimadas, em direção a São Martinho da Serra – RS. Por outro lado, a Figura 4 ilustra um período com baixo nível de AOT, e que ocorreram poucos focos de queimadas durante o mesmo período, além de menos correntes de ar passar por focos de queimadas em direção à estação SONDA SMS.

4 – CONCLUSÕES

A análise dos dados de radiação solar medidos nas estações SONDA e dados de aerossóis disponibilizados pela rede AERONET permitiram concluir que um aumento na espessura ótica dos aerossóis atmosféricos (AOT) resulta em uma diminuição do índice de nebulosidade (K_t). Através do estudo de caso apresentado, verificou-se que provavelmente o pico no valor de AOT, determinado no dia 17/08/2010 está relacionado à ocorrência de queimadas.

Na continuidade deste trabalho, será ampliada a base de dados, visando uma maior confiabilidade dos modelos desenvolvidos, e o desenvolvimento de novos modelos, inclusive modelos mistos que relacionem o fator K_t à espessura ótica de aerossóis.

5 – REFERÊNCIAS

IQBAL, M. An Introduction to Solar Radiation. Academic Press Canadá, Toronto, 390p, 1983.
 PEREIRA, E.B.; MARTINS F.R.; ABREU S.L.; RÜTHER, R.. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2006.