

# VALIDAÇÃO DO MODELO DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA BRASIL-SR PARA AS ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO FOTOSSINTÉTICAMENTE ATIVA

*SHEILA A. B. E SILVA<sup>1</sup>, CHAGAS, R.C.<sup>1</sup>, FERNANDO R. MARTINS<sup>1</sup>, ENIO B. PEREIRA<sup>1</sup>*

**RESUMO:** Esse trabalho tem como objetivo principal apresentar o mapeamento das estimativas da irradiação fotossinteticamente ativa para o Brasil, fornecidas pelo modelo de transferência radiativa BRASIL-SR. Com a finalidade de verificar o comportamento do modelo para áreas com diferentes características climáticas, uma etapa de validação foi realizada com cinco estações: Brasília (DF), Petrolina (PE), Ouro Preto D'Oeste (RO), Campo Grande (MT) e São Martinho da Serra (RS). Após um processo rigoroso de qualificação e padronização dos dados experimentais e a análise estatística realizada nos cálculos de BIAS e RMSE, pode-se afirmar que as estimativas obtidas com o modelo são satisfatórias, uma vez que o valor de BIAS varia entre 1 e 8% e o valor máximo do erro quadrático é 14%. Os maiores níveis de irradiação PAR ocorrem durante a Primavera sobre as regiões Nordeste e Centro-Oeste e durante o Verão nas regiões Norte e Sul.

**ABSTRACT:** This work aims at presenting the assessment of the Photosynthetically Active Radiation (PAR radiation) for Brazilian territory. This paper also describes the validation step of the PAR radiation estimates provided by radiative transfer model BRASIL-SR. Five ground sites in different climatic regions provided measured data to compare with the PAR estimates: Brasília (DF), Petrolina (PE), Ouro Preto D'Oeste (RO), Campo Grande (MT) and São Martinho da Serra (RS). All ground data were submitted to a rigorous quality assurance program using WMO criteria established for BSRN network. The PAR estimates presented large reliability with low mean bias error (around 5%) and RMSE lower than 14%. The Brazilian Northeast and Central regions receives the larger seasonal average of PAR irradiation in the Spring time, while North and South has larger PAR flux during the Summer

**Palavras-Chave:** energia renovável, modelo BRASIL-SR, radiação PAR

## INTRODUÇÃO

A cada dia que passa o meio ambiente vem sofrendo mudanças drásticas que na sua grande maioria são causadas por atividades antropogênicas. Com o intuito de preservar o meio ambiente e mitigar as conseqüências dos impactos das atividades do homem, a pesquisa, o desenvolvimento e a utilização de fontes de energias renováveis vêm aumentando com o passar dos anos. No entanto, um dos principais obstáculos encontrados por empresas públicas e privadas, que pretendem desenvolver projeto para a adoção dessas fontes alternativas de energia, é a escassez de dados e informações confiáveis e detalhados sobre recursos disponíveis das fontes alternativas de energia.

O Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos Estudos (CPTEC/INPE) vem desenvolvendo diversos projetos com o intuito de atender parte dessa demanda de informações. O projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resources Assessment), desenvolvido em parceria com diversas instituições de pesquisa nacionais e internacionais e com patrocínio do PNUMA e GEF, e o

---

<sup>1</sup> Divisão de Clima e Meio Ambiente – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Cx.Postal 515 - 12227-010, São José dos Campos (SP). {sheila,rafael,fernando,enio@dge.inpe.br}

projeto SONDA, financiado pela FINEP, fazem parte do esforço desenvolvido pelo CPTEC nesse sentido.

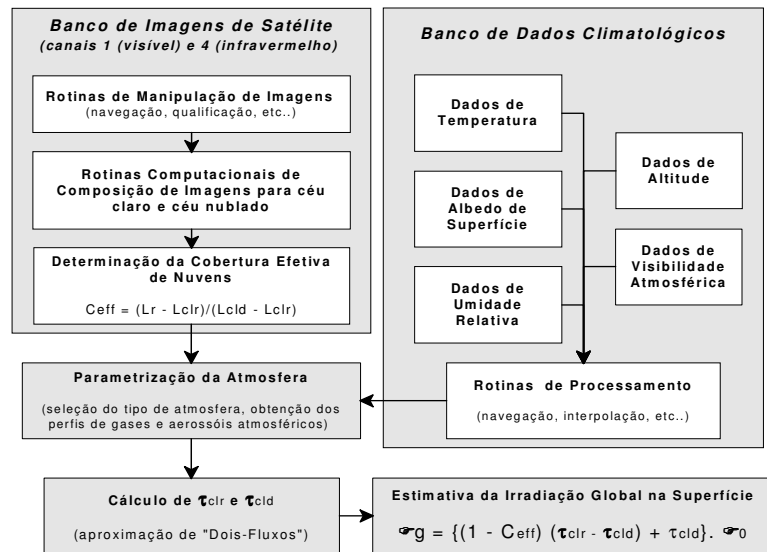
Esse trabalho está contido dentro do escopo desses dois projetos e tem como objetivo apresentar os resultados do mapeamento da irradiação solar fotossinteticamente ativa (radiação PAR) para todo o território brasileiro, bem como os procedimentos de validação das estimativas fornecidas pelo modelo BRASIL-SR utilizadas nesse mapeamento. A radiação PAR (Photosynthetically Active Radiation) apresenta grande importância em estudos sobre taxa de crescimento vegetal por ser a radiação que excita as moléculas de clorofila das plantas, iniciando o fluxo de energia durante o processo de fotossíntese. O conhecimento da radiação PAR tem importantes aplicações na área de agronegócios e é importante na determinação da produtividade primária.

## **METODOLOGIA**

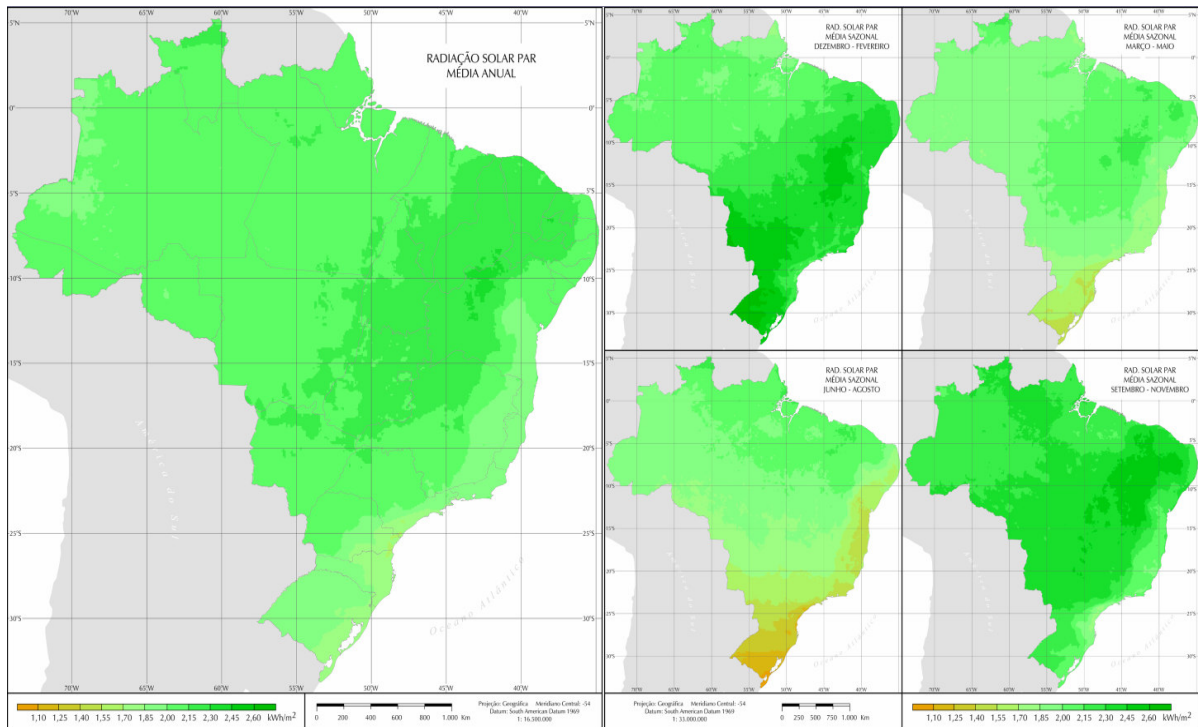
### **Mapeamento da irradiação PAR**

O modelo de transferência radiativa BRASIL-SR, desenvolvido no Brasil âmbito do pelo convênio entre o INPE e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), é utilizado para a obtenção de estimativas de irradiação solar na superfície. Trata-se de um modelo físico, que para a estimar da irradiação solar, soluciona a equação de transferência radiativa na atmosfera para diversos intervalos espectrais da radiação solar utilizando a aproximação de “Dois-Fluxos”. A parametrização da atmosfera é realizada com o uso de dados de cobertura efetiva de nuvens obtidos a partir da análise de imagens do satélite GOES em conjunto com dados climatológicos de temperatura, albedo de superfície, visibilidade atmosférica e umidade relativa. A Figura 1 apresenta o diagrama em blocos simplificado do modelo BRASIL-SR. O modelo assume que a cobertura de nuvens,  $C_{eff}$ , é o principal fator de modulação do fluxo de radiação solar na superfície. Os dados climatológicos são utilizados para a modelagem dos processos radiativos de segunda grandeza que ocorrem na atmosfera no intervalo espectral da radiação PAR (0,4 a 0,7 $\mu$ m). O modelo BRASIL-SR assume que a transmitância atmosférica em qualquer condição de nebulosidade pode ser determinada pela relação linear entre a transmitância em condições de céu claro e em condições de céu totalmente encoberto [1].

A Figura 2 apresenta os mapas de médias anual e sazonais dos totais diários de irradiação PAR no território brasileiro. Os maiores níveis de irradiação PAR ocorrem durante a Primavera sobre as regiões Nordeste e Centro-Oeste e durante o Verão nas regiões Norte e Sul. A média anual da irradiação PAR apresenta valores máximos na região que vai desde o estado do Ceará e Piauí até o norte do estado de Minas incluindo os estados de Goiás e Tocantins.



**Figura 1.** Diagrama em blocos do Modelo BRASIL-SR apresentando o gerenciamento e manipulação do banco de dados climatológicos e de imagens do satélite GOES-8 utilizados para alimentação do modelo.



**Figura 2.** Médias anual e sazonais da radiação PAR no território brasileiro

## Determinação da confiabilidade das estimativas

A fim de avaliar as estimativas fornecidas pelo modelo BRASIL-SR para regiões com características climáticas e ambientais distintas, a atividade de validação foi realizada para as estações situadas em Brasília (DF), Campo Grande (MT), Petrolina (PE), São Martinho da Serra (RS) e Ouro Preto D'Oeste (RO).

As quatro primeiras estações fazem parte da base de dados da rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais). Maiores detalhes sobre a estações e acesso ao dados coletados pela rede estão disponíveis em <http://www.cptec.inpe.br/sonda/>. Os dados da quatro estações passaram por um rígido programa de controle de qualidade que segue critérios estabelecidos pela WMO (World Meteorological Organization) para qualificação dos dados da rede BSRN (Baseline Solar Radiation Network).

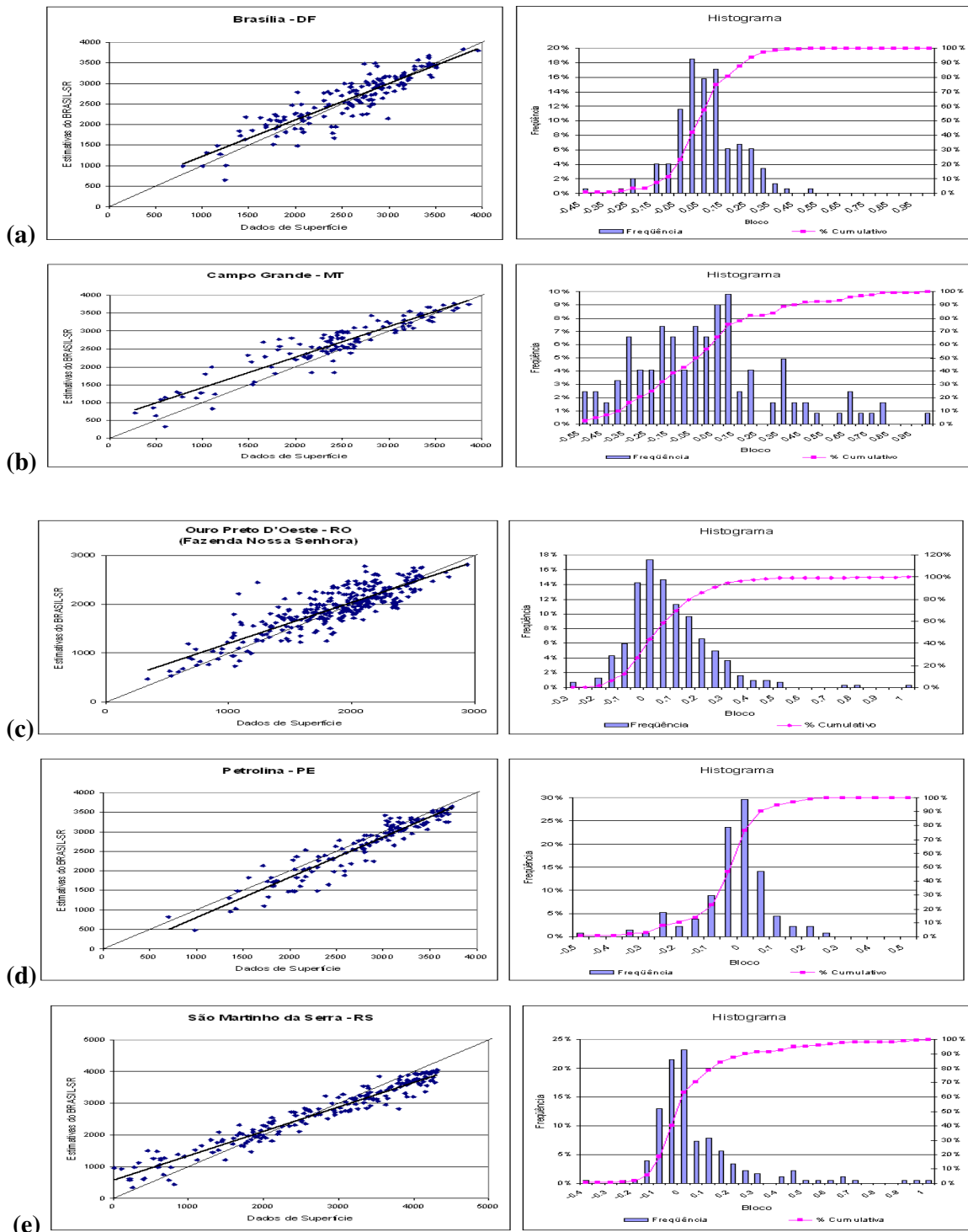
Os dados de superfície coletados em Ouro Preto D'Oeste fazem parte do acervo do LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia) e podem ser acessadas em: <http://lba.cptec.inpe.br/beija-flor/>. Nenhum processo de qualificação dos dados foi realizado para os dados desta estação e todos os dados disponibilizados foram utilizados para neste trabalho.

O processo de validação das estimativas do modelo BRASIL-SR foi realizado apenas para os totais diários de irradiação solar na faixa espectral da radiação PAR. Os dados de superfície que se encontravam em resolução temporal de um minuto foram integrados para determinação do total diário. Foram utilizados apenas os dias em que não houve nenhuma falha na aquisição de dados das estações e os dias em que pelo menos cinco imagens de satélite estavam disponíveis com intervalo temporal máximo de 3 horas entre 2 imagens consecutivas. A Figura 3 apresenta os gráficos de dispersão entre os valores de irradiação PAR medidos e estimados e histograma de frequências dos desvios observados para cada uma das estações. O desvio médio (MBE) e o desvio quadrático médio (RMSE) foram determinados utilizando as seguintes expressões:

$$BIAS = \left[ \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Rad_i^{est} - Rad_i^{med})}{\overline{Rad}_{med}} \right] \cdot 100 \quad RMSE = \left[ \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Rad_i^{est} - Rad_i^{med})^2}}{\overline{Rad}_{med}} \right] \cdot 100$$

onde:  $N$  é o número de dados utilizados no processo de validação;  $i$  refere-se a cada par de valores medidos e estimados;  $Rad^{med}$  é a radiação solar medida pela estação coletora de dados;  $Rad^{est}$  representa a radiação estimada pelo modelo. O traço horizontal sobre a variável é usado para representar o valor médio da variável.

A Tabela 1 apresenta os valores de BIAS e RMSE obtidos para as estimativas diárias de radiação PAR nas cinco estações em avaliação. Pode-se observar que os valores dos desvios são baixos, o que demonstra o bom desempenho do modelo.



**Figura 3.** Gráfico de dispersão e histograma dos desvios para as estações (a) Brasília, (b) Campo Grande, (c) Ouro Preto D'Oeste, (d) São Martinho da Serra e (e) Petrolina.

Tabela 1. Valores de BIAS e RMSE para as cinco estações em estudo

<b>Estação</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Período de dados</b>	<b>BIAS</b>	<b>RMSE</b>
Brasília	47° 42' 47"O	15° 36' 03"S	2005	0,02	0,11
Campo Grande	54° 32' 17"O	20° 26' 18"S	2005	0,09	0,15
Petrolina	40° 19' 11"O	09° 04' 08"S	2005	-0,05	0,10
São Martinho da Serra	53° 49' 23"O	29° 26' 34"S	2005	-0,01	0,13
Ouro Preto D'Oeste	62° 15' 36"O	10° 45' 00"S	2000/2001	0,03	0,14

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O mapeamento da irradiação solar fotossinteticamente ativa (radiação PAR) foi desenvolvido durante a elaboração do Atlas Brasileiro de Energia Solar [5] utilizando o modelo de transferência radiativa BRASIL-SR. Este trabalho apresenta os resultados obtidos e descreve a metodologia empregada para a validação das estimativas apresentadas nos mapas anuais e sazonais. Verificou-se que as estimativas dos totais diários fornecidos pelo modelo apresentam boa concordância com valores medidos em superfície em estações de coleta de dados localizadas em regiões com características climáticas bastante distintas. Os desvios BIAS (5% em média) e RMSE (13% em média) são similares aos observados para as estimativas de irradiação global fornecidas pelo modelo BRASIL-SR [6]. Analisando os gráficos de dispersão e histograma, observa-se que ocorreu maior dispersão para as estações de Campo Grande e Ouro Preto d'Oeste. Ambas as estações estão localizadas em áreas sujeitas a ocorrência de eventos de queimada durante a estação seca, o que pode ter causado o aumento dos desvios RMSE. Esse é um aspecto que necessita maior investigação para confirmar tais hipóteses.

## “REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS”

1. Martins, F. R. **Influência do processo de determinação da cobertura de nuvens e dos aerossóis de queimada no modelo físico de radiação BRASIL-SR**. PhD. Thesis. INPE (Brazilian Institute of Space Research). São José dos Campos, Brasil, 2001.
2. INMET. **Normas Climatológicas para o Brasil**. [online] [www.inmet.gov.br/](http://www.inmet.gov.br/)
3. Iqbal, M. **An Introduction to Solar Radiation**. Ontario: Academic Press Canada, 1983.
4. SONDA, **Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – CPTEC/INPE**. [online] <http://www.cptec.inpe.br/sonda/>.
5. PNUMA, 2006. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. (a ser publicado em novembro/2006). São José dos Campos, 2006.
6. 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, held in Freiburg, Germany. 2004.