

# A IRRADIAÇÃO SOLAR NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL ANALISADA PARA DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO

Ceconi, M. [1,2]; Fiorin, D. V. [1,2]; Schuch, N. J. [1]; Martins, F. R. [3];  
 Brackmann, R. [1,2]; Pereira, E. B. [3]; Guarnieri, R. A. [3].

[1] Laboratório de Recursos de Energias Renováveis – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LRER/CRS/CIE/INPE - MCT,  
 Caixa Postal 5021, CEP 97110-970, Santa Maria, RS, Brasil;

[2] Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria LACESM/CT – UFSM, Cooperação INPE-UFSM,  
 Av. Roraima, 1000, Santa Maria, RS, Brasil;

[3] CPTEC/INPE, Av. Astronautas 1758, 12227-010, São José dos Campos (SP)

**ABSTRACT:** The energy modeling is important for the correct evaluation of the solar energy resources required to encouraging the employment of clean and renewable energy source policies. The scientific literature show models to estimate the diffuse solar radiation as function of radiation parameters, such as the cloudiness index ( $Kt$ ). The paper aims to compare the statistic deviations between radiation parameters estimated using empirical models described in the scientific literature and with the local model SMS for different seasons of the year. The SMS model was developed with measured ground data by SONDA – SMS station for the diffuse and global solar radiation at the Southern Space Observatory. The MBE and RMSE statistic deviations obtained by the models were calculated as part of the data for different seasons and for clear sky day ( $Kt > 0,7$ ). It was observed a season dependency for the deviations that should be attributed to climatological and antropogenics factors, contributing to the reliability of energy numerical models improvement. The SMS models showed the lowest statistics deviations for whole year, mainly for the clear sky days, allowing us to conclude that this model is the most reliable for the central region of the Rio Grande do Sul state.

## INTRODUÇÃO

- O aumento da demanda de energia e a preocupação com a degradação ambiental têm incentivado o uso de formas alternativas de energia, principalmente solar e eólica, tornando-se necessário o estudo da disponibilidade dessas fontes para diferentes lugares e em diferentes épocas do ano;
- A radiação solar interage com a atmosfera sofrendo processos de absorção e espalhamento;
- A irradiação solar global é dividida em duas componentes: direta e difusa;
- Modelos empíricos são descritos na literatura para estimativa da irradiação solar difusa a partir da irradiação solar global;

## OBJETIVOS

- Este trabalho visa descrever o desenvolvimento e validação de um modelo empírico local, SMS, e sua comparação com modelos descritos na literatura;
- Os desvios estatísticos foram calculados para as diferentes estações do ano e em dias de céu claro;

## METODOLOGIA

- Foram usados dados coletados na estação de referência do Projeto SONDA instalada no Observatório Espacial do Sul (Lat: 29,44°S, Lon: 53,82°O), em São Martinho da Serra, RS;
- Medidas de irradiância solar global e difusa foram realizadas por um Piranômetro CM21 (*Kipp&Zonen*) e por um Piranômetro CM22 (*Kipp&Zonen*), respectivamente;
- Utilizou-se dados coletados durante o período de Agosto de 2004 a Dezembro de 2006 para desenvolvimento do Modelo SMS, e dados coletados em 2007 para comparação dos modelos através dos desvios estatísticos;
- As medidas de irradiância solar foram integradas durante o período de todo o dia, resultando na quantidade diária total de energia radiante, expressa em Joules por metro quadrado;
- As integrais da radiação solar global e difusa são referenciadas, respectivamente, por  $H$  e  $H_d$ ;
- A irradiação solar que atinge o topo da atmosfera durante o período de um dia ( $H_0$ ) é calculada através da equação (1);

$$H_0 = \frac{I_{sc}}{\pi} \left( \frac{d_m}{d} \right)^2 [h_0 \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(h_0)] \quad (1)$$

- Conforme apresentado em Iqbal (1983), podem-se definir os parâmetros  $Kt$  (índice de nebulosidade) e  $K$  de acordo com (2):

$$Kt = \frac{H}{H_0} \quad K = \frac{H_d}{H} \quad (2)$$

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0,98 & (K_T \leq 0,1) \\ 0,910 + 1,154K_T - 4,936K_T^2 + 2,848K_T^3 & (0,1 \leq K_T \leq 0,7) \end{cases} \quad (3) \text{ Modelo RC, desenvolvido por Ruth e Chant (1976), com dados coletados em estações solarimétricas do Canadá}$$

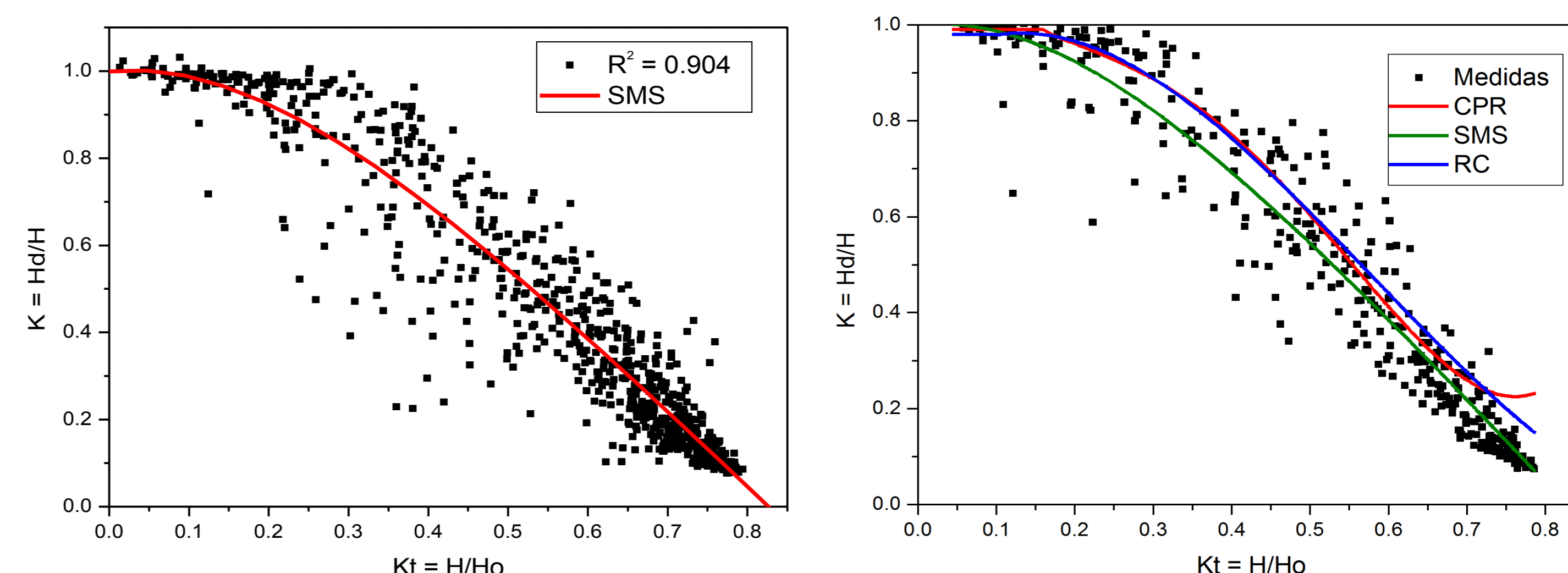
$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0,99 & (K_T \leq 0,17) \\ 1,188 - 2,272K_T + 9,473K_T^2 - 21,856K_T^3 + 14,648K_T^4 & (0,17 \leq K_T \leq 0,8) \end{cases} \quad (4) \text{ Modelo CPR (Collares - Pereira and Rabl, 1979) com medidas dos Estados Unidos}$$

## RESULTADOS

- O modelo empírico SMS desenvolvido é apresentado na equação (5);

$$\frac{H_d}{H} = 0,999 + 0,189K_T - 3,342K_T^2 + 2,750K_T^3 - 0,910K_T^4 \quad (5)$$

- O modelo SMS juntamente com as medidas empregadas no seu desenvolvimento é apresentado na Figura 1. Os modelos CPR, RC e SMS e as medidas utilizadas no cálculo dos desvios estatísticos são apresentados na Figura 2;



Figuras 1 e 2 – Modelo SMS e sua comparação com os modelos da literatura.

Tabela 1 – Desvios estatísticos calculados para as estações do ano

Modelo	Desvios	Primavera	Verão	Outono	Inverno
CPR	MBE%	14,06	11,20	11,69	3,30
	RMSE%	23,88	23,24	19,26	13,26
RC	MBE%	13,14	12,72	13,18	3,25
	RMSE%	21,94	23,15	20,34	12,55
SMS	MBE%	0,86	0,17	2,18	-4,90
	RMSE%	17,01	19,44	15,07	12,80

Tabela 2 – Desvios em dias de céu claro

Modelo	Desvios (%)	
CPR	MBE	77,52
	RMSE	83,55
RC	MBE	61,51
	RMSE	66,82
SMS	MBE	11,03
	RMSE	28,72

Tabela 3 – Desvios em dias de céu claro separados por estações do ano

	(%)	Primavera	Verão	Outono	Inverno
CPR	MBE	68,74	49,14	71,65	55,14
	RMSE	78,05	58,67	78,88	68,50
RC	MBE	47,94	42,06	65,89	41,00
	RMSE	56,01	49,46	72,85	54,75

## CONCLUSÃO

- O modelo SMS apresentou os menores desvios estatísticos em todas as estações do ano, especialmente em dias de céu claro ( $Kt > 0,7$ ), mostrando ser o que melhor se adapta às condições climatológicas da Região Central do Rio Grande do Sul;
- Observou-se que os modelos CPR e RC apresentam os menores desvios estatísticos durante o Inverno, enquanto que o modelo SMS subestima as medidas nesse intervalo (MBE = -4,90%) e apresenta pequenos desvios MBE durante a Primavera e o Verão;
- Os desvios RMSE são maiores durante a Primavera e principalmente no Verão;

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FINEP (22.01.0569.00) e à Petrobrás pelo financiamento do Projeto SONDA, e ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pelas aprovações dos projetos de pesquisa e ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CIE/INPE – MCT.

## REFERÊNCIAS

- E. B. Pereira, F. R. Martins, S. L. Abreu, R. Rüther, Atlas Brasileiro de Energia Solar, São José dos Campos, 2006.
- Iqbal, M., 1983. An Introduction to Solar Radiation: Academic Press Canadá, Toronto, 390p.
- COLLARES-PEREIRA, M., RABL, A., 1979, The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values: Solar Energy, Vol. 22 (2), p155-164.
- RUTH, D. W., CHANT, R. E., 1976, The relationship of diffuse radiation to total radiation in Canadá: Solar Energy, Vol. 18 (2), p153-154